

1000台規模のディスクレスPCシステムの構築と運用

奥村 勝[†], 藤村 丞^{††}

[†] 福岡大学総合情報処理センター

約 1200 台のディスクレス PC から構成される教育用 PC システムの構築について報告する。システムの基本をシンプルなものすることにより、台数規模にかかわらず安定したシステムの実現が行えた。また、従来よりも端末台数が増加したものの、運用管理面のコストを抑えることができた。本稿ではこれらのシステムの詳細と運用状況について報告する。

Construction and Operation of Diskless PC System of Scale that Exceeds 1000

Masaru OKUMURA[†] Sho FUJIMURA^{††}

[†] Information Technology Center, Fukuoka University

We report on the construction of educational PC system composed of about 1200 diskless PC. A system that was not related to the scale and steady was able to archived by simply composing. In this paper, we describe the details and the operation situation of this PC system.

1 はじめに

福岡大学は 9 学部 31 学科, 10 研究科 32 専攻, 約 21,000 名の学生数を擁する私立の総合大学である。総合情報処理センターでは、文系から理工系まで幅広い学部の基礎・専門教育で活用される教育用 PC システムの提供と運用を行っている。平成 17 年 9 月に稼働を開始した教育研究システム FUTURE3 では、約 1200 台からなる PC 環境にディスクレス PC とネットブート方式を採用し、WindowsXP と Linux によるデュアルブート構成とすることで、幅広い教育ニーズへの対応を図った。その結果、およそ PC 端末 50 台につき 1 台割合でネットブート用の起動用サーバを配することで、1200 台までスケラブルにシステムを展開し、サーバ数のスケールメリットを活かして安定したシステムの運用を実現した。また、OS の起動イメージの更新を自動化することで、週ベースのメンテナンスを行えるシステムとして運用するに至り、前システムの課題であった PC メンテナンスのコストを実現し、利用者への利便性に優れたシステムを構築した。

本稿では、1000 台を超える教育用 PC システムを実現する手段として採用したディスクレス PC システムの構築と運用について、設計上の指針や運用の現状、問題点について過去 2 年間の運用状況も踏まえて報告する。

2 FUTURE3 の教育用 PC システム

2.1 教育用 PC システムの要件

大学等の教育機関で教育用設備として用いられる PC システムでは、利用する PC や OS は一般家庭や企業などで使用されるものと同じであるにも係わらず、教育利用や集団利用という面で、特に運用面に求められる機能要件が異なる。

教育用 PC システム (以下、教育用 PC) に求められる要件としては、1) 100~1000 台と PC 台数が多い、2) 導入するアプリケーションの種類や数が多い、3) 安定稼働し、ソフトウェア環境が堅牢であること、4) 利用者の利便性を著しく損なわないこと、5) ソフトウェアの変更が定期的発生する、などが挙げられる。また、教育方針等によって、6) 利用上、市販の PC や OS と著しく異なる仕組みや機器でないこと、7) 異なる OS を同一環境で利用できること、などが追加要件となる。上記の 1), 4), 6)などを考慮すると、一般家庭等で利用されるものと同様の機器や OS を用いて実現することが一般的であるが、同時に 1), 2), 3), 5), 7) のように家庭等の PC 利用環境とは大きく異なる要件も満たす必要がある。

前述のような教育用 PC の要件を実現する技術的手段として、現在利用されている手法は、大きく 3 種類に分類される。一つは、PC の内蔵ハードディスク (以

下, HDD) に OS の起動イメージを格納する一般的な PC を用い, 要件 3) を実現するために, 利用時の設定の変更やディスクへの変更を PC の再起動等により復元する「復元ソフト」を使用する手法である。この手法では要件 1), 5) に対応するために, マスターとなる OS イメージを複数の PC へネットワークを介して「コピー配信」する手法を併用するのが一般的である。二つ目の手法は「ネットブート方式」を用いる手法である。「ネットブート方式」では, PC 自体は OS の起動イメージを持たず, ネットワークを介して別サーバから OS イメージをダウンロードすることで PC を動作させる。そのため PC 側は HDD を持たないディスクレス PC でも Windows や MacOS 等の利用が可能となる^{1), 2)}。その一方で, PC 数十台につき 1 台の起動用サーバを別途準備する必要がある。3 つ目の手法は, 利用者が扱う端末側では OS やアプリケーション処理を行わず, すべての処理をサーバ側で行い, その画面イメージのみをネットワークを介して端末に転送する「画面転送」方式である。画面転送とキーボード等の入出力処理以外はすべてサーバ側で実行するため, 情報漏えい対策などに適しているが, 教育用 PC として利用する場合, 要件 4), 6) の実現が難しい。また, 最近ではこれらの手法に仮想化技術を併用することで, 要件 7) に対応する仕組みを実現しているシステムも運用されている³⁾。

