

仮想サーバによるネットブート型教室システムの構築と評価

Development and Evaluation of Netboot Computer Room System Based on Virtual Server Infrastructure

杉浦 徳宏 †

Tokuhiro SUGIURA †

sugiura@cc.mie-u.ac.jp

† 三重大学総合情報処理センター

† Center for Information Technologies and Networks, Mie University

概要

三重大学総合情報処理センターでは、2013年3月1日にセンター系システムの全面的更新を行った。この際、仮想基盤システムを中心として導入し、すべてのサーバをこの基盤上のゲスト OS として構築した。教室システムとしては、ネットブート型 PC と仮想デスクトップ (VDI) 型の両方を取り入れたハイブリッド構成とした。本論文では、ネットブート型クライアントシステムについて、その設計を明らかにし、実験と実運用における評価によって、有効な結果が得られたので報告する。

キーワード

仮想システム, ネットブート, 情報処理教育

1. はじめに

近年、情報系センターシステムの中核として IaaS 型の仮想基盤システムを導入し、その上に教室システムを構築する事例が増加している[1]。三重大学では、2013年3月1日にセンター系システムの更新を行ったが、同様に仮想基盤システムを中心とした構成として設計及び構築を行った。本学のシステムの特徴として、教育用システムを運営するための設備をメインとしていることがあげられる。システムは、PC 教室用クライアントとサーバ群、教育・研究用ソフトウェアの3部構成となっており、研究用の計算機資源は含んでいない。また、サーバ群は、認証サーバ、ファイルサーバ、プリントサーバと、後述のネットブート型及び VDI 型クライアントシステムを実

現するための各種サーバから構成されている。これらすべてのサーバは、仮想基盤システム上のゲスト OS として構築した。教育用システムとしては、一般の PC ハードウェアをクライアントとして利用し、ネットブートを行うネットブート型システムと、仮想マシンにシンクライアント端末から接続する仮想デスクトップと呼ばれる仕組みを用いる VDI 型クライアントシステムの両方を導入し、ハイブリッド構成とした。前者は主に講義が行われる PC 教室用であり、後者は主に図書館等での自習用である。本論文では、まず仮想基盤システム上におけるネットブート型クライアントシステム部について設計を述べ、クライアントの単独起動実験及び一斉起動実験により特質を明らかにする。また、本仮想基盤システムは、余剰リソースを VPS として利用するために全体としては十分に余裕のある設計となっているた

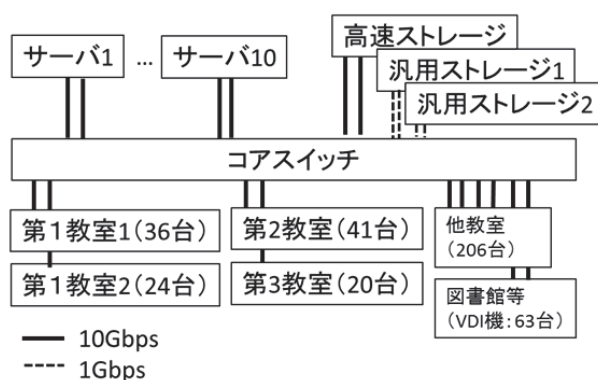


図1 仮想基盤システムと各拠点構成図

め、ネットブート型クライアントシステム部が必要とするリソース量について、実運用を通して明らかにする。尚、VDI型クライアントシステム部については、別途詳細な評価を行っているので参考にされたい[2].

2. 仮想基盤システム

図1に本更新で導入した仮想基盤システムと各拠点の全体構成図を示す。また、表1にサーバ及びストレージの諸元を示す。サーバハードウェアは、一般的なラックマウント型でローカルディスクは搭載しておらず、仮想ホスト専用仕様となっている。また、10G用NICを増設しており、コアスイッチまで twinax ケーブルで直接接続している。従って、ネットブートクライアントの一斉起動時にネットワークボトルネックとなりえる箇所は、サーバ、高速ストレージの各10Gインターフェースと、コアスイッチ～各教室スイッチ間の10G部だけである。尚、大規模教室については10Gを複数本利用する構成としている。

