

# 教育用パソコンのネットワークブート起動時間に 影響を与える要因の評価

## An Evaluation of Factors Affecting the Boot-Up Time of PXE Boot Terminals for Education.

浜元 信州 †, 三河 賢治 †, 青山 茂義 †

Nobukuni HAMAMOTO†, Kenji MIKAWA†, Shigeyoshi AOYAMA†

hamamoto@cais.niigata-u.ac.jp

新潟大学 情報基盤センター †  
Center for Academic Information Service, Niigata University †

### 概要

新潟大学では、平成 19 年 1 月に教育用コンピュータシステムを更改し、これまでのローカルブート形式の教育用パソコンから、ハードディスクを搭載しない、ネットワークブート形式の教育用パソコンに転換した。本システムの導入当初は教育用パソコンの起動時間が安定せず、これまでに様々な対策を講じてきた。このようなネットワークブート形式のシステムでは、教育用パソコンの起動時間に影響を与える要因を特定することが非常に難しく、ポイントのはずれた対策は莫大な時間とコストを浪費するだけである。新潟大学では、教育用パソコンの起動時間の短縮に効果的な要因を探るため、ネットワークブートサーバのハードディスク性能とネットワーク帯域を変更し、複数の組合せに対して教育用パソコンの起動時間を計測した。その結果、起動時間には、ネットワーク帯域の増強が大きく影響し、ハードディスク性能は大きく影響しないことが分かった。本論文で上記の実験結果を報告する。

### キーワード

教育用コンピュータシステム, ネットワークブート, 起動試験

### Abstract

The educational computer system of Niigata university was replaced on January 2007 where diskless network boot terminals based on preboot execution environment (PXE) boot are introduced for the educational computers. However, the terminals boots much slower than the local boot terminals which boot from local HDD. We tuned the network wiring and the settings of the network boot terminals and add new boot servers to boot the terminals faster. It is very difficult to find suitable parameters affecting boot-up time of the network boot terminals because the parameters are different from that in the local boot terminals. To find the factors for faster boot of the terminals, we measured the boot-up time of the terminals by changing network bandwidths, HDD drives of the boot servers and boot cache. We find the bandwidth of the network strongly affects the boot-up time. On the other hand, the boot-up time do not seriously change by replacing the HDD and boot cache. In this paper, we describe the details of the result of our experiment.

### Keywords

Computer system for university education, PXE boot system, experiment on boot-up terminals

## 1 はじめに

パソコンの起動方法には、内蔵ハードディスクから起動する一般的なローカルブート形式と、ディスクイメージを外部のサーバ上で管理して、パソコンの起動に合わせてディスクイメージを配信するネットワークブート形式がある。ネットワークブート形式では、パソコンに搭載するオペレーティングシステムやアプリケーションソフトウェアのハードディスクイメージをネットワークブートサーバ上で管理し、パソコンの起動に合わせて、ネットワークブートサーバからディスクイメージを配信し、パソコンが利用できるようになる。この形式では、ディスクイメージ全体を配信せず、必要なディスクイメージをパソコンのメモリ上に展開することができる。このため、パソコンにハードディスクを搭載しない運用とディスクイメージを一元的に管理する運用が可能となり、導入コストや管理コストの削減に対する意識の高まりと相まって、多くの企業、教育機関でハードディスクを搭載しないネットワークブート形式のパソコンの導入が相次いだ。[1, 3, 4]

新潟大学は、本州日本海側ではじめて政令指定都市となった新潟市に立地している。また、新潟大学は、市内にほとんど同規模の本部を含む文理系キャンパスと医歯学系キャンパスを有し、9 学部、7 大学院、2 研究所、1 総合病院から構成される総合大学であり、学生総数 12,676 人、教職員総数 2,265 人が在籍している。情報基盤センターは、新潟大学の教育用コンピュータシステム、基盤ネットワークシステムを管理、運用する責任部局であり、教育用コンピュータシステムについて、その導入から管理、運用を担当している。各キャンパスには、それぞれ 461 台、172 台の教育用パソコンが配置されており、毎日 1,000 人以上の学生、教職員が情報リテラシー教育や研究に利用している。