2.2 FUTURE2 における PC システムの課題

FUTURE3 の前身である FUTURE2 (平成 12 年～17 年運用) における教育用 PC システムは, 前述の「コピー配信」方式を採用した次のような教育用 PC であった⁴⁾。

- 11PC 教室, 約 900 台の HDD 内蔵型 PC
- WindowsNT と Linux のデュアルブート (一部教室のみ, 認証データは共通)
- 「コピー配信」+「復元ソフト」方式によるディスク (OS) イメージの保守
- 25 パターンのディスク (OS) イメージ

FUTURE2 の教育用 PC において, 運用上最大のネックとなったのが, ディスク (OS) イメージのパターン数の増加であった。教室毎に導入するアプリケーションソフトが異なったり, あるいは利用可能なライセンス数の制限などにより, PC のディスクイメージを統一することができず, 25 パターンにも及んだ。これら 25 パターンに対し, 年 2 回の新規ソフトウェアの

導入・更新やセキュリティパッチの適用などを行うには, 1 回のイメージ更新につき, イメージの更新から 900 台の PC への配信・確認までを行うと約 1 ヶ月の作業期間を要し, 運用上, 大きな負担となっていた⁷⁾。また, 教室毎のアプリケーション構成の違いは時間割編成時の教室割り当ての難しさや, 学生が自学自習時に利用できる教室が制約されるなど PC 教室を利用する上でも問題を生じていた。

2.3 FUTURE3 の PC システム

FUTURE3 の導入時には, 新たに PC 教室を追加し 1200 台規模とすることを求められた。また, PC 教室設置場所が一箇所に集中しておらず, 学内 10 箇所程に分散配置することを止むなくされた。前 FUTURE2 システムでの運用上の課題も併せて考慮すると, 次のような目標を達成することが必須となった。

1. 物理的に離れた PC 教室や, PC 数・教室数の増加に対応できるメンテナンス性を有すること
2. ディスクイメージのパターン数の削減による利用者の利便性, 運用上の柔軟性が確保できること

前者の目標に対して, 従来の「コピー配信」方式では, メンテナンス性の向上が難しいことから, ネットブート方式を採用することとした。また, 後者については PC 教室間でのディスクイメージの差異をなくし, 原則すべての PC を一つのディスクイメージで運用できる仕組み¹⁾を実現することとした。FUTURE3 における PC システムの基本方針を以下にまとめる。

- ネットブート方式を採用し, 端末はディスクレス PC とする
- Windows のディスクイメージを集約し, 全 PC 共通とする
- 全 PC, Windows と Linux のデュアルブートとする

次節以降, FUTURE3 の教育用 PC システムの詳細について述べる。なお, FUTURE3 全般については既に文献^{5), 6), 7)} に報告している。

2.4 システム構成

平成 19 年 12 月現在, 学内の 18 教室および 9 箇所のオープン利用端末室に設置した 1,275 台²⁾のディス

¹⁾ ライセンスサーバの導入など技術的な仕組みに加え, 導入するソフトウェアの数や種類を運用上制限する制度的な仕組みも含む

²⁾ スキャナーや大判プリンタを接続した 1 台のみハードディスクを搭載し, ネットブートしない通常型の PC である

クレス PC 端末からなる教育用 PC システムを運用している³。

PC 教室の基本構成として、PC 端末 94 台からなる教室の例を図 1 に示す。システムとしては HDD を搭載しないディスクレス PC 群とネットワーク経由で OS の起動イメージを配信するサーバ群及びそれらを接続するネットワーク機器から構成される。

