

大学におけるクラウド前提の学術情報基盤への移行と分析

前田 香織^{1,a)} 末松 伸朗¹ 北村 俊明¹

受付日 2015年6月22日, 採録日 2015年12月7日

概要: クラウドを前提とするシステムは省エネや省スペースに加え, 柔軟なスケーラビリティの提供や場所を選ばず同じ利用環境を提供できるため, すでに教育研究基盤の構築方式としても用いられている. しかし, クラウドベースの仮想基盤の運用実態を定量的に示す例はほとんどない. そこで, 本論文は広島市立大学の情報基盤のクラウド移行の事例によって, クラウドベースの情報基盤におけるクラウドのリソースやネットワークの利用状況を定量的に示す. この情報基盤では L3 以上のネットワーク機能と全サーバ機能をデータセンタに移行し, プライベートクラウドとパブリッククラウドのハイブリッドで情報基盤を構築している. これにより, 利用者は CG 処理をする芸術系科目の端末 50 台を含む約 600 台のデスクトップ操作をすべてネットワーク越しにすることとなった. このようなクラウド環境で構築した教育用システムの利用状況と VDI のリソース使用率の関係を調査し, クラウド移行後の電力使用量や運用保守コストなどの見積りをした. それに基づき, 大学におけるクラウド前提の情報基盤のリソース管理やネットワーク管理について明らかにする.

キーワード: 仮想基盤, クラウド, 仮想デスクトップ端末 (VDI)

A Migration to a Cloud-based Information Infrastructure to Support University Education and It's Analysis

KAORI MAEDA^{1,a)} NOBUO SUEMATSU¹ TOSHIAKI KITAMURA¹

Received: June 22, 2015, Accepted: December 7, 2015

Abstract: The cloud-based system is used as a research and education information infrastructure, because it can achieve not only small footprint and low power consumption but also scalability and ubiquitously availability. However, there are only few reports that show detail usage or consumed resources of the educational virtual desktop environments using cloud systems. Especially, there is no information at the case of practice classes using computer graphics software for the Design and Applied Arts, nor classes using Linux programming environment for the Information Engineering. In this paper, we show the actual measurements of the cloud system for education by design and operation of the Hiroshima City University education computer system. This system has a unique characteristic such as; the networking system of layer 3 and above, and all server functions are migrated to the remote data center, and, hybrid cloud consists both public cloud and private cloud. In this environment, users use about 600 virtual desktops, including 50 virtual desktops for the Design and Applied Art, through the network. We discuss detail requirements to resource and network management facilities for education support system in a university, based on our measurements on the VDI resource usage of our cloud system.

Keywords: virtual infrastructure, cloud, virtual desktop terminal (VDI)

1. はじめに

クラウドで提供されるサービスは省エネや省スペースだけでなく, 柔軟なスケーラビリティを持ち, 場所を選ばず同じ環境を提供できることもメリットである. どの大学に

¹ 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University, Hiroshima 731-3194, Japan
^{a)} kaori@hiroshima-cu.ac.jp

においても情報ネットワークシステムは教育、研究だけでなく、学生の大学生活支援、教職員の事務処理などあらゆる場面で必要となっている。大学の情報ネットワークシステムは規模、キャンパスの分散、構成部局の特性などによって設計方針が異なるが、技術的にも安定しつつあることから、サーバなど物理機器の自前での運用から、クラウド環境移行やサービスのアウトソースなどに切り替える傾向にある。

学生の端末利用は特定の実習教室で利用されるだけでなく、一般教室や自宅、モバイル端末から利用できる仮想デスクトップ環境を通じて行われることが増えている。管理者も仮想デスクトップ環境（VDI）により PC 個々の管理から開放され、遠隔地から一括管理ができる。仮想サーバとの組合せによって、用途に応じてサーバの仮想デスクトップ端末（VDT）に柔軟にリソース配分ができるなどのメリットがある。これらのメリットにより、教育や研究の情報基盤の構築においても、ハードウェアリソースをデータセンタに移したり、ネットワークサービスなどの機能をクラウドで実現したりすることで、可用性の向上、管理コストの低減、省エネを目指し、BCP（Business Continuity Plan）にも対応しようとしている。