ストレージは3台あり、費用と容量のトレードオフにより、高速ストレージと汎用ストレージ2台で別機種とした。高速ストレージは、ゲストOS(仮想サーバ)の起動イメージ格納用として使用している。汎用ストレージは、主としてホーム及びバックアップ用である。尚、汎用ストレージ1,2は、10Gインターフェースを持たず、複数の1Gインターフェースによる負荷分散構成となっている。ストレージの接続プロトコルは、すべ

表1 仮想基盤システムハードウェア仕様

サーバ1~10	
型番	富士通 PRIMERGY RX200S7
CPU	Intel Xeon E5-2660 2.2GHz (8コア,16HT) x2
メモリ	64GB
NIC	10G x2 (twinax)
高速ストレージ	
型番	富士通 ETERNUS DX80S2
容量	600GBx18本
NIC	10G x2
汎用ストレージ1,2	
型番	富士通 ETERNUS DX60S2
容量	2TB x10本
NIC	1G x2

てiSCSIである。

仮想基盤用ソフトウェアとしては、VMware社のvSphere ESXi 5.1 Standard[3]を採用した。仮想基盤システム全体として、物理CPU数160個(論理CPU数320個)、メモリ640GBとなっている。

3. ネットブート型クライアントシステム

3.1 システム概要

ネットブート型クライアントシステムの基盤ソフトウェアとして、VHD Professional(現、OSV-VHD boot)[4]を採用した。本システムは、クライアントに一般のPCを用い、PXEブート経由でOSをネットワークブートする仕組みとなっている。サーバ群は、管理サーバ(2台)、IOサーバ(9台)、イメージ共有サーバ(1台)から構成されており、いずれも仮想基盤システム上のゲストOSとして実装されている。管理サーバは、クライアントのIOサーバへの振り分けを中心とする一括管理機能を提供する。IOサーバは、クライアントに対して仮想的にディスクを提供するサーバである。IOサーバは、クライアントの一斉起動時に負荷が著しく大きくなるため、サイジングの際の最重要ポイントとなる。イメージ共有サーバは、複数のIOサーバ間でクライアント用ディスクイメージを共有するためのファイルサーバである。このイメージ共有機能は、専用の

表2 ネットブートクライアント仕様

型番	富士通 ESPRIMO D582/F
CPU	Intel Core i3-2120 3.3GHz (2 コア, 4HT)
メモリ	4GB
NIC	1Gbps
ストレージ (SSD)	Toshiba THNSFC128GBSJ (120GB)
実験用高速 SSD	SamSung 840 Pro (512GB)
実験用 HDD	Seagate ST2000DM001 (2TB)

ソフトウェアではなく、Windows Server 標準のファイル共有機能で実現している。全てのサーバは仮想サーバとして構築しており、CPU 数は 4 個、メモリはイメージ共有サーバのみ 8GB とし、それ以外は 4GB と設定している。OS には Windows Server 2008 R2 を用いた。

ネットブートクライアントは、講義利用される第 1～5 教室と、自習用として附属図書館に設置しており、全体で 327 台である。以下の実験では、第 1～3 教室を使用している。

表 2 にネットブートクライアントの諸元を示す。ネットブート用のクライアントとしては、情報漏洩防止や故障率低減の観点から、一般にディスクレスとすることが多いが、本システムではローカルディスクをキャッシュエリアとして積極利用するため、SSD を搭載している。また、クライアント用 OS は、Windows 7 Professional 32bit である。クライアント起動用のディスクイメージは、インストールされているソフトウェアの違いにより複数の種類があるが、本論文内の実験では、実用においてもっとも一般的なディスクイメージをベースにオートログオンを有効化したものを使った。このディスクイメージには、MS Office 以外にも CAD、数学、統計ソフトウェアなど多数の大型ソフトウェアがインストールされている。ディスクイメージのサイズは、IO サーバ上での仮想的なサイズ（クライアントの C ドライブのサイズ）が 120GB であり、実使用量は 79GB であった。