ディスクレス PC は、ネットブート方式に対応した PC で、HDD を搭載していない点以外は一般的な DOS/V PC である。PC の仕様を表 4 に示す。

サーバとしては、ディスクレス PC システムの管理、DHCP サービスならびに Linux のミニカーネルの配布を行うための「管理サーバ」、Windows のディスクイメージの配布を行うための「IO サーバ」、Linux 実行のための「NFS サーバ」からなる。各サーバの仕様を表 3 に示す。

PC 端末群とサーバ間のネットワーク構成は、同一ネットワークセグメントとなるよう接続を行っている。ネットワーク機器の仕様を表 5 に示す。

また、キャンパス全体でのディスクレス PC システムの全体構成を図 2 に示す。約 1200 台のディスクレス PC の運用に必要な管理サーバ 10 台、IO サーバ 30 台、NFS サーバ 26 台は、すべて情報センターのマシン室に集中配置し、同マシン室に設置したサーバスイッチへ直収した。また、それ以外のサーバとして、認証用サーバとして ActiveDirectory および LDAP サーバ、アプリケーションのライセンスを管理するライセンス管理サーバ、利用者の個人ファイルを保存する専用ファイルサーバも同サーバスイッチに収容する構成となっている。その結果、各 PC 教室およびオープン端末室には、ディスクレス PC とネットワーク機器のみを設置する構成となった。

システム全体におけるネットワーク構成としては、サーバスイッチと各 PC 教室間については PC 端末 25 台につき 1Gbps の帯域を確保する接続構成で、一箇所あたりの PC 設置台数の少ないオープン端末室については、キャンパスネットワークの建屋スイッチから 1Gbps で接続する構成を取っている。

PC 教室用に全体で 10 個のネットワークセグメントを割り当て、各セグメントに管理サーバを 1 台ずつ配置している。IO サーバと NFS サーバについては、サーバ 1 台あたりのクライアント PC 数を 50 台以内となるように設計を行った。なお、NFS サーバが IO サーバの台数と一致しないのは、NFS サーバが IO サーバ

に比べて比較的負荷が少ないことから、オープン端末室システムの割り当て台数を PC 教室とは同一に設計していないためである。

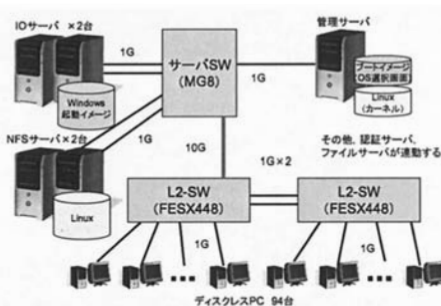


Fig. 1 PC 教室 (94 台) のシステム構成例

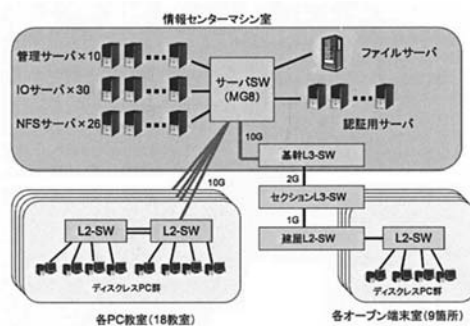


Fig. 2 ディスクレス PC システムの全体構成図

2.5 クライアント環境

本節では、教育用 PC の Windows および Linux クライアントを利用する際の環境等について述べる。

2.5.1 Windows・Linux 共通事項

ログイン認証については平成 17 年より学内で運用を開始した統合認証システム⁸)と連動しており、学生は学内のさまざまな情報サービスを利用する際と共通の ID、パスワードで PC にログイン可能としている。

PC 利用時の個人ファイルは、専用ファイルサーバ上に割り当てられたホームディレクトリに保存できる。ホームディレクトリは、図 3 に示すように Linux のホームディレクトリ内に Windows の領域を確保する方式を採用した。Windows 利用時は図 3 中の windows ディレクトリが、ネットワークドライブ (H:) として割り当てられる。

また、ログイン時に必要な設定ファイルの有無をチェックし、存在しなければ自動的にコピーする仕組み

³ 平成 19 年 3 月には 1 教室追加で 19 教室、PC 総数 1,336 台となる

みを採用した。これにより設定ファイル等の不具合により、利用上問題が生じた際は設定ファイルを削除し、再ログインすることでデフォルト環境へ容易にリカバリ可能となっている。印刷環境については、オンデマンド方式のプリンタシステムを採用している。