広島市立大学（以降、本学）でも 1994 年の開学以来、5 年ごとに機種更新があり、大学の情報ネットワークシステムの機器は大学内に設置し、サービスを提供してきたが、5 回目となる 2014 年 10 月に刷新したシステムでは L3 以上のネットワーク機能と全サーバ機能をデータセンタに移行し、一部サービスはパブリッククラウドの利用を開始した [1]。これにより、実習室や貸出し端末など大学での端末利用はネットワーク越しの VDI を使用している。

クラウド移行において、端末を用いた実習室を含む学生の端末利用環境の構築ではどの程度のリソースを用意すればよいのか、実習に支障はないのかなどを予測しなければならないが、クラウド移行に関する既存発表ではこれらの定量的な数字を示すものがない。コンピュータグラフィックス（CG）など芸術系の科目の実習や Linux の実習の実施の場合は特に事例が少ない。そこで本論文では広島市立大学の情報基盤のクラウド移行設計や運用を通して、クラウドによる VDT で実施する講義時の利用リソースを定量的に示し、講義に支障がないリソース配分の目安を示す。また、クラウド移行による電力量の変化や教育環境の管理負荷の変化を示すことにより、クラウド前提の教育支援システムに求められるリソース管理やネットワーク管理について明らかにすることを目的とする。

以下、本論文では、2 章ですでにあるクラウド利用の事例や関連研究について述べる。3 章で今回のクラウド移行の方針について述べ、4 章で新システムの概要と特徴的なクラウド利用について述べる。5 章でクラウド移行後の運用状況に関する調査とその分析について示す。最後に 6 章

でまとめと今後の課題について述べる。

2. クラウド移行事例と関連研究

クラウドの移行事例として、山梨大学では 2002 年にディスクレスの Windows サーバ群を遠隔の操作センタに移行した [2]。この移行では操作センタの場所や設備の安全性、安定性だけでなく、システムの管理者が学内にいない組織において遠隔地からの保守作業によって可用性向上を目指すものである。一方で遠隔保守特有の課題やその解決法についても言及している。以降、2012 年度にはサーバ群をデータセンタ（以降、DC）で仮想化し、プライベートクラウド環境としている [3]。

これ以外にも 2012 年には電気通信大学でのプライベートクラウドへの移行事例があり [4]、この事例ではこのクラウド環境を大学間で共同利用する提案もされている。また、それ以降もクラウド化が進み、2013 年以降にキャンパス情報ネットワークのクラウド環境利用には武蔵大学、大阪大学、広島大学の事例もある [5], [6], [7]。九州大学では 2013 年に情報教育システムの IaaS（Infrastructure as a Service）の実現について調査を行っている [8]。このようにプライベートやパブリッククラウドを用いた教育システムなど大学の情報基盤の例は多々あるが、利用実態と仮想環境のリソース配分状況などは明示されていない。

文献 [9] では St. Xavier's College における仮想デスクトップ環境の構築について述べており、それにより電力使用の削減量がどのくらいかを定量的に示している。また、文献 [10] では Kaunas University of Technology における VDI の構築について述べている。この研究では実習授業や自宅での自習などの遠隔地から VDT を利用する場合に構築した VDI のリソース配分に問題がないかについて、通信トラフィックをモニタリングすることで評価している。これらの研究では定量的なデータを示しており、特に文献 [10] では講義中のデータを測定することで講義の実態と通信容量の関係を明らかにしている。しかし、VDI のリソースの利用状況を示すものではない。

3. クラウドベースの情報基盤への移行

クラウド移行においては、以下のような基本方針のもと基盤の設計を行った。

3.1 ICT を用いた教育環境の統一性と柔軟性の強化

教育支援システムは全学部や施設に分散する情報処理機器を用いた教育施設を将来的に統一的な維持管理ができるように構築する。また、施設を相互に利用することで、学生の学習環境の全学にわたる統一性を向上させるとともに、サーバ機能の仮想化によりシステム構成の柔軟性を強化する。また、集中的な保守管理により安全で安定なシステム稼働を目指す。