3.2 キャッシュ機能

VHD Professional には、クライアント側のロー

カルディスクを利用するキャッシュ機能として、ライトキャッシュとリードキャッシュを備えている。ライトキャッシュは、仮想的にディスクを提供する IO サーバへの書き込みをローカルディスクへリダイレクトする仕組みである。リードキャッシュは、IO サーバから取得したディスクイメージをローカルディスクに書き出すことによって、次回以降の読み出しの際に再利用する仕組みである。リードキャッシュは、OS 起動時間内だけでなくシャットダウン後にも保持され、次回起動時に再利用される。これにより、IO サーバの負荷を大幅に低減させることが期待される。尚、リードキャッシュ有効時にはライトキャッシュも同時に有効となる仕様のため、リードキャッシュのみ有効とすることはできない。

次章では、起動実験及び実運用を通して、リードキャッシュの効果を中心に、本システムの有効性及び構成の妥当性を検証していく。

4. 起動実験

4.1 単独起動実験

実験 1 起動時トラフィックによるリードキャッシュの有効性評価

まず、リードキャッシュの有効性の検証を行うために、クライアント 1 台についてキャッシュ機能を変化させた場合の送信トラフィック（IO サーバ→クライアント）の毎秒変化と、IO サーバの累積送信量の毎秒変化を計測した。

結果をそれぞれ図 2(i), (ii)に示す。(a)はライトキャッシュ有効、(b)はリードキャッシュ有効後の初回起動時、(c)は同 2 回目起動時である。(a), (b)については、リードキャッシュが働かず IO サーバからすべてを送出する必要があるため、同じようなトラフィックプロファイルになる。どちらも瞬間ピークは起動後 40 秒前後の 400～450Mbps で、起動完了までの総送信量は約 900MB であった。この結果、10Gbps のネットワークでは、25 台以上による一斉起動でボトルネックが発生すると予想される。(c)については、瞬間ピークが起動後 24 秒後の約 200Mbps で、総送信量は 83MB であった。リードキャッシュが機能しない場合に比べて総送信量は 1/10 以下に抑えられて

おり、極めて有効にリードキャッシュが働いていることがわかる。

次に、図 2 (ii)の累積送信量の推移より、リードキャッシュが有効な状況 (c) においても、起動後 30 秒まではキャッシュは利用されておらず、その後、キャッシュが有効に機能し、送信量が小さく抑えられていることがわかる。

クライアントから IO サーバへの書込量は、ライトキャッシュ無効時に約 300MB、ライトキャッシュ有効時には、0.1MB 以下であった。ライトキャッシュが有効の場合、IO サーバへの書き込み量は極めて小さくなる。

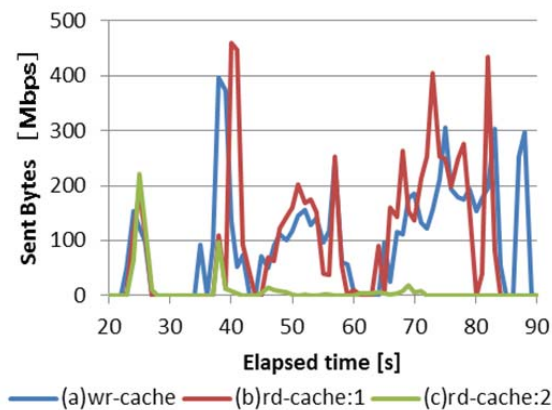
実験 2 イメージ共有サーバの転送量

前述のとおり、複数台ある IO サーバに対し、イメージ共有サーバは 1 台としており、集中的なアクセスを受ける可能性がある。また、このイメージ共有機能は専用のソフトウェアを用いて実現されているわけではなく、OS のファイル共有機能を使っている (UNC パスでのイメージファイル名指定)。このため、イメージ共有サーバの転送量について明らかにしておく必要がある。そこで実験 1 の(a), (b), (c)を実施する際に、イメージ共有サーバから IO サーバへの転送量も同時に計測した。尚、この実験は、(a), (b), (c)の順に連続して行った。

結果を表 3 に示す。実験 1 より(a), (b)とも IO サーバはクライアントに対して約 900MB の送信を行っていた。したがって、(a)では、イメージ共有サーバから IO サーバへの転送量と IO サーバからクライアントへの転送量は、ほぼ同量である。(b)ではイメージ共有サーバから IO サーバへの転送量は 10.8MB まで激減している。これは、実験 1 (a)の際に IO サーバの OS によるディスクキャッシュが機能し、イメージ共有サーバからの読み出しが激減した結果と考えられる。