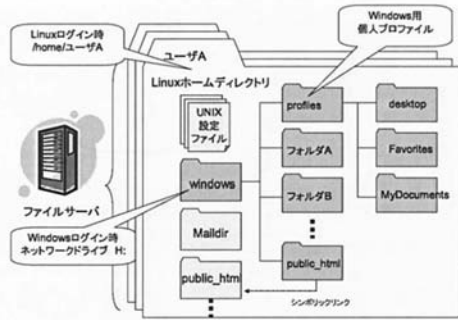


Fig. 3 ホームディレクトリの構造図

2.5.2 Windows のユーザ環境

学生および教員の利用する Windows 環境は同一のものとした。また、CALL 教室用ではアプリケーション構成が一部異なるものの、原則として全 PC 用のアプリケーション構成は 1 つのディスクイメージに統一した。これにより利用者は、教室や PC に依らず、同一の Windows 環境を利用可能となった。なお、Windows 利用時のメモリ容量は、3.1.1 節で後述のメモリキャッシュ利用のため 768MB となっている。

Windows の OS 設定に関しては、ドメインのポリシー設定を利用して、ユーザ環境を細かく設定、制限している。特徴としては、プロフィール管理に一時プロフィール方式を採用し、マイドキュメントやデスクトップファイル、お気に入りなどの利用者毎の設定を利用可能としている。ユーザのプロファイル情報は、図 3 のようにネットワークドライブに割り当てた Windows 用のホームディレクトリにリダイレクトして保存、読み出しを行えるようにしている。この方式により、文献¹⁾等で指摘されている移動プロフィール利用時のユーザ情報の書き戻し処理や、それに起因するトラブルを伴わない形で、利用者の個人設定を反映できるユーザ環境を実現している。なお、管理者権限についてはポリシーで制限しているため新たなドライブやアプリケーションなど、管理者権限の必要なソフトの導入は行えない。

2.5.3 Linux のユーザ環境設定

Linux ではネットワークブートによる起動方法を採用しているものの、Windows のようなキャッシュメモ

リ (3.1.1 節) の問題がないため、1.5GB のメモリ容量をそのまま OS で利用できる。

3 構築、運用に関する考察

本章では、1000 台を超えるディスクレス PC からの教育用 PC システムの導入および運用における考慮点や運用上の課題について述べる。

3.1 システム構成について

3.1.1 キャッシュ方式とサーバ台数

ネットブート方式とディスクレス PC で Windows 環境を実現する場合、設計上のポイントとなったのが、OS 起動後のディスク変更情報をキャッシュするキャッシュ方式と、起動用サーバ 1 台に対するクライアント PC の割り当て台数である。

採用したシステムの場合、Windows の C: に対する書き込み情報を、起動用サーバのディスク上に書き込むサーバキャッシュ方式 (SC) と、クライアント PC の持つメモリの一部をキャッシュ領域として使用するメモリキャッシュ (MC) 方式がある。我々が事前に、図 1 と同様の環境⁴⁾で行った PC の一斉起動評価実験では、サーバキャッシュ方式を採用した場合、起動時間⁵⁾は表 1 にあるように、PC50 台の場合、メモリキャッシュ方式では 182 秒であったのに対し約 2 倍の 354 秒を要した。また、同様に 50 台と 94 台での起動時間を比較したところ、310 秒と 450 秒となった。なお、表 1 中の HDD の項は、内蔵 HDD から Windows を起動した際の参考起動時間である。

これらの結果をから、FUTURE3 ではメモリキャッシュ方式を採用し、各 PC に 1.5GB のメモリを搭載し、その内 768MB をキャッシュ領域として利用することとした。また、Windows 起動用の IO サーバ 1 台に対する PC 数としては 30~50 台とすることとした。なお、一斉起動時間の詳細等は文献⁷⁾にて報告を行っている。