これらの具体的な対応として以下の2つを行った。

- ① いくつかの実習室の端末，貸出し端末，持ち込み端末，自宅での利用で異なっていた端末の利用環境を同じにするために，仮想デスクトップ環境（VDI）を導入する．これにより情報処理教育や学部専門教育の講義を施設によらず実施ができる環境を構築する．また，複数の施設は相互に自習スペースとして使えるようになる．さらに，自宅からの自習も同じ環境ででき，また，従来はできなかった情報科学部を対象とする Linux 環境も自習環境として提供できるようになった．
- ② 従来の構成では機器更新までのリース期間中にハードウェアやソフトウェアの変更が難しく，状況に応じた構成変更が難しかった．そのため，今回は DNS，Web サービスなどネットワークサービスを提供するサーバ，教務や図書サービスなどの教育支援サーバ，VDI の管理用サーバなど各種サービス用サーバを仮想サーバで構築し，一部機能はパブリッククラウドを用いる．具体的にはメールセキュリティと学生のメール環境はパブリッククラウドを用いる．

3.2 情報基盤の安定稼働

24時間365日の稼働が要望されるものや，一時的あるいは将来的なサーバ類の拡張が考えられるシステムは，ネットワークサービスはプライベートのクラウドで提供し，学内のサーバ群の保守管理をスリム化する．同様に各種データのバックアップを統一的行って BCP を意識したシステム構築を行う．

具体的には安定稼働やネットワークサービスの集中管理のため，ルーティングなど L3 以上を提供するネットワーク

機器や各種ネットワークサービス提供用のサーバを DC に設置する．そのため，DC と大学間のネットワークの高速化を図る．また，バックアップは DC 内のローカルなバックアップ以外に別の場所にも確保する．

4. クラウド移行後の情報基盤の概要

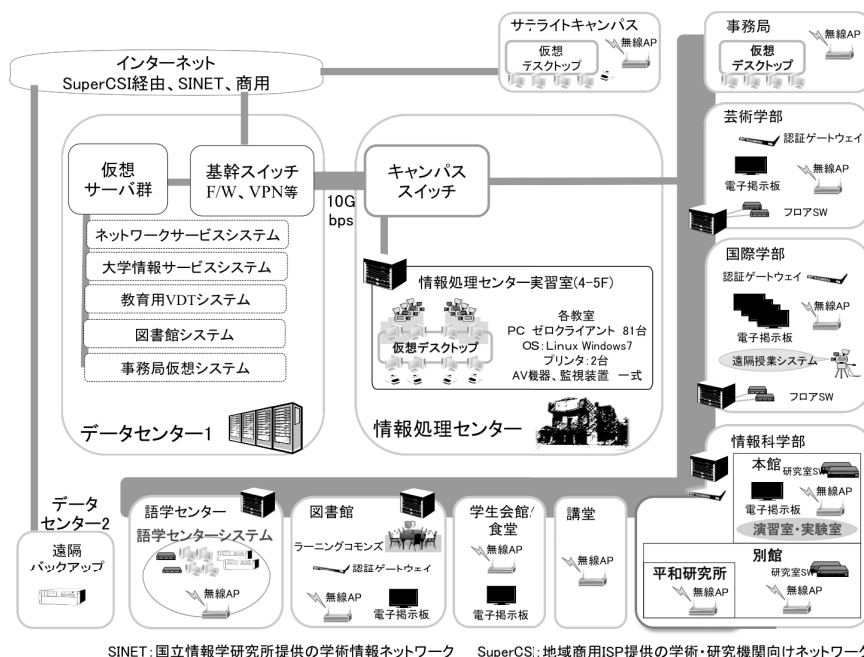
4.1 構成

新システムの構成は図 1 のとおりである．基盤ネットワークの構築，教育端末室の整備，教務系システム，図書システム，デジタルサイネージ，遠隔教室整備などを対象とする広範囲なものである．無線 LAN システムの更新も同時に行った．

図 1 の事務局仮想システムは事務局業務用の VDI で，今回更新に先立って本学内に構築されていたものが，今回のデータセンタ移行にともない，システム一式が移設されたものである．