実験 3 起動時間によるリードキャッシュ有効性評価

次に、キャッシュ条件とローカルディスクの性能によって起動時間がどう変化するか実験を行い明らかにする。ローカルディスクとしては、本導入で採用した SSD 以外に、HDD とより高速な SSD を用いた場合の比較も行う。本実験では、起動時間について以下のとおり計測点を 8 点設け、



(i) 実験 1 : 送信トラフィック

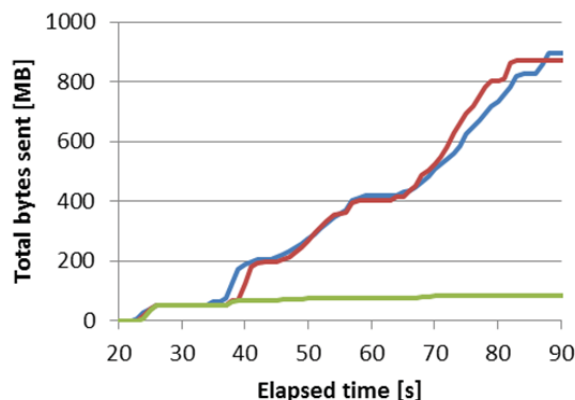


図 2 (ii) 実験 1 : 累積送信量

表 3 実験 2 : イメージ共有サーバの総転送量

	(a)	(b)	(c)
イメージ共有サーバ→IO サーバ	940MB	10.8MB	4.0MB

経過時間を記録した。

1. DHCP 開始
2. 「Windows を開始しています」と表示
3. 青い背景で「お待ちください」と表示
4. 「ようこそ」と表示 (オートログオン直後)
5. ログオンスクリプト実行開始
6. デスクトップ表示完了
7. 利用者による GUI 操作が十分に可能になる (マウスポインタが矢印の単独表示のみになる)
8. CPU がアイドル状態になる

計測点に「ログオン画面表示」がないが、オートログオン設定しているためである。尚、計測点 4 の直前がログオン画面表示に該当する。計測点 7

は、ログオン直後の負荷が高い状態が落ち着き、ユーザがマウス操作を行った場合でも素早く反応できるような状態で、利用者にとって実際に利用可能と感じられる時点である。計測点 8 は、ログオン後の各種処理が終了し、十分に CPU 負荷が下がった状態である。計測点 7 と 8 は、できる限り実利用に近いデータを採取するため設けた計測点であるが、どちらも本実験用に開発したプログラムをログオンスクリプトとして実行し計測した。

図 3 に実験結果を示す。図 3(i), (ii) がそれぞれローカルディスクに SSD, HDD を採用した場合の結果である。グラフの横軸の意味は以下の通りある。

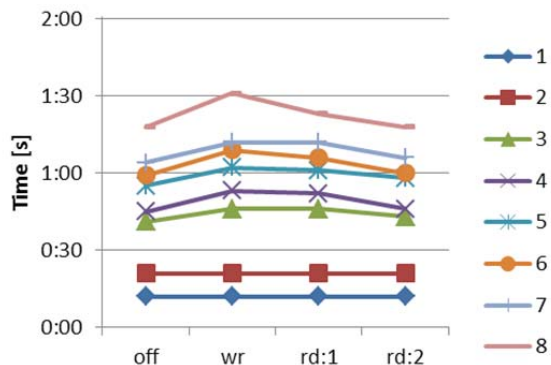
- off : キャッシュ無効
- wr : ライトキャッシュ有効
- rd:1 : リードキャッシュ有効後初回起動時
- rd:2 : 同, 二回目起動時

どちらの場合も、キャッシュ無効時が最も高速に起動している点が興味深い。一般に、ライトキャッシュを有効にした場合、サーバへの書き込みが減少することにより、起動が高速化されることが期待されるが、そうはなっていない。しかし、本実験は単独起動のため、複数台一斉起動では状況が異なると推測される。