起動台数	起動時間 (秒)		
	MC	SC	HDD
1	54	56	39
25	104	112	-
50	182	354	-
94	310	450	-

Table 1 起動時間比較

⁴⁾ IO サーバ、NFS サーバは各 1 台

⁵⁾ 最後の PC のログインウィンドウが表示されるまでの時間

3.1.2 サーバの集中配置

前節で述べた起動用サーバに対するPC割り当て数から、システム全体で必要となるサーバ台数を算出し、結果として管理サーバ10台、IOサーバ30台、NFSサーバ26台を導入する設計となった。一定PC数に対し起動用サーバを割り当て、サーバとPC間との通信帯域を確保することにより、スケーラブルな運用が可能なることから、図1を基本構成とするシステムを水平展開し、1200台規模のPCシステムを構成した。この際、OSのディスクイメージを配信するサーバ（図1中のIOサーバ、NFSサーバ）の設置場所をPC教室内に置くことも可能であったが、本学の場合、PC教室が物理的にキャンパス内に分散しているため障害発生時の対応が迅速に行い難いこと、仮にPC教室内部にサーバを設置してもPC教室間と基幹ネットワーク間の通信が途絶した場合、PCの利用継続が困難であること等を勘案し、サーバはすべて情報センターに集中配置する構成を採った。この結果、PC教室までの通信帯域を確保する必要はあるものの、サーバの障害時に迅速に復旧作業が可能となり、またサーバ機器の空調管理面などを適切に行える結果となった。

3.2 運用について

3.2.1 ディスクイメージのメンテナンスについて

まず、ディスクイメージ（以下、イメージ）であるが、FUTURE2では25パターンあったのに対し、FUTURE3ではライセンスサーバの併用やソフトウェア導入上の運用制度などにより、6パターンまで削減することができた。実質的には学生も教員も1種類のWindows用イメージとLinux用イメージを利用することになり、PCの利用場所を問わず一様性を保証することとなった。これにより、PC教室間の違いは収容人数のみの差異となり、時間割編成時の柔軟性の確保や、障害などが発生した際のPC教室の振り替えも容易に行える運用となった。

次に更新頻度の高いWindowsのイメージの更新サイクルについて述べると、1)半期に1度のメジャーアップデート（新規要望ソフトの導入など）、2)毎週・毎月実施のマイナーアップデート（ウイルス定義ファイル、MS-Update）の2種類で実施している。イメージ更新のフローを図4に示す。メジャーアップデートの場合は、イメージ更新モードで起動したPC端末にてイメージの手動更新・検証を行い、マスターイメージを更新する。マイナーアップデートの場合は、夜間バッチ等で更新スクリプトを実行し、マスターイメージを自動更新し、その後、更新されたマスターイメージを各PC教室用のIOサーバに対して、配信コピー

を自動で行う。現在、4パターン（各28GB）のイメージ更新とサーバへの配信を週末（土曜深夜から月曜早朝）に実施する運用を行っている。

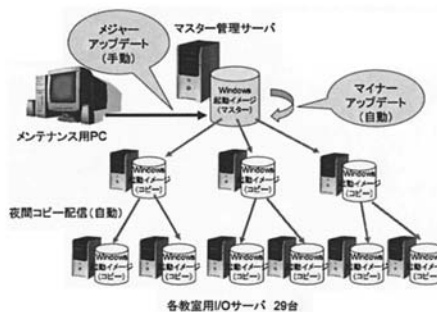


Fig. 4 イメージ更新フロー

3.2.2 障害・故障について

平成17年9月～平成19年12月末までの障害件数を表2に示す。システム全体の利用に影響を与えるログイン障害は、運用開始直後に発生したものの、その後は年に1回程度であり、どれもサーバ側のソフトウェア設定等に起因するものであり、ネットブート方式そのものに起因する大きな障害は現在のところ発生していない。サーバ機器においても、HDDや電源故障などが発生しているが、基本的にハードウェアに対して、またPCに対する起動サーバの割り当てについても冗長構成を採っているため、PCシステムの利用そのものに影響を与える事態は防止できた。また、PCについても導入直後に本体故障が発生したが、約1200台のPCの1%程度であり、妥当な範囲と思われる。現状、幸いにして致命的なネットワーク障害が発生していないこともあり、初期トラブル解消後は安定した運用を行っていると見える。

