

Virtual Machine を活用した教育用計算機システムの構築技術と考察

丸山 伸・最田 健一 (京都大学情報学研究所)

小塚 真啓 (京都大学法学部)

石橋 由子・池田 心・森 幹彦・喜多 一 (京都大学学術情報メディアセンター)

概要

教育用計算機システムの構築においては、利用者端末に Windows と UNIX という2つ以上の OS を利用することが少なくない。これまではそれぞれの OS が稼働する端末を設置したり Dual Boot 方式を利用して構築されてきた。近年その構築において Virtual Machine を利用した例が増えてきている。しかしながら、Virtual Machine を利用したシステムの設計・構築と運用にはいくつもの問題点があるのだが、これらはまだ広く知られているものではない。本論文においては京都大学学術情報メディアセンターにおける Virtual Machine を利用した構築事例を参考にしつつ、構築技術の紹介・問題点の分析と考察を述べる。

1 はじめに

教育用計算機システムを設計する上では、「計算機の機構を学習するためには UNIX 環境の方が教育を行いやすい」という声と「現在広く使われている Windows の方が現実的である」という声の両方に配慮する必要がある。

従来は UNIX 環境には専用機が用いられていたため、Windows 環境による端末群と UNIX 環境による端末群をそれぞれ独立に設置することが一般的であった。しかしながら Linux や各種 BSD といった PC-UNIX の普及に伴い、起動時にどちらを利用するかを選択する Dual Boot システムで構築する例も見られるようになってきた。この1~2年においては、Virtual Machine 技術の進歩が著しく、いくつかの製品が発表されているが、それにあわせてこれらを利用したシステム構築例も増えてきている。

2 教育用計算機システムの特徴と課題

教育用計算機システムの設計や運用管理においては、他のシステムの運用管理とは異なる特徴に配慮する必要がある。その主な特徴は

- 単に端末数が多いだけでなく、これらの端末は広域に分散されていることが珍しくない。
- 端末数や利用者の数といったシステム全体の規模に比して、管理者は非常に少なく、管理運用の省力化が求められる。
- 同時に多数の学生が利用するだけでなく、ログオ

ンとログオフとが繰り返される。

- 現在広く利用されている Windows だけではなく、教育上の要求から UNIX も利用できることが要求される。
- 導入時に設定したアプリケーションのみが利用され続けるのではなく、授業の変化に応じて端末に導入されるアプリケーションは変化を続ける。
- 組織内の利用者である学生は必ずしも運用に協力的ではなく、システムは組織内の利用者からの攻撃にも耐えるセキュリティーが要求される。

などである。(丸山^{[1])})

これらの特徴が実際のシステム構築に与える影響について順に検討する。

学部毎に端末が配置されるなどして、端末が広域に分散されている場合においても、各利用者は所属する学部の端末のみを利用するとは限らない。そのことから利用者毎にサーバーを分散して配置することが困難となり、利用者の設定ファイルやホームディレクトリは集約して配置する必要性が生じる。管理者が少ないため、管理を行う拠点を集約するためにも、サーバーの集中した配置は必須である。それゆえに、Windows には複数のサーバーを分散配置できるように設計されているが、教育用計算機システムにおいてこの機構を利用することは困難である。

次に利用者が授業時間毎にログオンとログオフが繰り返すことが想定される。そのため、電源投入直後の起動やログオンにかかる時間は短かくしなければならない。また、各利用者は同じ端末を使い続けるといったことはなく、次々と端末を移りかわる。それ故、ログイン時にサーバーから大量のデータを端末に転送し、かつ、そのデータをキャッシュするように設計された Windows の機構は教育用計算機システムの運用には不向きである。

3つ目には UNIX 端末の必要性があげられている。計算機の機構を授業で解説しプログラミングを指導するためには、動作機構が明解であり、かつ古くから利用されてきている UNIX が動作する端末が必要だとする声は根強い。そのため、日常においては Windows のみを利用する教官や学生であっても、教育用システムにおいては UNIX の動作する環境を必要とする。このことは単に両方の端末を用意するために導入コストの上昇を引き起こすだけでなく、ユーザー認証を行うためのアカウント

データベースをどのようにして統合するかという問題を引き起こす。これには Web ベースでパスワードを変更する方法 (田中^[2]) や、上位ディレクトリを設定することで統合しようとする手法 (倉前^[3]) などが提案されている。