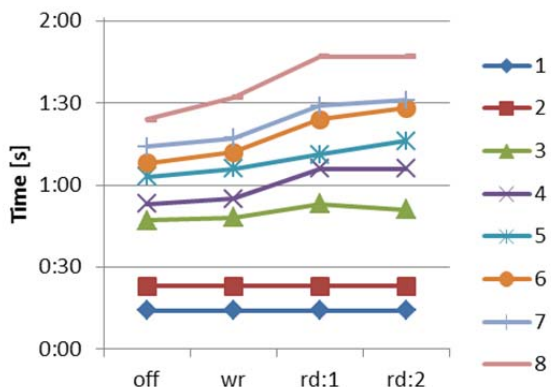
リードキャッシュの効果について、SSD の場合、初回起動時には起動が遅くなっているものの、2 回目にはキャッシュ無効時と同等の起動時間となっている。HDD の場合は、初回起動時と 2 回目起動時で大きな差がなく、キャッシュ無効時と比べて約 20 秒遅いまま律速している。

図 3(iii) に、各種ローカルディスクにおけるリードキャッシュ有効後 2 回目起動時の計測結果をまとめた。高速 SSD は、予備実験としてベンチマークテストを行っているが標準 SSD に比べ各種の計測項目で 2~4 倍以上の高速であった。しかし、起動時間については、全体的に高速 SSD の方が早くなっているものの、ディスク単体の性能差ほどの差は生じていない。また、高速 SSD の場合のみ、キャッシュ無効時よりも起動が高速化されていた。

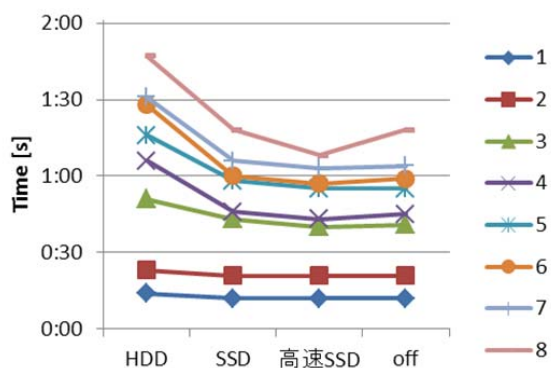
本実験より、リードキャッシュは、IO サーバのトラフィックを低下させる上では大きな効果があるが、起動時間については、SSD クラスの十



(i) 標準 SSD の場合



(ii) HDD の場合



(iii) ローカルディスクの種類別比較

図 3 起動時間

分に高速なローカルディスクを採用しない場合、むしろ遅くなることがわかった。結論として、IO サーバの負荷を抑えつつ、高速起動を維持するためにはクライアントへの SSD の採用が望ましいといえる。また、高速な SSD には一定の効果があるものの大きな違いはないため、コストパフォーマンスの観点から採用の検討を行うべきであるといえる。

4.2 一斉起動実験

ネットブート型クライアントシステムにおいて、IO サーバのサイジングの際、最も重要となるのが1サーバあたりのクライアント台数である。本学の場合、実運用状態では9台のIOサーバと1台のイメージ共有サーバを、それぞれ重複がないよう10台の物理ホストに分散配置している。この状態では、IOサーバ1台あたり約36台の割り当てとなり、十分に余裕があると予想される。本実験では負荷試験として、実運用状態とは異なる次の条件で一斉起動実験を行い、検証を行う。

実験1：IOサーバ1台で、クライアント60台の一斉起動

実験2：IOサーバ1台で、クライアント120台の一斉起動

実験3：IOサーバ7台による分散設定で、クライアント120台の一斉起動

※各クライアントのIOサーバへの分散は管理サーバにより自動的に行われる。

クライアントは、実運用状態と同じくローカルディスクとしてSSDを搭載し、リードキャッシュ有効とした。一斉起動実験は、最もサーバ負荷が高くなるリードキャッシュ有効後の初回起動時と、2回目起動時について行い、クライアントの起動時間、IOサーバのCPU負荷とトラフィックを計測する。一斉起動方法は、Wake On Lanによる遠隔操作であるが、実運用状態に近づけるため完全一斉同時ではなく、0.1秒ずつ遅延させて行う。また、60台一斉起動時は第1教室を、120台一斉起動時は第1～3教室を使っている。各教室のネットワーク構成は図1を参考にされたい。

