

# 遠隔の操作センターから管理が行える教育計算機システムの構築と評価

八代一浩<sup>1</sup>, 鈴木 嘉彦<sup>2</sup>, 伊藤 一帆, 片谷 教孝, 豊木 博泰

山梨県立大学国際政策学部<sup>1</sup>, 山梨大学大学院医学工学総合研究部<sup>2</sup>

## 概要

TCO(Total Cost of Ownership) を削減する目的でディスクレス Windows システムを教育用計算機システムとして導入することが多くなっている。しかしながら、このシステムは管理者が学内で操作することを前提としている。そのため、管理者のいない組織では利用することが困難である。そこで、われわれは、ディスクレス Windows システムのサーバ群を遠隔の操作センターに配置し、運用管理も操作センターから行う手法を提案する。本手法により、教育用計算機システムの安定性・可用性を高めることができる。しかし、遠隔地にサーバを配置することによって、ネットワークや運用技術に関して新たな技術的課題が生じる。本稿では、これらの課題を解決する手法を示すとともに、提案に基づきシステムの構築を行った。本手法を基に実装したシステムの評価実験から、本手法の有効性を示す。

Construction and evaluation of an educational computer system  
which can manage from remote operation center.

Kazuhiro YATSUSHIRO<sup>1</sup>, Yoshihiko Suzuki<sup>2</sup>, Kazuho Ito, Noritaka Katatani, Hiroyasu Toyoki

Faculty of Global Policy Management and Communication Yamanashi Prefectural University<sup>1</sup>,  
Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering University of Yamanashi<sup>2</sup>

## Abstract

Diskless Windows system are often introduced as educational computer system to reduce the TCO(Total Cost of Ownership). This system, however, assume that administrators operate the system in the university. Therefore, it is difficult to introduce this system in small university which doesn't have administrators.

We propose the method to place servers of diskless windows system at remote operation center, and manage the system from this remote operation center. Stability and availability of the system are improved by this method. However, by placing servers at remote operation center, other technical problems such as network and management methods are occurred. This paper shows methods to solve these problems, and we construct system based on proposed method. The effectiveness of our method is confirmed by the experiment on the actual system based on proposed method.

## 1 はじめに

大学にあって、教育用計算機システムは必要不可欠な存在となっている。そのため、利用者からは、安定し

て、しかも常に利用できる（可用性の高い）教育計算機システムの運用が求められている。システムを安定して運用するためには、利用者がシステムに変更を加えられないように制限するとともに、保守作業における

システム更新において OS やアプリケーションの整合性を常に保つ必要がある。

また、可用性を向上させるためには、施設設備、システムの冗長化、障害時の迅速な回復、セキュリティの確保、保守作業の迅速化など、設備とともに、頻繁な保守作業と高度な運用技術が求められる。運用保守は、大学の規模や計算機システムの台数に関係なく発生する問題であり、小規模な大学や、初等・中等教育の現場では深刻な問題である。

TCO(Total Cost of Ownership) を削減するためにネットワークブートなどの技術を用いたディスクレスシステムがある。これらは、クライアントから故障率の高い HDD を取り除き、ネットワークとメモリで稼動する仕組みを提供している。運用においては、クライアントに配布するイメージを一元的に管理することができるため、システムの安定性を維持しやすくなる。しかし、これらのシステムも学内に技術者、管理者がいることを前提に作られており、管理者がいない場合には、サーバの運用やイメージの保守にも困難が生じる。これは、初等・中等教育の現場などでは、特に深刻な問題であり、現状では導入が不可能に近い状況にある。

この問題を解決する手法として、本稿では、遠隔地の操作センターにシステムのサーバを配置し、システムの運用も外部委託する方法を採用する。しかし、サーバを遠隔地に配置することによって、サーバ・クライアント間の接続が行えなくなったり、品質が損なわれる可能性がある。また、サーバやネットワークに障害が生じた際の対応方法も重要となる。