新潟大学では、平成 19 年 1 月に教育用コンピュータシステムを更改し、これまでのローカルブート形式の教育用パソコンから、ハードディスクを搭載しないネットワークブート形式の教育用パソコンに転換した。本学の教育用コンピュータシステムの構成は、各キャンパスの情報系サーバ室に、ユーザ認証用サーバ、ファイルサーバ（文理系キャンパスに集約）、印刷サーバ、ネットワークブート用の管理サーバ、ブートサーバ等を配置し、附属図書館、学務部、その他の主要な部局等に対して、教育用パソコン実習室を 15 教室、合計 633 台の教育用パソコンを展開した。本システム導入後、教育用パソコンのオペレーティングシステムやアプリケーションソフトウェアのハードディスクのイメージを情報基盤センターで一元的に管理することが可能となった。また、教育用パソコンを運用するための基幹サーバを情報系サーバ室に集約したことにより、サーバ機器のメンテナ

ンス性が向上し、現在も教育用システム管理者の負担軽減に大きく貢献している。

しかしながら、本システムの導入直後は、教育用パソコンの起動時間が安定せず、100 台以上の一斉起動に対して、全く起動できない端末、利用の途中で動作を停止してしまう端末、アプリケーションソフトウェアの動作が非常に重たい端末が少なからず見受けられた。この点に関して、情報基盤センターでは、

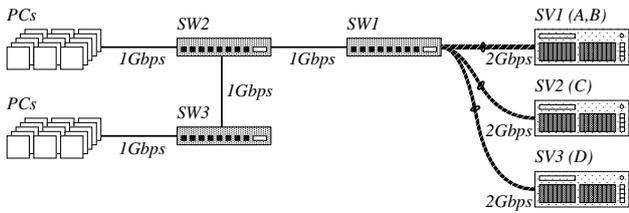
- 
- (1) すべての教育用パソコンに対して、512MB から 1GB にメモリを増設
  - (2) 一部の教育用パソコンに対して、内蔵ハードディスクを搭載
  - (3) ネットワークブートサーバを増設
  - (4) ネットワークブートサーバに対して、教育用パソコンの割り付けを変更
- 

等の対策を行い、現在では、安定して教育用パソコンを運用している。一方で、新潟大学と同様のネットワークブート形式の教育用パソコンを導入している他大学の教育用システムと比較して、本学の教育用パソコンの起動時間は多少なりとも時間を要しているようであった。教育用パソコン単体の性能の向上、ブートサーバの増設、教育用パソコンの割り付けの調整によって起動時間が短縮することは、上記の対策時に評価している。今回、ネットワークブートサーバを何種類か準備して、教育用端末の起動時間を計測する機会を得たので、ネットワークブートサーバのハードディスク構成とネットワークの帯域を変更し、これらの組合せが教育用パソコンの起動時間にどのような影響を与えるか実験を行った。

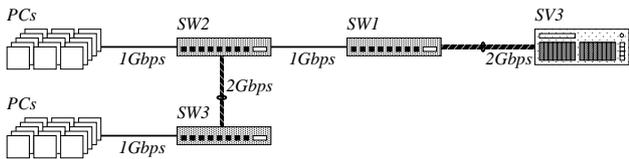
## 2 試験環境

教育用パソコンの起動試験に用いたネットワーク構成とサーバ機器等の配置の概要を図 1 に示す。これらの試験環境は、情報基盤センターのサーバ室で構築し、端末は情報基盤センターの実習室に設置してあるものを既存の配線を流用し接続している。図中の SV1, SV2, SV3 で示したネットワークブートサーバは、ヒューレットパッカード社製 Proliant DL160G6 を用いた。ネットワークブートサーバの構成を表 1 に示す。今回の起動試験では、SV1, SV2, SV3 とともに同一の CPU、同容量のメモリを搭載した。

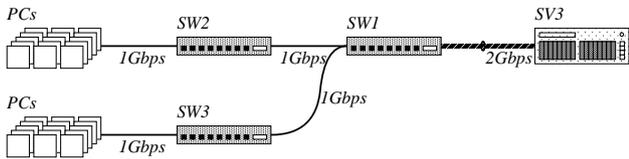
ブートサーバのハードディスク性能が端末の起動時間に与える影響について、文献 [2] で詳しい評価が行われた。文献では、SSD をブートサーバに搭載することに