実験結果：起動時間

実験1～3について、起動時間のうち計測点5、7、8の平均値を図4に示す。また比較のため、単独起動時の結果もあわせて表示している。図4の左側のグループが初回起動時、右側のグループが2回目起動時である。初回起動時の結果より、一斉起動台数が増加するにつれて起動時間が全体的に遅くなっていることがわかる。実験3については、IOサーバ1台あたりのクライアント台数は17台となるため、実験1に比べてIOサーバ

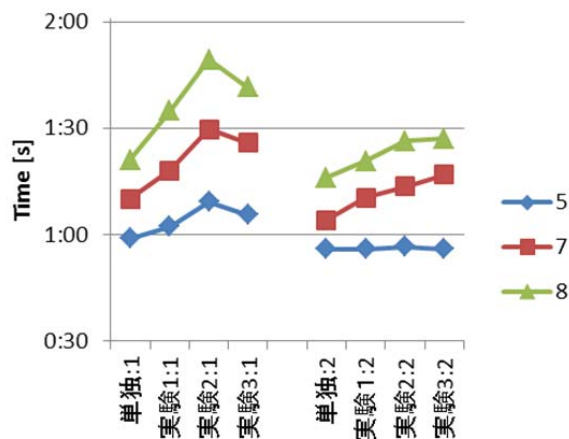


図4 一斉起動実験：起動時間

の負荷は小さく、したがって起動が高速になると期待されるが、実験1よりも全体的に遅くなる結果となっていた。

2回目起動時の結果について、すべての場合で計測点5までは、ほぼ同じ時間となっているが、以後台数が増加するにつれて遅くなっている。特に、実験3についてはIOサーバ1台あたりの負荷が最も小さいにも関わらず、実験1よりも遅く、実験2とほぼ同様の結果となっている。これは、計測点5以降はログオン処理となっており、ホーム用ファイルサーバやウイルス対策ソフト用サーバへのアクセスなど、IOサーバ以外へのアクセスも一斉に発生するため、同時起動台数が多い場合、この影響を大きく受けているものと推測される。

図5に実験1の初回起動時(a)と2回目起動時(b)における全クライアントの起動時間を示す。尚、起動順による起動遅延時間は補正済みである。どちらの場合も、計測点5では、ばらつきは小さい。初回起動時では計測点7、8では大きくばらつきは、2回目起動時にはそれほど大きなばらつきはないことがわかる。尚、計測点5で発生しているばらつきは、初回DHCP失敗によるリトライ待ちによって発生していることが原因として判明している。