本稿では、これらの課題に対応する手法について提案を行う。そして、提案した手法に基づき構築したシステムの評価を行い、本手法の有効性を示す。

## 2 システム要件

山梨県立大学では、2005 年度のシステム更新時に、安定性と可用性の向上を目的として、新たなシステム的设计を行った。システムの安定性が失われるのは、システムに変更を行った場合である。具体的には、OS やソフトウェアの更新により、整合性が失われる場合や、利用者がシステムを変更した場合に発生しやすい。そのため、

1. システム更新時の整合性の維持

2. 利用者による設定変更回避

3. 障害時の復旧

が必要である。

可用性を向上させるためには、システムが停止しないための対策を考える必要がある。そのためには、

1. 停止しないための施設設備

2. システムの冗長化

3. 障害時の迅速な回復

4. セキュリティの確保

5. 保守作業の迅速化

が必要である。

また、本学では、保守作業を行うためには、外部委託を行わなければならない、保守作業にかかる時間など、人的費用を削減する必要がある。

## 3 運用方法の検討

上述の問題を解決する方法として、ディスクレスシステムに必要な各種のサーバを、学外の施設が充実し、技術者の常駐する場所(操作センター)に配置し、サーバとクライアント間を高速なネットワークで接続する手法をとることとした。また、その際にシステム全体の運用を外部委託することとした。これにより、可用性と安定性を確保することが可能となる。

Windows システムが稼動するディスクレスシステムとしては、下記のシステムがある。

- Windows-Based Terminal を利用したシステム [1]
- ディスクレス Windows システム [2]
- 仮想計算機技術を利用したシステム [3]

この中から、Linux 上に仮想計算機技術ソフトウェアである VMWare を載せ、ゲスト OS として Windows XP が稼動するシステムを採用することとした。このシステムでは、Linux のカーネルとメモリ上に展開するファイルシステムを TFTP(Trivial File Transfer Protocol) サーバから転送して、ネットワークブートを行う。ブート後はローカルディスクをマウントして利用

するため、ブートに必要なファイル転送は数 MB であり、クライアント・サーバ間のネットワークに与える影響は少ない。

また、運用に関しても Windows システムは VMware のゲスト OS として、ひとつのファイル (Windows イメージ) として実現されている。そのため、1 つのクライアントイメージを管理し、イメージをすべてのクライアントに配布するだけで、保守作業が終了する。クライアントのイメージを一元管理できるため、個々のクライアントを管理する必要がなくなり、安定性を維持しやすい。また、保守作業はクライアントにゲスト OS のイメージファイルを転送するだけで行えるので、保守作業の時間を短縮でき、利用時間を拡大することができる。さらに基本 OS が Linux であるため、遠隔からの管理を行いやすい、という長所もある。

## 4 技術的課題

前章において、仮想計算機技術を用いたシステムにおいて、サーバ群を施設の充実した外部に配置し、その運用を委託する手法を提案した。また、クライアントの運用も遠隔から行うこととした。これにより、安定性と可用性の向上が期待できる。しかしながら、上記の運用手法をとることで、下記のような新たな技術的課題が生じる。

- ネットワーク
  - 遠隔から実用的な速度でブートが行える性能が必要である。
  - パフォーマンスの高いバックアップ回線が必要である。
  - 冗長化の仕組みが必要である。
- サーバ障害時の対応
  - サーバに障害が発生した際の起動手法を検討する必要がある。
  - ファイルサーバへのアクセスに関する問題を検討する必要がある。
- 遠隔からクライアントを管理する仕組み
  - クライアントの起動と停止を行える必要がある。

- 運用状態の把握をする必要がある。

## 5 課題解決手法

前章で議論した技術的な課題を解決する方法として、下記のような手法を提案する。

### 5.1 ネットワーク

サーバとクライアント間を接続するネットワークは、性能と冗長化の仕組みが必要となる。ネットワークの性能に関しては、クライアントの一斉起動時にファイル転送が TFTP を用いて行われえるが、この瞬間が最も性能を要求される。

TFTP は、Stop-and-Wait プロトコルを用いて転送が行われるため、スループットは、RTT(Round Trip Time) の影響を大きく受ける。また、クライアントとサーバ間を接続するネットワークの回線速度は、クライアントの台数によって変わるが、50 台程度の台数であれば、TFTP の 1 接続あたりの転送速度が 11Mbps 程度であることを考えると、100Mbps 以上が必要である。