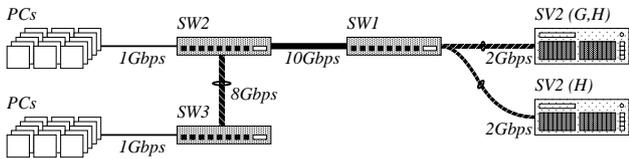
(a) 試験環境 A, B, C, D の場合



(b) 試験環境 E の場合



(c) 試験環境 F の場合



(d) 試験環境 G, H の場合

図 - 1: 端末起動試験の試験環境 (ネットワーク構成とサーバ機器等の配置)。

よって、端末の起動時間が短縮される、との結論を得た。また、福岡大学では、ブートサーバに SSD を搭載した教育用システムが稼働している [1]。SSD は高価な製品であるため、残念ながら、今回の起動試験で SSD を用意することができず、SSD を用いた起動試験を見送ることとなった。また、ネットワークブート用ソフトウェアは、シトリクス社製 Provisioning Server (PVS) を用いた。また、パソコンは、複数台のデル社製 Optiplex GX620 (スモールファクタ) を用いた (図中、PC)。起動試験に用いたパソコンの構成を表 2 に示す。

起動試験は、レイヤ 2 スイッチ間のネットワーク帯域、ネットワークブートサーバのハードディスク構成、ディスクキャッシュの有無、ネットワークブート用ソフ

トウェアの組合せを変更して行った。試験環境の詳細を表 3 に示す。表中、ネットワークブート用ソフトウェアのバージョンを変更して起動試験を行った環境があるが、これは、試験環境 G と H の環境を整備した時期に同じバージョンのネットワークブート用ソフトウェアを用意できなかったためである。したがって、試験環境 A から F と、試験環境 G, H では、起動試験を行った時期が異なっていることに注意されたい。表中のディスクキャッシュについて、本試験で用いた PVS は、ディスクイメージとの差分 (ユーザがパソコンを利用することによって生成されたテンポラリ領域の一時ファイル等) をパソコン側もしくはブートサーバ側の内蔵ハードディスクに保存する機能を持つ (これをディスクキャッシュ機能とよぶ)。パソコン側でキャッシュする場合は、ネットワークブートサーバから配信されるディスクイメージとの差分をパソコンの内蔵ハードディスクにキャッシュし、サーバ側でキャッシュする場合は、ディスクイメージとの差分をブートサーバの内蔵ハードディスクにキャッシュする。

図 1 のネットワーク機器について、SW1 はアラクサラ社製 AX3630S-24T2X である。SW2 と SW3 は試験環境によって機種が異なり、試験環境 A から F までは、SW2 はアラクサラ社製 AX2430S-48T、SW3 はアラクサラ社製 AX2430S-24T を用いた。試験環境 G, H では、SW2 は 10Gbps のインターフェースが接続可能な、AX2430S-24T2X、SW3 は、AX2430S-48T を用いた。どちらもワイヤスピードでレイヤ 2 スイッチングが可能なネットワーク機器である。

## 2.1 起動時間の測定

起動時間の測定は、各端末に自動ログインするよう設定し、ブートサーバから端末に対して電源投入を指示した時刻と、各端末がファイルサーバ上の領域をマウントした時刻を計測し、両者の差を端末の起動時間とした。ログイン画面が表示されるまでの時間ではないので注意されたい。

各端末は Wake on LAN 機能に対応し、PVS はマジックパケット送信機能を有している。そこで、ブートサーバから端末に電源投入を指示した時刻は、PVS のマジックパケットを一斉に送信する機能を利用し、ブートサーバからマジックパケットの送信を指示した時刻とした。端末に対してマジックパケットの送信を指示すると、ブートサーバは全端末に対してマジックパケットを送信するのであるが、全端末に同時に送信しているわけではないので、本試験では、マジックパケットの送信を指示した時刻を基準とした。

一回の端末の起動時間の測定方法は、起動時間の最も短い端末の起動時間と、起動時間の最も長い端末の起動

表 - 1: ネットワークブートサーバの構成一覧．全てのサーバについて，CPU 型番はインテル社製 Xeon E5504，メモリ容量は 4GB である．

サーバ	HDD I/F	回転数 / 分	RAID 構成
SV1	SAS 2.0	15,000	1
SV2	SATA 3G	7,200	1
SV3	SATA 3G	7,200	0

時間を除いた，残りの端末の起動時間の平均を求めた．また測定の際ばらつきを抑えるため，一斉起動を 3 回行い，3 回の平均を平均起動時間として表 4, 5, 6 に記載した．本試験の一斉起動は，PVS のマジックパケットを送信するタイミングに依存しているが，実運用において，端末が全くの同一時刻に一斉に起動することはないので，本測定は，実運用のための参考値として十分な意味をもつと考えている．