4 つ目の特徴は、端末設定の更新が頻繁に発生することがあげられている。教育現場においては、その多様なニーズに対応するだけでなく、教育方法の創意工夫に伴なうニーズの変化にも迅速に対応する必要がある。さらには、このようなアプリケーションの追加や設定の変更だけではなく、OS 自体に見出されるセキュリティ問題の修正のための更新も必要となっている。

このような更新を省力化して行うためには、OS 自体に含まれている自動更新機能を利用する手法が一般的ではあるが、その他に数十台の端末設定をマルチキャスト送信を利用して一度に更新する方式や Network Computer 端末を利用して管理を集約する方式 (吉岡^[4])、そしてネットブートを利用した方式なども提案されている (吉野^[5])。

5 つ目は利用者は運用管理に協力的ではないことである。すなわち設定上の不備等の理由により利用者に端末の管理権限を与えてしまうようなことがあってはならないだけでなく、利用者が管理者の想定していないファイルの追加や削除といった動作を行った場合においても、アプリケーションの動作に影響を与えないように運用される必要がある。

3 Virtual Machine の特徴と問題点

3.1 Virtual Machine の特徴

前の章において挙げられたように教育用計算機システムにはいくつかの備えるべき特徴が存在するが、ここでは 3 つ目に挙げられた「UNIX 環境の必要性」という課題に対して検討を加えることにする。

そのために数年前までは Windows 端末とは別に UNIX 専用端末が設置されていた。PC-UNIX の普及により、Windows を動作させるものと同じ端末で UNIX が稼働するようになるにつれて、Dual Boot を利用して起動時に OS を選択する方式などが利用されるようになってきた。

しかしながら前者の方式では OS 毎の利用率の変動 (授業においては UNIX が多く利用されるが、自由利用においては Windows が多く利用される) に対応できない。後者の方式では端末の再起動が頻発するため、起動に時間がかかることが予想される。また、遠隔管理を行う上でも Dual Boot 方式には難があると思われる。

そこで、近年 Virtual Machine を活用し、1 台の端末上で Windows 環境と UNIX 環境とを同時に稼働させる手法が脚光を浴びている (安倍^[6]など)。以下、Virtual Machine の一般的に持つ特徴のうち、教育用計算機のシステム構築に関係するものを列挙する。

GuestOS のディスクイメージとパッチ当て GuestOS のディスクイメージは、HostOS 側から見ると 1 つないし複数のファイルとなる。このファイルの全体を HostOS から入れ替えることは容易であり、これは GuestOS のイメージ更新には効果的である。しかし、そのファイルサイズは概して非常に大きい。また、GuestOS の修正がわずかなものであったとしても、GuestOS の一部分のみを HostOS 側から書換えることは困難である。そのため、GuestOS 側に対するパッチ当ては通常は困難である。特に GuestOS のディスクイメージが自動的に復元するようなシステムとなっている場合には、特に難しい。

周辺機器 GuestOS から周辺機器 (デバイス) を利用するためには、Virtual Machine がそのデバイスに対応する必要がある。そのため、GuestOS で利用できるデバイスの種類は限られてしまう。また、HostOS 側と同時に同じデバイスを使い競合してしまわないように適正な管理する必要がある。

復元可能なファイルシステム GuestOS の起動中に行われた GuestOS のファイルシステムに対する変更を差分情報として保存しておき、GuestOS が停止された時点でこの差分を破棄することが可能である。この機構を活用することで GuestOS の内容が利用者などによって改変された時の復元処理が容易である。

3.2 認証の統合

一般に Windows と UNIX といった複数の OS を利用したシステムを構築する際には認証をどのようにして統合するかが問題となる。Virtual Machine を利用した場合においてもこの問題は当然発生する。しかも、GuestOS となっている OS を利用するためには、一旦 Host OS にログオンをした後に、GuestOS を起動し、再度 GuestOS 側にログオンしなおす必要がある。これは単に手間を増やしているという問題点だけでなく、利用を終了する際に、GuestOS 側だけログオフをして HostOS 側のログオフをし忘れる利用者が発生する可能性を高めるという点においても問題である。

3.3 Windows のドメインへの参加

Windows のドメイン構成による認証を行ったり、Windows の SMB プロトコルによりファイル共有を行うためには、通常はドメインへの参加が必要になる。ドメインへの参加を行うためには各端末毎に固有の識別子 (SID) を割当てておく作業を行う必要がある。

通常は Windows のインストール時に自動的に固有の識別子が割当てられるが、GuestOS として Windows を活用する際にはファイルイメージの再配信時 ないしは VM