この回線とは別に、主回線が利用できなくなった場合を考慮し、バックアップ用の回線も必要である。バックアップ回線も実用的な時間でクライアントをブートさせるためには、ある程度の性能が必要となる。しかし、高性能なネットワークを用意しても、バックアップ時しか利用できないようでは、その費用対効果は少ない。そこで、バックアップ回線として、インターネットなどに接続している回線を共有する手法を提案する。

主回線からバックアップ回線に切り替えるための仕組みには、ネットワーク層での経路制御技術を使う。ネットワーク層の技術を使うと、バックアップ回線として、インターネット回線を利用することが容易に行える。また、サーバ運用の委託先も IP で接続できればよいため、選択範囲が広がるという効果もある。

### 5.2 サーバ障害時の対応

システムには、認証サーバ、ファイルサーバ、TFTP サーバ、DHCP サーバが必要となる。これらのサーバは冗長化して運用する必要がある。しかし、認証システムに障害が発生した場合などには、冗長化してい

も、システムを利用することができない。そこで、このような問題に対応するため、緊急時にローカルコンピュータにログインする仕組みを導入する。つまり、特定のユーザ名とパスワードをあらかじめ用意し、緊急時にはそのユーザ名とパスワードを使って、ローカルコンピュータにログインすることにより、Windows システムは利用することができる。

上記の方法でログインができたとしても、ファイルサーバへのアクセスは行えない。そこで、緊急時のファイルアクセス手法として、クライアント PC のホスト OS である Linux 上に WebDAV システムを導入することとする。本手法を利用することにより、VMware 上の Windows システムからは、WebDAV のファイルシステムを利用することができ、一時的にファイルを保存することができる。そして、認証サーバやファイルサーバが利用できるようになった段階で、利用者は、再度、ファイルサーバへファイルを転送することで、障害を回避できる。

### 5.3 遠隔からクライアントを管理する仕組み

遠隔からクライアントを起動する方法として、WOL(Wake On LAN) 技術を用いる。WOL では、MAC アドレスとサブネットアドレスを指定することにより、遠隔からも任意のクライアントを起動できる。

クライアントを停止させるためには、2 つの方法で対応できる。計画停止を行う場合には、クライアントのホスト OS である Linux の CRON 機能を用いて、自動的に停止させることができる。個別に停止させる場合にはリモートログインを行って、停止させることができる。これ以外にもホスト OS が Linux であるため、各種のツールを開発して制御することが可能である。

クライアントの状態管理を行う手法として、Linux に HTTPD(Hyper Text Transfer Protocol) サーバを導入する。これにより、クライアントの状態管理(ヘルスチェック)を各種 CGI ソフトウェアを作成することにより監視できる。

## 6 実装

前章までの提案手法に基づき、2005 年 10 月に山梨県立大学に実装したシステムを図 1 に示す。そして、実

装した機器の仕様を表 1 に示す。また、仮想計算機技術を用いた運用管理に必要な各種サーバ機能の割り当てを表 2 に示す。

S1 は学内に設置されたバックアップ用のサーバである。回線やサーバに障害が発生し、ISP まで到達できなくなった場合に TFTP サーバとして機能する。また、R1 が DHCP サーバとなっているが、S1 は R1 のバックアップとしても機能する。S2 は SAMBA, LDAP, TFTP のサーバとして機能する。S3 は S2 のセカンダリサーバとして機能しており、S2 に障害が発生した際には、切替えて機能する。S4 は NAS(Network Attached Storage) であり、ファイルサーバとして機能している。S5 は S4 とミラーリングされており、S4 に障害が発生した場合に、切替えて利用する。障害時の切替は、自動的に行えるようにしている。これらにより、サーバ機能はすべて冗長化されている。