### 3 試験結果

はじめに，試験環境を A に固定して，基準となる起動試験を行った．試験環境 A のネットワーク環境は，表 3，および，図 1(a) に示したとおり，SW1 と SW2 との間の帯域を 1Gbps，SW2 と SW3 との間の帯域を 1Gbps，SW1 と SW3 との間を接続していない．また，試験環境 A のブートサーバ (SV1) は，SAS 2.0 インタフェース，15,000 回転 / 分のハードディスクで RAID1 を構成する．

起動試験は，1 台から 50 台の端末を一斉に起動して，その起動時間を計測した (表 4 参照)．試験環境 A は，SW2 に 30 台の端末を接続し，SW3 に 20 台の端末を接続している．表中，一斉起動の端末台数が 30 台以下の起動試験では，SW3 に接続された端末を起動しないように設定し，SW2 に接続された端末に対して，指定台数が起動するよう設定している．また，一斉起動の端末台数が 40 台の起動試験では，SW3 に接続された 10 台の端末を起動しないように設定している．

端末の台数が 1 台の場合，起動時間は 1 分 22 秒であった．試験環境 A では，一斉起動する端末の台数の増加にともない，端末の起動時間が増加する傾向にあり，端末の台数が 50 台の場合，1 台あたりの平均起動時間は 4 分 31 秒に達した．端末の台数が 30 台を超えると，台数の増加に対して，1 台あたりの平均起動時間の増加が少ない傾向にあるが，おおむね，台数に比例した起動時間の延長が認められる．

表 - 2: 教育用パソコンの構成一覧 (デル社製 Optiplex GX620 スモールファクタ)．

構成部品	名称
CPU 型番	インテル社製 Pentium4 (2.8GHz)
メモリ容量	1GB (512MB × 2)
HDD	東芝社製 MK1655GSX (160GB, 5,400 回転, SATA)
OS	マイクロソフト社製 Windows XP SP3

#### 3.1 ブートサーバのハードディスク構成

次に，端末の台数を 40 台に固定して，試験環境の A から F について，一斉起動の実験を行った (表 5 参照)．ブートサーバのハードディスクの性能に注目すると，試験環境 A, C, D は，ネットワーク環境は同一で図 1(a) に示した構成であり，ブートサーバのハードディスクの性能だけが異なる環境である．そこで，試験環境 A, C, D の結果を比較していこう．表 1 に示したとおり，試験環境 A では，ブートサーバ (SV1) は，SAS 2.0 インタフェース，15,000 回転 / 分のハードディスク 2 台の RAID1 構成である．試験環境 C では，ブートサーバ (SV2) は，SATA 3G インタフェース，7,200 回転 / 分のハードディスク 2 台の RAID1 構成である．試験環境 D では，ブートサーバ (SV3) は，SATA 3G インタフェース，7,200 回転 / 分のハードディスク 2 台の RAID0 構成である．ハードディスクの構成から，ハードディスクのアクセス性能に関して，試験環境 A と D がほとんど同等であり，試験環境 C が劣る．

表 5 から，試験環境 A の平均起動時間が 4 分 8 秒で最も速く，試験環境 C の平均起動時間が 4 分 21 秒で最も遅い結果となった．また，試験環境 D の平均起動時間は 4 分 12 秒であった．ハードディスクの構成の違いが平均起動時間に忠実に反映された結果となったが，試験環境 A と C の平均起動時間の差は 13 秒であり，平均起動時間が 4 分を超える環境下でのこの差は，有意であるとは言いがたい．

この結果から，ブートサーバに内蔵するハードディスクの性能を向上させても，端末の起動時間の短縮にはあまり貢献しないと言えそうである．この点に関して，ネットワークブートでは，端末の起動に必要なディスクイメージの容量は比較的小さく，各端末がブートサーバのハードディスクに直接アクセスしているというより，むしろブートサーバのメモリ上にキャッシュされたディスクイメージの内容にアクセスしていると考えの方が自然であろう．