実験結果：IOサーバのCPU使用率とトラフィック

図6、7にそれぞれ実験1,2におけるIOサーバのCPU使用率とトラフィック（IOサーバ→クライアント）を計測した結果を示す。まず、CPU

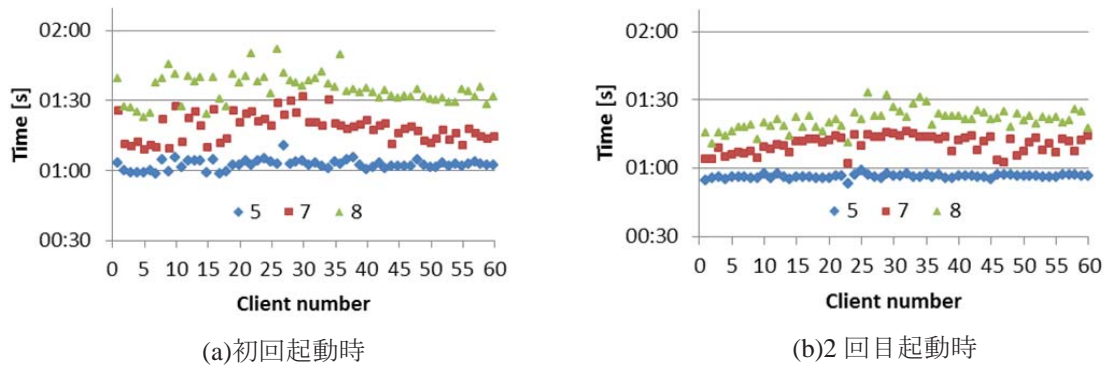


図5 実験1：全クライアントの起動時間

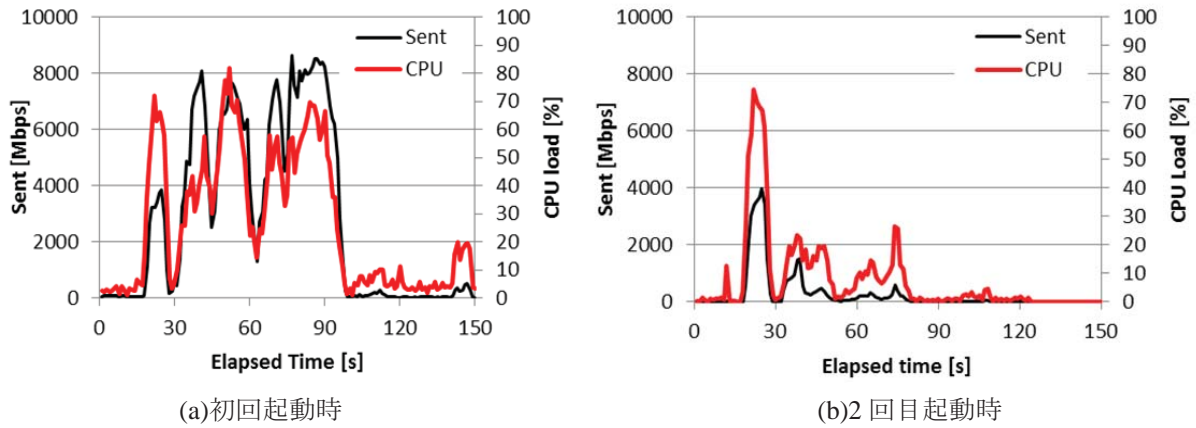


図6 実験1：IOサーバのCPU使用率とトラフィック

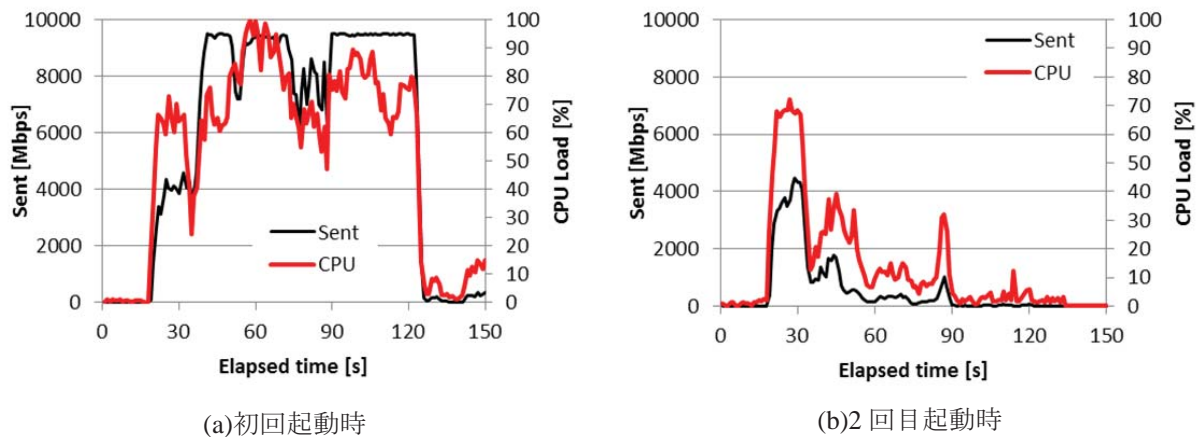


図7 実験2：IOサーバのCPU使用率とトラフィック

使用率はトラフィックに比例して大きくなっていることがわかる。実験1の初回起動時には、トラフィックのピークが約8Gbps、CPU使用率のピークが80%であり、少し余裕があることがわかる。実験2では、クライアント数が倍増しているが、

まずトラフィックについては、かなりの時間におたって10Gbpsに到達しており、IOサーバのネットワークインターフェースによるボトルネックが発生していることがわかる。CPU使用率についても上限である100%に到達している部分があ