R1, R2, R3, R4 は相互に BGP4 による経路交換を行っている。クライアントとサーバ間は、通常時には R1-R2 を経由した経路(主経路)が用いられ、この回線に障害が発生した場合には、地域 IX を経由する経路、R1-R3-IX-R4-R2(予備経路)に切り替わる。さらにこの経路に障害が発生した場合には、インターネットを経由した経路、R1-R3-インターネット-R4-R2 を利用して接続が行える。つまり、3 重の冗長化が行えている。

R5 は VPN(Virtual Private Network) ルータである。クライアントの設置されている建物が、電気設備の定期点検などで利用できない場合や、利用時間外に、自宅から VPN を利用して、ファイルサーバにアクセスができる。

クライアントは Turbo Linux 10 をホスト OS として利用した。仮想計算機としては、VMware Work Station 5.0 を、ゲスト OS は Windows XP を採用した。

利用者は PC を起動すると、OS、仮想計算機、Windows XP の順に起動する。その際、Windows XP はフルスクリーンで自動的に起動させている。また、Windows 終了時には、起動時と逆に順次終了し、自動的に電源が落ちるようにしている。これら一連の機能により、利用者に Linux の存在を意識させないように工夫をしている。

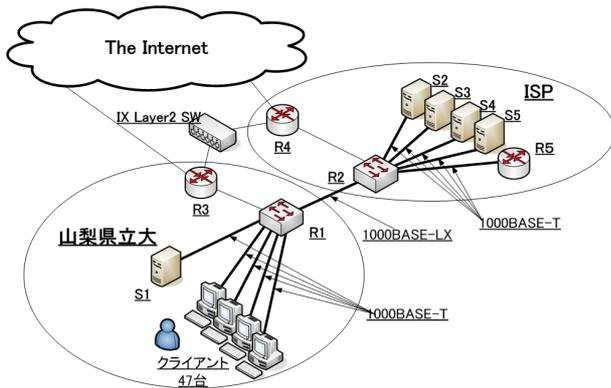


図 1: 実装

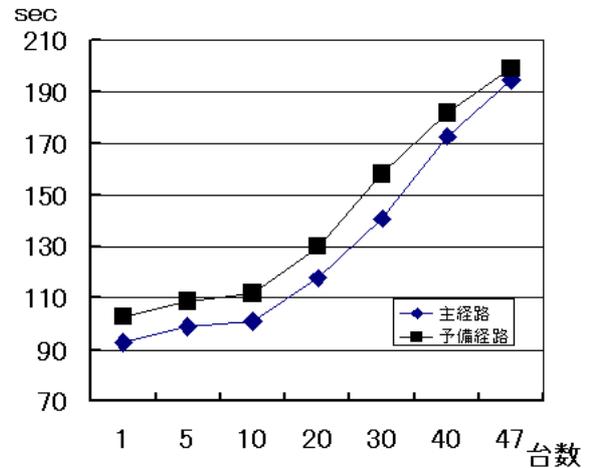


図 2: ブート時間

## 7 評価

### 7.1 ネットワーク

ネットワークの評価を行うために、実装したシステム上で、ブート時間とネットワークの切替時間を計測するための実験を行った。

#### 7.1.1 ブート時間

ブート時間は WOL 機能を用いて、情報教室のクライアントを起動し、Windows XP のログインパネルが表示されるまでの時間を計測した。計測は、主経路、予備経路を利用してブートした場合について行った。計測結果を図 2 に示す。

また、主経路および予備経路の RTT をパケットサ

イズをそれぞれ 64, 1428byte として、ping コマンドを利用して測定した。この結果を表 3 に示す。

WOL 機能を用いるため、ほぼ同時に起動が行われる。起動時間はどちらの回線を利用しても 1 台の場合で、1 分 40 秒程度であり 47 台であっても 3 分 20 秒程度である。

予備経路は地域 IX を経由した 100Mbps の回線であり、他のトラフィックと共有を行っている。しかしながら、47 台の一齐起動でも 3 分 18 秒で起動が行えており、予備経路としても十分な性能を持っている。

主経路と予備経路を比較した場合、本来であれば、帯域のある主経路の方が、同時起動数を増やした時に、予備経路に対して短時間で起動できるはずである。しかしながら、実際の測定からは、1 台の場合の時間差とほぼ同じ差が、起動台数を増加させても続いている。このことは、50 台程度であれば、帯域差よりも、RTT の影響が大きいことを示している。