表 - 3: 端末起動試験の試験環境一覧（ネットワーク帯域，ブートサーバ構成，ディスクキャッシュ設定，ネットワークブート用ソフトウェアのバージョン）。

試験環境	帯域 SW1～SW2	帯域 SW1～SW3	帯域 SW2～SW3	ブートサーバ (台数)	ディスク キャッシュ	ソフトウェアの バージョン
A	1Gbps	無	1Gbps	SV1 (1台)	パソコン	PVS 5.6
B	1Gbps	無	1Gbps	SV1 (1台)	サーバ	PVS 5.6
C	1Gbps	無	1Gbps	SV2 (1台)	パソコン	PVS 5.6
D	1Gbps	無	1Gbps	SV3 (1台)	パソコン	PVS 5.6
E	1Gbps	無	2Gbps	SV3 (1台)	パソコン	PVS 5.6
F	1Gbps	1Gbps	無	SV3 (1台)	パソコン	PVS 5.6
G	10Gbps	無	8Gbps	SV2 (1台)	パソコン	PVS 5.6(SP1)
H	10Gbps	無	8Gbps	SV2 (2台)	パソコン	PVS 5.6(SP1)

### 3.2 ディスクキャッシュ機能

本試験で用いたネットワークブート用ソフトウェアのPVSは、ディスクイメージとの差分（ユーザがパソコンを利用することによって生成されたテンポラリ領域の一時ファイル等）をパソコン側もしくはブートサーバ側の記憶装置に保存する機能をもつ。ブートサーバ側の記憶装置に保存する場合は、端末毎にディスクイメージとの差分を保存している。

前節の起動試験（表5参照）では、試験環境AとBは、ネットワーク環境とブートサーバ性能が同一で、ディスクキャッシュ機能の設定内容だけが異なる環境である。そこで、試験環境AとBの結果を比較していこう。試験環境Aは、ブートサーバ側のハードディスクにキャッシュを保存するよう設定を行った。内蔵ハードディスクは、SAS 2.0 インタフェース、15,000 回転/分のハードディスク2台のRAID1構成である。一方、試験環境Bは、端末側のハードディスクにキャッシュを保存するよう設定を行った。表2から、内蔵ハードディスクは、SATA 3G インタフェース、5,400 回転/分のハードディスク1台の構成である。内蔵ハードディスクの性能を比較すると、ブートサーバに内蔵するハードディスクの方が端末に内蔵するハードディスクよりも高性能であるが、起動する全端末からネットワーク経由（帯域1Gbps）でアクセスされることになる。

表5から、試験環境Aの平均起動時間は4分8秒で、試験環境Bの平均起動時間も4分8秒であった。この結果から、ディスクキャッシュ機能をブートサーバ側で有効にするか、端末側で有効にするか、の設定の違いが、端末の起動時間の短縮にはあまり貢献しないと言えそうである。実際、試験環境Aのブートサーバ上のディスクキャッシュの保存領域を確認したところ、端末毎の差分はほとんど保存されておらず、ディスクキャッシュ機能を利用した形跡は認められなかった。

表 - 4: ブートサーバ1台に対する端末1台あたりの平均起動時間。

試験環境	端末台数	平均起動時間
A	1	1:22
A	10	2:18
A	20	3:21
A	30	3:57
A	40	4:08
A	50	4:31

表 - 5: 端末40台の一斉起動に対する端末1台あたりの平均起動時間。

試験環境	端末台数	平均起動時間
A	40	4:08
B	40	4:08
C	40	4:21
D	40	4:12
E	40	3:57
F	40	3:16

### 3.3 ネットワーク環境

次に、ネットワーク構成の違いが端末の起動に影響を与えるかについて考察する。最大の帯域が1Gbpsであるネットワーク環境に限定すると、前節の起動試験（表5）では、試験環境D、E、Fは、ブートサーバ性能が同一で、ネットワーク環境だけが異なる環境である。そこで、試験環境D、E、Fの結果を比較していこう。試験環境は、SW2に30台の端末、SW3に10台の端末を接続し、合計40台の端末を一斉起動している。

試験環境 D は、図 1(a) に示すとおり、SW2 と SW3 との間の帯域を 1Gbps、SW1 と SW3 との間を接続していない。試験環境 E は、図 1(b) に示すとおり、SW2 と SW3 との間の帯域を 2Gbps に増強し、SW1 と SW3 との間を接続していない。試験環境 F は、図 1(c) に示すとおり、SW2 と SW3 との間を接続せず、端末側の 2 台のスイッチを SW1 にそれぞれ帯域 1Gbps で直接接続している。試験環境 D、E と試験環境 F とのネットワーク構成上の大きな違いは、SW1 と SW2 との間の帯域がボトルネックにならないように構成されている点である。したがって、ネットワークの構成上、試験環境 F の平均起動時間が最速であることが期待される。