内の Windows 起動時にこの SID の割当てとドメインへの参加を行う必要がある。

この SID の割当てには比較的時間がかかるため、端末の起動するまでの時間に制約が課せられているような場合には大きな問題となることが知られている (吉野^[5]・安倍^[6])。

3.4 端末イメージの配信

大量の端末を管理する上では、ハードウェアの障害後の復旧作業や、ソフトウェアの設定不良の修正などのために、端末のソフトウェアを再設定する必要がある。再配信を行った直後の状態では全ての端末が同じ設定になる。通常 HostOS 側は再配信後に個別設定を行うのだが、GuestOS の設定をどのようにして行うかという点には工夫が必要である。

4 京都大学における構築例

京都大学学術情報メディアセンターにおいては 2002 年 2 月のシステム以降、Virtual Machine を活用した教育用計算機システムを運用している。(丸山^[8]) ここでシステムの概要を述べると共に、3 章で述べた Virtual Machine 固有の問題点に対して、どのように対処したのかについて述べる。

4.1 構築されたシステムの概要

このシステムは 1200 台を越す台数の利用者端末を学内 30 箇所以上のサテライト教室に分散配置するという大規模なものであった。また、Windows と UNIX の両方を全ての端末で利用できるようにする必要があり、かつこの両者の認証システムは統合されている必要があった。

Dual Boot 方式も検討されたが、3.1 節に掲げられた理由により今回は Virtual Machine を利用した方式が採用されることとなった。

一般に Virtual Machine を使ったシステム構築を行う際には、どの OS を HostOS にして、どれを GuestOS にするかという問題が最初に発生する。Linux を HostOS とすることで一般に管理が難しいとされる Windows の管理コストを削減した先事例 (安倍 2^[7]) もあったが、このシステムにおいては、各端末では USB を介した機器や DVD を活用しやすくするためにも、Windows を HostOS とすることに決めた。

Virtual Machine は入札の結果、VMware workstation version 3.0 (vmware^[11]) が採用された。UNIX 環境はアプリケーションの日本語対応に関する状況を考慮して、Vinc Linux (vine^[12]) を利用することにした。

4.2 ネットワーク構成

利用者端末周辺のネットワーク構成図を図 1 に示す。遠

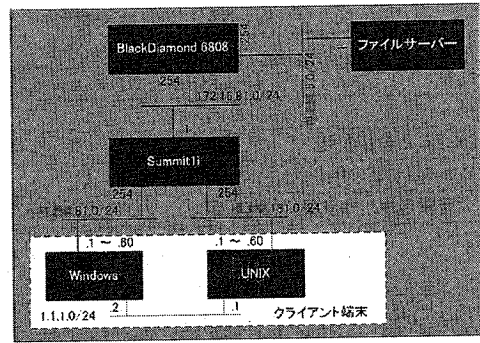


図 1: 端末周辺のネットワーク構成図

隔から監視・管理を行うためには、サーバーから Windows, Linux のそれぞれに対して直接アクセスできることが必要のため、Virtual Machine 内の GuestOS に対して NAT などを用いる構成は当初から検討外であった。

今回は大学から広大なプライベートアドレス空間の割当てを受けることが出来たため、端末に対してどのようなアドレス割当てを行うことができた。

- ・ XXX.YYY.{ 部屋番号 }.0/24 が Windows 用
- ・ XXX.YYY.{ 部屋番号+100 }.0/24 が Linux 用

さらに各端末内で Windows と Linux との間で通信を行うために、独立したネットワークを仮想的に割当てた。この割当てにより各 Windows 端末からその端末内の Linux にアクセスする際には、常に固定したアドレスでアクセスすれば良いことになり、管理スクリプトを作成する際に有用に利用できる。また、このセグメントは盗聴されることがないため、Windows と Unix 間でのデータ送受信にも安全に利用できる。

4.3 ファイルシステムの中継

ファイルサービスの提供においては NFS を用いる方式と SMB を用いる方式と主に 2 つあるが、それらに対して表 1 のような評価が行われた。今回は、「NFS によりファイルサーバーから提供されているファイルシステムを Virtual Machine 内の Linux で mount して、それを SMB により Windows からアクセスする」という両方式の良い点を組み合わせた方式を用いている (丸山^[10])。また、このように Windows ドメインに依存しない構成としたことで、3.3 節に述べた問題は発生しない。

図 2 に示されるように、この方式でのファイルアクセスは読み込みにおいては 10MByte/sec 程度、書き込みにおいては 5MByte/sec 程度の速度があり、運用上問題となることはない判断された (丸山^[10])。