表 1: 機器の仕様

機器	仕様
R1	CISCO 3570
R2	CISCO 3650
R3	Juniper M7i
R4	CISCO 7204 (300MHz)
R5	CISCO 2651(VPN)
S1	Turbo Linux 10, Celeron 2.5GHz
S2, S3	Turbo Linux 10, Pentium 4 3.2GHz
S4, S5	HP NAS1200s, Pentium 4 2.4GHz
クライアント	Turbo Linux 10, Pentium 4 3.2GHz

表 2: サーバの配置

機能	配置
DHCP サーバ	R1, S1
TFTP サーバ	S1, S2
認証サーバ	S2, S3
ファイルサーバ	S4, S5

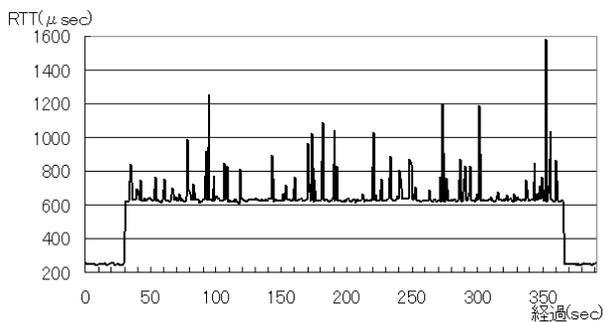


図 3: 実験中の RTT

一方で、同時起動台数が 10 台を超えると急激にブート時間は増加する。そのため、50 台を超えるような場合には、ブートサーバを複数用意して、負荷を分散させたり、また、利用時間の開始前に起動を行い、利用時間の終了時まで停止させないなど、運用上の工夫が必要である。2006 年 4 月からは、別の教室でも 48 台の運用を行っているが、ブートサーバを別途用意して運用を行っている。

#### 7.1.2 回線切替時間

回線選択には BGP4 を用いた経路制御技術を用いている。実験では、図 1 に示すネットワークで R1 と R2 の間の経路交換を切断し、経路が変わるまで、S1 から S2 に向けて ping コマンドを用いて RTT とパケットロスを毎秒計測した。計測結果を図 3 に示す。

実験では、RTT 観測後 30 秒に R1 から BGP の経路交換を停止した。その後、210 秒に BGP による接続を再開した。そして、366 秒後に BGP 情報によって経路が切替り、主経路に戻っている。この切替実験中には、パケットロスは観測されていない。

経路の変化は瞬間で行われ、変化した後も安定した経路選択が行われている。このように安定して短い時間で経路が切替れば、ブートしている最中に経路が切

表 3: RTT(Round Trip Time)

パケットサイズ	主経路 (ms)	予備経路 (ms)
64	0.274	0.625
1428	0.630	2.91

替ったとしても問題ない。

## 8 おわりに

本稿では、安定性と可用性の向上を管理者が不在の状況でも実現するために、仮想計算機システムを利用し、遠隔地の操作センターから管理が行える教育計算機システムの構築手法を示した。また、そのシステムを、実現する上での技術的課題を明確にし、この技術的課題を解決する手法を提案した。提案した手法に基づきシステム構築を行うとともに評価を行った。その結果、本手法の有効性を示すことができた。

初等・中等教育などの教育現場では運用技術者が不在にもかかわらず、教育計算機システムに対する安定性と可用性への要求は高まるばかりである。本手法を用いることにより、データセンターや教育センターなど、技術者の常駐する拠点に教育計算機システムの運用管理を集中させることができ、利用者のニーズに答えるシステムを作ることができる。

## 参考文献

- [1] 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", 分散システム / インターネット運用技術シンポジウム 2000 論文集, pp. 1-6, (2000).
- [2] 江藤博文, 田中芳雄, 松原義継, 渡辺健次, 渡辺義明, 只木進一: "演習用 Windows 端末群のディスクレスによる安定運用", "情報処理学会論文誌", Vol.45, No.1, pp.2-11(2004)
- [3] 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)