表 5 から、試験環境 D の平均起動時間は 4 分 12 秒、試験環境 E の平均起動時間は 3 分 57 秒、そして試験環境 F の平均起動時間は 3 分 16 秒であった。したがって、試験環境 D と E の平均起動時間の差は 15 秒、試験環境 D と F の平均起動時間の差は 56 秒である。ネットワークの構成に起因すると思われる有意な差が生じた。前節の実験結果からも、ネットワークブートに利用されるディスクイメージの大きさは小さいと思われるが、試験環境 D と E においても、平均起動時間に差が生じた。この結果から、ネットワーク帯域が 1Gbps 程度では、SW2 と SW3 との間もボトルネックになっていると考えられる。

この推論を検証するため、新規に試験環境 G、H を構築して、端末 50 台を一斉起動する実験を行った（表 6 参照）。ただし、表中、試験環境 A の平均起動時間は表 4 に示した結果から抜粋したものであり、平均起動時間の比較のために掲載している。試験環境 A は、図 1(a) に示すとおり、SW1 と SW2 との間の帯域を 1Gbps、SW2 と SW3 との間の帯域を 1Gbps で接続している。これに対して、試験環境 G は、図 1(d) に示すとおり、SW1 と SW2 との間の帯域を 10Gbps、SW2 と SW3 との間の帯域を 8Gbps（1Gbps × 8 でリンクアグリゲーション）にそれぞれ増強している。しかしながら、ブートサーバは同一の構成を用意することができなかったため、試験環境 A のハードディスク構成の方が高性能なものとなってしまった。試験環境 A と G、H の端末の接続形態は若干異なり、試験環境 A は、SW2 に 30 台の端末、SW3 に 20 台の端末を接続しているが、試験環境 G と H は、SW2 に 10 台の端末、SW3 に 40 台の端末を接続して、一斉起動を行った。

表 6 から、試験環境 A の平均起動時間は 4 分 31 秒、試験環境 G の平均起動時間は 3 分 24 秒であった。両環境の平均起動時間の差は 1 分 7 秒である。試験環境 A と試験環境 G では、ネットワークブート用ソフトウェアのバージョンも異なるため、端末起動のタイミングも異なっている。しかしながら、それを加味しても両者は 1 分以上の差が開いており、この実験結果から、平均起

表 - 6: 端末 50 台の一斉起動に対する端末 1 台あたりの平均起動時間。

試験環境	端末台数	平均起動時間
A	50	4:31
G	50	3:24
H	50	2:50

動時間に関して、有意な差が生じている。ブートサーバについて試験環境 A のハードディスク構成の方が高性能であることを考えると、ネットワーク環境を高速化することは、端末の一斉起動に対して、大きな影響を与えようである。

### 3.4 ブートサーバの台数

最後に、ブートサーバの台数の違いによる起動時間への影響について考察する。試験環境 H は、試験環境 G のネットワーク環境と同一の構成で、さらに G で用いたブートサーバを 2 台用意して、端末 50 台を一斉起動させる。

表 6 から、試験環境 G の平均起動時間は 3 分 24 秒、試験環境 H の平均起動時間は 2 分 50 秒であった。両環境の平均起動時間の差は 34 秒である。ネットワーク環境の高速化との相乗効果もあり、端末 50 台の一斉起動に対して、非常に高速な結果を得た。この結果について、ブートサーバの台数が増加したことにより、各サーバの負荷が効果的に分散されたと言える。

### 3.5 試験環境と現行システムとの比較

試験環境は、現行の新潟大学教育用コンピュータシステムの一部を利用して構築した。端末、認証サーバ、ファイルサーバは、現行システムで実際に運用している機器を利用した。一方、ブートサーバは、サーバ機器、ソフトウェアともに本試験のために別に用意したものである。ネットワーク機器は、SW1、SW2、SW3 を本試験のために別に用意し、現行システムの配線のみを流用して、端末とブートサーバを接続した。認証サーバとファイルサーバは、実運用への影響が大きいため、現行システムの配置のまま利用し、SW1 は、認証サーバとファイルサーバへの通信を行うため、現行システムの L3 スイッチに接続した。

ブートサーバは、本試験のために別に用意したものであるが、現行システムのブートサーバの構成は、Xeon 3.2GHz × 1、メモリ 2GB、内蔵ハードディスク 80GB（15,000 回転/分、UltraSCSI320）、ネットワークブー