4.2 L3 機能の移行

今回のシステムの特徴の1つは L3 以上のネットワーク機能も DC に集約した点である．学内には L2 のスイッチや無線 LAN のアクセスポイントしかない．ルーティング，ファイアウォール，ロードバランサも DC に設置されているので，DC と大学との専用回線は 10 Gbps に増強している．帯域を下げて 2 つの回線で接続することも計画したが，本学の立地を考えると光回線は他の通信事業者も現行契約している事業者からの借り上げとなり，災害などの影響は同様に受けることとそれぞれの接続の費用の制約から単一 10 Gbps 回線とした．



SINET: 国立情報学研究所提供の学術情報ネットワーク SuperCSI: 地域商用ISP提供の学術・研究機関向けネットワーク

図 1 全体システム構成図

Fig. 1 Total system configuration.

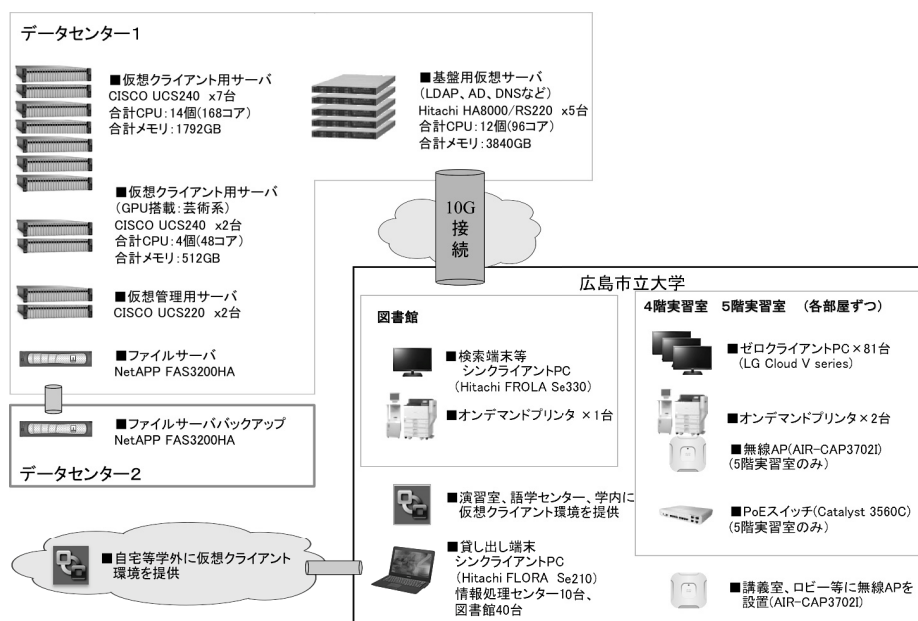


図 2 VDI を用いた教育システム構成図

Fig. 2 Education system configuration using VDI.

4.3 サーバの仮想化

VDI や各種サービスを提供するサーバも DC に設置し、各種サービス用のシステムは仮想化サーバ上に構築している。具体的なサービスとして、DNS や Web サーバ、メール配送などのネットワークサービス、教務や学生ポータルなどの大学情報サービス、図書検索などのサービスなどがある。また、VDI 管理の機能も仮想サーバで処理されている。サーバごとのリソースの割当てが柔軟になるので、入試の合格発表時に Web サーバの同時集中アクセスに対応する一時的なリソース増強や、講義期間中とそれ以外で教育用の仮想デスクトップのリソース割当てが変更などが可能になった。ファイルサーバは DC 内のストレージにおき、後述の一部の仮想デスクトップでは NFS で用いる。