	NFS	SMB
接続の管理	Stateless	Statefull
認証	IP address	ID/Password
Security	△	○
UNIX との親和性	◎	○
Windows との親和性	×	◎
大規模運用での実績	◎	△

表 1: NFS と SMB の比較

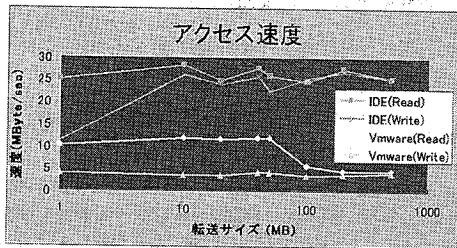


図 2: ファイルサイズによるアクセス速度の変動

4.4 配信後の端末固有設定

3.4 節に述べられた、端末イメージを配信した際に GuestOS に対して IP アドレスや利用できるプリンタといった端末毎の固有の設定をどのようにして行うかという問題を解決するために、いくつかのツールが開発された。

再配信後、Windows 側の設定がおわった段階で GuestOS が自動的に起動され、IP アドレスなどの固有設定の情報が Window 側から送り返される。Linux 側ではそれらの情報を元に固有設定を行った上で、設定が完了したことを Windows 側に通知する。Windows 側では通知を受けて Virtual Machine を Suspend する。

このようにして作成された Suspend イメージを利用してこれ以降 Virtual Machine は起動することになる。

4.5 認証の統合

認証は独自方式のデータベースと Web からのパスワード変更を基本とした方式で構築された(丸山^[9])。

Virtual Machine では Suspend されたイメージファイルを何度も利用することになるため、このイメージ内にアカウント情報を保持することは困難である。また、NTS はセキュリティ上の問題から利用が見送られた。そこで今回の構築においては 3.2 節に述べた認証の統合を行うために、利用者が Windows にログオンする際に Linux 側に対して次のような手順でログイン毎にアカウントを作成するように細工した。

1. Windows 側の認証が完了した段階で認証サーバーがセットアップサーバーと命名されたサーバーに「端末

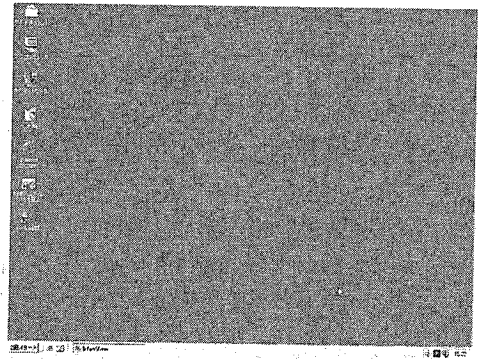


図 3: 画面上からは Virtual Machine が動作していることがわからない。VMswitch を利用すると Linux 画面が表示されるようになる。

名・ユーザー名」を通知する。

2. セットアップサーバーから端末に対して管理者権限で ssh を用いた遠隔操作により利用者のアカウントを作成する。

4.6 Linux に対するパッチ当て

上記認証の統合に用いられているように、Virtual Machine の起動時に管理者権限で作業を行うことが出来る。この際に Linux に対するパッチ宛てを行うように設計し、3.1 節や 3.1 に挙げた問題に対処するようにした。

Windows の起動時に Linux に対するパッチの有無を検出し、必要に応じてパッチファイルをダウンロードして Windows 側のファイルシステムに保存する。そして、Virtual Machine の起動時に、このパッチファイルを実行するようにした。

4.7 ユーザーから VM を隠す

多くの利用者にとっては、UNIX を利用することはない。しかしながら、Linux をファイルシステムの中継といった管理目的にも利用していることから、これを停止されないようにしなければならない。そこで、利用者からは Virtual Machine が動作していることがわかりにくいようにする工夫と、Virtual Machine を停止できないようにする工夫とが必要になった。

まず、画面描画を行わないようにしつつ Virtual Machine を起動するための VMwrapper というアプリケーションを作成した。これにより、Windows 利用時に画面上に Virtual Machine が動いていることを示すアイコンを消去することが出来た。同時に、VMswitch というツールが作成され、このツールを利用することで Linux の画面を見られるようにした(図 3)。

また、VMwrapper には、ユーザーが Virtual Machine を停止できないようにするための工夫もされることとなった。

4.8 ログイン時に OS を選択する

Windows を HostOS として Virtual Machine を利用して UNIX を使えるようにしたシステムにおいて UNIX を利用するためには、まず Windows にログオンして、その後 Virtual Machine を起動し、さらに UNIX に対してログオンをするという手順が必要となる。