	H17	H18	H19
ログイン障害	3	1	1
サーバ故障（本体,HDD）	4	1	5
PC故障（FD,CD）	2	5	4
PC故障（本体）	10	2	9

Table 2 障害件数

3.3 大規模化のメリットと運用上の課題

前システムに比べPC端末群とイメージの管理コストは低減できたが、一方で別途サーバを70台程、管理する作業が増加した。現状のところPC用のイメージの更新頻度と比べるとサーバ側のメンテナンスは頻

度が低く、また同一機種、同一機能のサーバが多数あるため、これらを運用が停止しないように互いに補完する割り当てを施すことで、結果としてシステムの運用中であってもサーバ保守が行えることとなり、システムの大規模化によるスケールメリットを活用できる結果となった。

サーバはすべて情報センターに集中配置したが、各PC教室には10Gbpsポートと1Gbpsポートを数十持つL2-SWを配置せざるを得なかった。各学部の建物内に設置したPC教室では空調面で冷却が十分ではない場所もあり夏季等の高温期におけるネットワーク機器内部の温度上昇が運用上の問題となった。温度上昇に伴う障害を回避するために、ネットワーク機器を収納するラックの空調ファンなどを強化するなどの回避策を講じる結果となった。

4 おわりに

ディスクレスPCを用いて構成した1200台規模の教育用PCシステムの導入と運用状況について報告した。1000台を超える大規模PCシステムとなったが、基本性能を維持できる構成を基にして、システムを水平展開することで一様で安定した運用を行えるPCシステムの構築が行えた。特に運用面では、サーバの集中配置・管理やディスクイメージの更新作業を自動化することで、前システムでは管理コストを要していたディスクイメージの更新が、PC台数では3割増加したものの週ベースではほぼ自動化できる運用となった。これらの改善により管理運用業務が軽減されたことから、情報センターのスタッフは利用者へのサービス改善や大学全般の情報化業務などに従事することが可能となった。次期FUTURE4システムにおいても同規模のPCシステムを運用することが決定的であるため、システムの安定性と運用コストを維持しつつ、サーバ台数やそれに伴う保守費用などを減らすシステムの検討を今後進める予定である。

サーバ名	DELL PowerEdge 1850
CPU/MEM	Intel Xeon 3.2GHz, 1GB
HDD	146GB(RAID1)
NIC	1000BASE-T 2ポート
管理・IOサーバOS	WindowsServer2003 SP1
NFSサーバOS	RedHat Enterprise Linux v.3

Table 3 管理・I/O・NFSサーバのスペック

PC名	MintWave RidottoA
CPU/MEM	Intel Pentium4 3.0E GHz, 1.5GB
HDD/CD	なし, DVD-RW
NIC/USB	1000BASE-T, 前面2/背面2ポート
OS	WindowsXP SP2
OS	Linux(SunJavaDesktopSystemR2)

Table 4 ディスクレスPCのスペック

スイッチ名	Foundry 社製
サーバSW	MG8(1G,10G)
基幹・セクションL3SW	BigIron15000(1G),4000(1G)
建屋・PC教室内L2-SW	FastEdge X448(1G,10G)

Table 5 ネットワーク機器のスペック

参考文献

- 1) 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-29, pp.19-24 (2003).
- 2) 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評価」, 情報処理学会研究報告, 2003-DSM-29, pp.25-30 (2003).
- 3) 安部広多, 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 43, pp.3468-3477 (2002).
- 4) 奥村勝, 「情報処理教育研究システムの構築」, 情報処理教育研究集会, pp.111-111 (2000).
- 5) 西原彦彦, 藤村丞, 奥村勝, 「新教育研究システム FUTURE3 の概要」, 情報処理教育研究集会, pp.123-126 (2005).
- 6) 奥村勝, 藤村丞, 西原彦彦, 「新教育研究システム FUTURE3 のネットワーク概要」, 情報処理教育研究集会, pp.127-130 (2005).
- 7) 藤村丞, 奥村勝, 西原彦彦, 「ディスクレス PC による情報処理教育環境の構築」, 情報処理教育研究集会, pp.131-134 (2005).
- 8) 奥村勝, 本山聡, 三河邦夫, 「福岡大学における統合認証システムの構築と運用について」, 情報処理学会研究会報告, 2006-DSM-40, pp.7-12 (2006).