4.4 仮想デスクトップ環境

教育用システムは図 2 のような構成である。図 2 の端末数は実際に操作するシンクライアント数である。情報処理センターの実習室や貸出端末のほか、情報科学部演習室や語学センターの端末、自宅など学外からの利用端末など実際に同時に動作する可能性のある端末数を見積もっておかなければならず、それに対応する VDT 数が必要となる。結果、用途別に 6 つのプールに分けて必要な教育用 VDT 数などを表 1 のように割り当て、運用している。情報処理教育、プログラミング、文書編集などの科目用（以降、一般系）の 590 台と、画像編集や 3D CG 処理用の科目（以降、芸術系）の 50 台の VDT 用にそれぞれ 7 台と 2 台の実行用サーバ（Cisco UCS C240：CPU は 12 コア × 2 基/1 台）を用いている。各プールで使用できるコア数は、サーバ 1 台の備える 24 コアから VM カーネル用の 1 コアを除

表 1 仮想デスクトップの用途内訳

Table 1 The detail of the purposes of VDT.

VDT プール		VDT 数	確保物理コア数・VDT 数 / コア	メモリ	OS
一般系	実習室用（情報科学部演習室含む）・貸出端末用	412	161・4	3	Windows +Linux
	自習用語学センター用	15		3	
	サテライトキャンパス用	25		2	Windows
	語学センター用	130		2	
	図書館情報検索用	8		2	
芸術系		50	46・2	3	

いた 23 コアなので、一般系は 161（＝23 × 7 台）、芸術系は 46（＝23 × 2 台）となる（図 2 の仮想クライアントのコア数はカーネル用コア数が含まれる）。また、それぞれにハイパバイザ（VMware 社の ESXi）がある。芸術系は画像編集（Adobe の Photoshop、Illustrator など）や 3D の CG 処理（Shade3D）をするので、実行サーバには 1 台につき 4GPU（NVIDIA GRID K1）を 2 基搭載している。

一般系と芸術系で 1 コアあたりそれぞれ 4 台の VDT と 2 台の VDT を稼働するようにサイジングしている。講義期間中は休憩時間の講義入れ替えに支障がないよう、VDT の起動時間を短縮するために一般系プールは 200 台の、芸術系は最大数の 50 台の VDT が常時起動されている。一般系プールでは 1 人ユーザがログインすると追加で VDT が 1 台追加起動され、最大 412 まで起動される。

利用者は使用する端末の種類によって表 1 のどの用途のプールを使うかが決まる。どのプールの VDT でも Windows7 が動作するが、一般系のうち実習室用、貸出端末用、

自習用の VDT では Linux 用に Ubuntu を使用できるようにしている。Ubuntu は Windows 上のエミュレートソフト (VMWare Player) を用いて動作する。

4.5 パブリッククラウド利用

ネットワークサービスや教育・研究支援のシステムのサーバは DC に設置され、プライベートクラウドで運用されているが、メールセキュリティと学生のメールシステムはパブリッククラウドを用いた。

(1) メールセキュリティ

従来、メールのウイルス対策やスパムメール検知は学内にメールセキュリティ用のサーバを設置して対応してきたが、ウイルス検知数は激減し、スパムメールが増加、またこれらの検知システムを通過する標的型メールの数が増加している。しかし、リース契約で導入したシステムではこのような動向の変化に対応できないため、メールセキュリティはパブリッククラウドサービス (Symantec 社 Symantec.cloud) を使用することとした。

本学宛のメールはこのサービスの SMTP サーバで受信し、そこから教職員宛は本学のメールルータに、学生宛は後述のパブリッククラウドサービスのメールサーバに配送される。大学からの送信メールもいったんこのクラウドを経由して送信される。

(2) 学生メールシステム

メールサービスはすでにパブリッククラウドで運用する大学が多々あり、本学も今回の更新にあわせて、学生のメールシステムとして Microsoft 社の Office 365 を使うこととした。また、同サービスで提供されているストレージサービスも利用する。

5. クラウド移行後の運用分析

情報基盤をクラウドベースで構築したことによる影響について述べる。そのために、VDI におけるリソース使用率やバックアップ時のトラフィックなどを測定した。また、電力使用量やシステム保守コストの見積りを行った。これらにより、クラウド移行前後で変化を分析する。