この方式に対しては、以下のような意見が寄せられた。

- ID とパスワードの入力を 2 回行う必要があるのは手間が多い上、起動に時間がかかる
- UNIX が Windows のアプリケーションであるかのような誤解を生じやすい

これらの意見に対応するために、GINA 変更してログイン認証の画面を拡張時に Windows と UNIX のどちらかを利用したいかを選択できるようにした。その上で、

- 選択されたものが Windows だった場合には、VM-wrapper を利用して Virtual Machine を起動することで、Virtual Machine を見えなくする
- 選択されたものが UNIX だった場合には、ログインすると同時に Virtual Machine をフルスクリーンで起動し、かつ次に示す「X サーバーの自動起動」を行うことで Linux に再度ログインをしなくても良いようにする。

さらには Linux をログオフして Virtual Machine 内の X サーバーが終了した時には、自動的に Windows からログオフするように設定した。

4.8.1 X サーバーの自動起動

Host 側にログインしたあと、Virtual Machine を起動して、さらにそこで X にログオンするというのは手間が多い。そのため、Windows 側に利用者がログインした時に、自動的に Virtual Machine 内の UNIX にもログオンしたかのように見えるように設定した。この一連の作業は次の手順により行われた。

1. ユーザーの所属するグループをセットする
2. 実効 uid, gid 共に再設定して、root 権限を捨てる
3. MAIL, USER, LOGNAME, HOME, SHELL などの環境変数を設定する
4. ユーザーのホームディレクトリに chdir する
5. X サーバーを起動し、ついでシェルを起動する

5 京都大学システムに対する評価

以下に、運用開始後のシステムを評価して見つかった問題点と、それらに対する対策とを述べる。

5.1 起動時間

Virtual Machine を利用したシステムは電源を投入してから利用できるようになるまでに HostOS の起動時間と Virtual Machine の起動時間の両方が必要になる。そのためシステムの運用開始当初は、5 分以上の時間が必要だった。利用者からもこの点に対して多くのクレームが寄せられたため、起動時間が長い原因の調査を行った。

5.1.1 HostOS 側の起動時間短縮

まず HostOS の起動時間を短縮するために、サービスの起動タイミングの変更や、不要なサービスの停止といった、設定の最適化を行った。また、HostOS 側にハイパネーションを利用することで、起動したままの状態を保持するようにした。この際に、それまでは HostOS の電源投入時に実行するように設定していたスクリプトが実行されなくなるため、電源投入時だけでなく、ユーザーのログオフ時にもこれらを実行するようにした。

5.1.2 GuestOS 側の起動時間短縮

ついで、GuestOS の起動時間の短縮を計った。

GuestOS の利用が進むにつれて GuestOS 側のファイルシステム内の設定が改変されてしまったり、不要なファイルが増えてしまう問題を避けるために、GuestOS のイメージファイルを、Virtual Machine の起動時に復元する必要がある。今回利用した VMware では、サスペンドされたディスクイメージの復元を行うことができないため、代わりにサスペンドされた GuestOS のディスクイメージの雛型を保存しておき、端末の起動時とログオフ時に雛型イメージをバックアップからコピーするという手順を採用した。

しかし、この雛型ハードディスクからのコピーに予想を越える時間がかかることが導入後に判明した。(コピーに約 50 秒かかった) これはハードディスクの高密度化に伴ないヘッドあたりの容量が増えたことで、大きなファイルのコピーをする際にはヘッドシークが多発したことが理由と思われる。ハードディスクから一旦 Ramdisk に読み出した後、そこからハードディスクコピーすることで、所要時間が半分以下になることが確認されたが、利用者端末のメモリが少ないため、この方式を採用することは出来なかった (256MB しかない)。そこで雛型イメージをソフトウェア圧縮しておくことで読み込み量の削減を行い、35 秒程度でコピーが完了するようになった。

5.2 GuestOS のイメージ作成の時刻

GuestOS のイメージファイルを作成した時刻がちょうど cron が動作している時刻だった (午前 3 時)。そのため、そのイメージファイルから GuestOS が起動した時には cron により起動されたプロセスが動いている状態であったため、必要以上にシステムの起動が遅くなっていた。