るが長時間ではなく、ちょうど限界点にあると推測される。2 回目起動時については、実験 1, 2 ともほぼ同じようなグラフとなっている。まず、初回起動時に比べてトラフィックが小さく抑えられており、リードキャッシュが有効に働いたことが確認できる。また、瞬間ピークが比較的小さく抑えられていることもわかる。これは、クライアントを遅延起動させているため、それぞれのピークがずれたことによって、全体のピークが丸められたと考えられる。

前述のとおり、本学の運用状態の構成は IO サーバ 1 台あたり、クライアント 36 台である。この構成では、実験 1 よりも少ない割り当てとなっているため、最も負荷の高い初回起動時であっても、CPU 使用率及びネットワーク部分にボトルネックはないということが確認できる。

次に、サーバのサイジングにおいては、メモリ容量についても検討すべきである。しかし、全実験を通じて、初期設定していた 4 GB のメモリを使い切ることはなかった(実験 2 の初回起動時の場合で 3 GB 程度)。Windows Server 2008 R2 が OS として快適に動作するために 4 GB 程度のメモリは最低限必要であるため、これ以上メモリを減らして実験することは意味がないと判断し、追加の実験は行わなかった。

5. 実運用での評価

本システムは、2013 年 3 月から試行運用を開始し、4 月から正式運用へと移行した。正式運用においては、IO サーバは 9 台、イメージ共有サーバは 1 台とし、それぞれ物理的に異なるホストに割り当てている。これは、ホストの 10G インターフェースによるネットワークボトルネックを避け、また、ホスト 1 台あたりの負荷低減及び均等化のためである。

通常授業期にある 2013 年 6 月のある一週間において、各仮想サーバのホスト CPU 使用率 (1 台の物理ホスト全体で 100% とする) を計測した。IO サーバ 1 台あたりのホスト CPU 使用率は、平日昼間 (8~21 時) における平均値で 1.3% であった。尚、夜間のサービス外時間帯においては 0.5% である。また、5 分区間平均による最大値は、4.5% であった。本システムの構成要素となっているすべての仮想サーバが消費するホスト CPU 使用率の合計は 14.3% (平日昼間) であった。IO サー

バは、クライアントの起動時にのみ一時的に負荷が大きくなるためスパイク状の CPU 負荷を示すが、リードキャッシュと組み合わせた場合、一斉起動時であっても IO サーバの実動作時間は短く、平均値としてのホスト CPU 使用率は極めて小さくなる。IO サーバの仮想サーバとしての設定は、CPU 4 個、メモリ 4GB であるため、一斉起動時も含めてこれらを必須リソースとして確保すれば十分であり、残りのリソースは余剰分として別途利用が可能となる。ネットブート型クライアントシステムは、仮想基盤システムと非常に相性がよいといえる。

6. まとめ

本論文では、三重大学総合情報処理センターのセンター系システム更新において、仮想基盤システム上にネットブート型クライアントシステムを構築し、実験と実運用による評価を行った。具体的には、クライアント単独での起動実験により、ネットブート時のリードキャッシュの有効性とローカルディスクとしての SSD の有効性を検証した。次に、一斉起動実験を通じて IO サーバ及びイメージ共有サーバの CPU 使用率とネットワーク使用率を明らかにした。また、2013 年 4 月~6 月の実運用を通じて、仮想サーバの平均的負荷は極めて小さいことを確認した。

今後、通常利用期において各クライアントの起動時間等の統計を取り、実運用において起動時間がどのように変化しているのか調査を行う予定である。

参考文献

- [1]上田浩 他, “ネットブートとデスクトップ仮想化を採用した京都大学の教育用端末系の構築: TCO 削減を目指して”, 情報処理学会 インターネットと運用技術シンポジウム 2012 論文集
- [2]杉浦徳宏, “VDI 型クライアントシステムの構築構築と評価”, 学術情報処理研究, No.17, 2013 (投稿中)
- [3]VMware vSphere 5 Standard, <http://www.vmware.com/jp/products/datacenter-virtualization/vsphere/overview.html> (accessed 2013.5)
- [4]VHD Professional, <http://is-c.panasonic.co.jp/nextructure/thinclient/service/networkboot/vhd/> (accessed 2013.5)