ト用ソフトウェアは Ardence 3.5 である。本試験に利用したブートサーバの構成と比べ、性能が低い。

現行の教育用コンピュータシステムでは、端末を設置している各実習室の L2 スイッチと情報基盤センターに設置している L3 スイッチを帯域 1Gbps の光ケーブルで接続し、各実習室の端末台数に応じて L2 スイッチをカスケード接続している。試験環境 A のネットワーク構成は、本学の実習室のネットワーク構成とほとんど同等である。この試験環境 A の試験結果では、端末 50 台の平均起動時間は 4 分 31 秒であったが、これは、ブートサーバの性能差にも関わらず、現行システムの平均起動時間とほとんど同じであった。

本学では、平成 19 年 1 月の教育用コンピュータシステム更改以後に、何度かネットワークブートシステムを補強した。そのうちのひとつとして、ブートサーバを追加し、起動時間の短縮を行っているが、その時の検証でも、起動時間の短縮には、ブートサーバの性能の向上は概して影響が少なく、むしろブートサーバ 1 台あたりに割り当てる端末数の分散による効果が高いことは確認していた。今回の起動試験でも、3.4 節で述べているように、同様の結論が導かれた。

また、導入当初はディスクキャッシュ機能をサーバ側に保存して運用していたが、導入後、パソコン側にディスクキャッシュを保存するよう変更を行った。3.2 節に示した通り、ディスクキャッシュをパソコン側、サーバ側のどちらに保存しても、起動時間には影響がないことが分かったが、起動後のソフトウェア利用時については、パソコン側にディスクキャッシュを保存した方が、端末の操作性の向上に貢献することが実際の運用で確認されている。

## 4 結論

本論文では、新潟大学の教育用コンピュータシステムの一部の環境を利用して、ネットワークブートによる端末の起動時間に影響を与える要因を実験的に評価した。端末の起動時間を短縮するため、端末に対して、大容量メモリを増設したり、ブートシステムの設計に対して、ブートサーバ 1 台あたりの端末の割り付けを変更したり等、システム導入以降、いくつかの対策を行ってきた。しかしながら、これまでの対策は(当然のことながらコスト的に)実現可能な範囲のものであって、抜本的な解決に至らなかった。

今回、帯域 10Gbps のネットワーク機器を用いて端末の起動実験を行い、限定的な実験の中で重要な知見が得られた。表 6 から、試験環境 G は、端末 50 台の一斉起動に対して、1 台あたりの平均起動時間およそ 3 分を達成している。ネットワークを 1Gbps から 10Gbps に

増強することにより、起動時間の短縮に大きく貢献すると言える。一方で、ネットワークが 1Gbps の環境では、ハードディスクのアクセス性能を増強しても、起動時間の短縮に対しては、大きな効果がないことが分かった。ネットワークを増強した上でハードディスク性能を向上させた場合には、相乗効果が期待されるが、ネットワーク帯域が 1Gbps の場合には、ネットワークの増強がまずは優先であるといえる。

広帯域のネットワークの重要性は認識されていたが、今回の実験結果からより明確にコストの比較が可能となった。ネットワークシステムを含めた、今後の教育用コンピュータシステムの設計に寄与したい。

## 謝辞

本試験の実施にあたり、試験環境の構築にご協力を賜りました東日本電信電話株式会社に感謝の意を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 藤村丞, “ネットブート型 PC による大規模情報処理教育環境の構築”, 情報教育研究集会講演論文集 (CD-ROM 版), B1-3, 京都, Dec. 2010 .
- [2] 宅間広大, 榎田秀夫, “ネットワークブートシステムにおけるディスク性能の影響とその評価”, インターネットと運用技術シンポジウム 2009 論文集, No.15, pp.47-52, Dec. 2009 .
- [3] 鈴木徹, 三村泰成, 宝賀剛, “鶴岡高専の Vista ネットブート型教育用電算システム”, 高等専門学校情報処理教育研究発表会論文集, No.28, pp.205-208, Aug. 2008 .
- [4] 佐々木芳弘, 正木忠良, 小林俊央, 鷲谷貴洋, 西田眞, 中村雅英, “シンクライアントによる教育用端末環境の構築”, 情報処理学会研究報告, Vol.2008-IOT-2, No.12, pp.61-66, July 2008 .