6 今後の課題

6.1 両方の OS を同時に使えるメリットを活かす教育

Windows と UNIX とは、それぞれ特徴のあるシステムである。教育的観点からこれまでは UNIX を利用してきた領域においても、これからは Windows を利用した方が適切なことも増えてきている。教育用という視点から見ると両方の OS を同時に使えるメリットは大きく、これらをどのように使いわけて活用するかという視点で評価することが重要と考えられる。

両者の利点を活かして、Windows 側で収集したデータを Unix 側に移動してスクリプトなどで処理を行い、さらにその結果を Windows 側からメールで送信をするといった、両 OS の利点を活用する教育を今後始めていくべきだと考える。

6.2 VM 中の OS で教育を行えるか?

授業担当教官から「Virtual Machine 中の UNIX を使われると、UNIX が OS には見えず、Windows で動作するアプリケーションであるかのように理解されてしまう危険性がある」という意見が寄せられたため、今回のシステムにおいてはこの意見に多少なりとも配慮するために「ログイン画面で OS を選択する」という機構を取り入れた。今後、この機構の評価を行ってきたい。

6.3 起動時間

Virtual Machine を快適に動作させるためには、

- 両方の OS を起動させるために十分な量のメモリー
- ランダムアクセス性能の良いディスクドライブ

が必要である。今回の構築・運用により、特に「十分な量のメモリー」を用意して、RAM ドライブないしはディスクキャッシュとして利用することの重要性が確認された。

7 まとめ

本論文においては Virtual Machine を活用した教育用計算機システムの構築技術を紹介した。Virtual Machine を用いた構築事例として京都大学における運用例を紹介した。本論文において挙げたようにこのシステムにおい

て多数の工夫が行われたにもかかわらず、まだまだ多くの課題が残されている。そのため、今後はこれらの残された課題に対して、解決策を見つける研究を継続する必要がある。

なお、VMware のイメージファイルを HostOS 側から直接変更するためのドライバが開発されている¹。このドライバを利用すると Virtual Machine を起動することなくその VirtualDisk に対して変更を加えることが出来るようになるため、HostOS 側からのパッチ当てや Virtual Machine の動作監視などに役立てることが出来るものと思われる。

このように Virtual Machine の運用技術やツール開発はまだ発展の途上段階である。今後、各所で Virtual Machine が利用されて運用技術の蓄積が進むことで、理想的な教育用計算機システムにまた一歩近づけることが出来ることを期待したい。

参考文献

- [1] 丸山 伸, 辻 斉, 藤井 康雄, 中村 順一: 総合情報メディアセンターにおける WindowsNT による大規模分散システムの管理・運用, 平成 11 年度分散システム/インターネット運用技術シンポジウム'99 論文集, pp7-12, 平成 11 年 2 月.
- [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, 情報処理学会研究報告 99-DSM-16, pp49-54, 平成 10 年 11 月.
- [3] 倉前 宏行, 島野 顕継, 木村 彰徳, 松本 政秀: 複数 OS 利用のためのユーザアカウントデータベース統合, 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2002 論文集, pp63-68, 平成 14 年 1 月.
- [4] 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, pp1-6, 平成 12 年 2 月.
- [5] 吉野 宏一, 吉田 進, 安東 孝二, 関谷 貴之, 中山 仁史, 前田 充教: ディスクレス Windows 端末の問題点と改善, 情報処理学会研究報告 2003-DSM-30, pp35-40, 平成 15 年 9 月.
- [6] 安倍広多, 石橋 勇人, 藤川 和利, 松浦敏雄: VMware を用いた Linux/Windows2000 が共存する教育用計算機システムの構築, 平成 13 年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp343-346, 平成 13 年 10 月.
- [7] 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, Vol.43 No.11 - 024.
- [8] 丸山 伸, 北村 俊明, 藤井 康雄, 中村 順一: 5 年間使えるシステム作り, 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2002 論文集, pp69-74, 平成 14 年 1 月.
- [9] 丸山 伸, 北村 俊明, 藤井 康雄, 松山 隆司: 高等教育機関における利用者のセキュリティ維持について, 平成 14 年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp 346-349, 平成 14 年 10 月.
- [10] 丸山 伸, 北村 俊明, 藤井 康雄: Virtual Machine を活用した大規模ファイルシステム, 情報処理学会研究報告 2002-DSM-25, pp 25-30, 平成 14 年 6 月.
- [11] VMware Workstation, http://www.vmware.com/products/desktop/ws_features.html
- [12] Vine Linux, <http://www.vinelinux.org>

¹<http://chitchat.at.infoseek.co.jp/vmware/>