5.1 VDI の端末操作性

教育用、事務業務用ともに VDI で、しかも遠隔地の DC で構築したので、利用者の操作性に対する影響を調べた。

(1) 端末の基本動作所要時間

更新前はすべてのサーバが情報処理センタ内にあり、利用者は実習や自習に使う端末を 1 Gbps の学内 LAN で接続された同じ建物内、または、隣接建物の教室から操作していた。更新前の端末は Windows のみ、または Windows と Linux のデュアルブートで起動されるファット端末だったので、端末の操作性に大きく影響するものは端末とファイルサーバなどサーバとの遅延やサーバの負荷であった。

一方、更新後は VDI となったので、VDT とサーバ類間の関係は後述の情報科学部演習室の VDT 以外は更新以前とほぼ同等である。しかし、本学から離れた DC にある VDI を、学内のシンクライアントから利用するようになり、更新前のシステムから大きく構成が変化した。そこで、端末の基本動作に要する時間に影響がないかを調べた。表 2 は端末の起動などにかかる時間の更新前後の比較である。

Windows が利用できるまでの時間は更新前に比べて早くなっているものの、Linux は Windows 上のエミュレーションソフトで動作しているため、Windows の起動完了後に Linux の使用までの時間が追加が必要となるが、Windows の起動が早くなっているため、利用開始までの待ち時間に大きな差は出ていない。本学では、大学のネットワークと DC までの RTT は約 2 ms、Windows では移動プロファイルは用いない、VDT は事前に起動しているという条件で運用しているが、これらも端末利用までの所要時間に影響及ぼす。

ファイルサーバの端末からの利用は、移行前は両者がサーバ室内にあった。移行後も両者とも DC に移っただけであり、更新前後でほとんど変化はない。ただし、Linux からの利用は遅くなっている。一方、情報科学部演習室の 160 台余は今回の更新対象でなく、VDI でないので、ファイルサーバをネットワーク越しに NFS で使用している。そのため転送遅延の影響を受けるが、現在のところ支障は起きていない。

(2) リソース配分

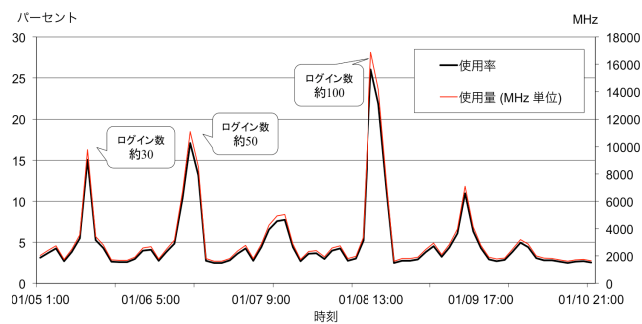
更新システムの検討時に VDT のプールごとに検討してサイジングをしたが、実際に講義で支障は起きていないかを確認した。図 3 は教育用の VDT の実行サーバの CPU 使用率と使用量を 5 分ごとにプロットしたグラフである。黒線が使用率 (%) を赤線が使用量 (MHz) を示す。この 2 つの傾向は縦軸のスケールが異なるだけであり、以降は使用率についてのみ考察するが、使用量は絶対値として参考になるので、グラフに記載しておく。図 3 中の吹き出しは VDT にログインしている数である。

表 2 起動、ログオン、シャットダウンなどにかかる時間

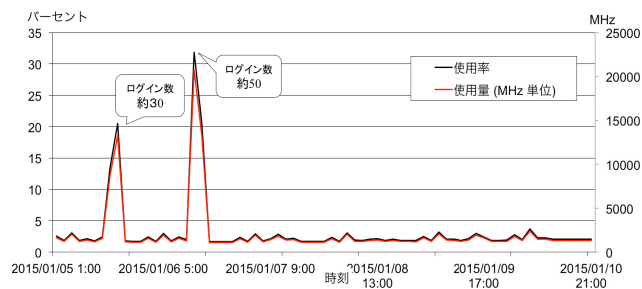
Table 2 Time of boot, login and shutdown.

		更新前	更新後
		67~87s	25~30s ^{※1} +プール選択 2~4s
起動	Windows	67~87s	
	Linux	55~59s	
ログオン	Windows	38~45s	20~25s
	Linux	11~14s	(a)に加え Linux 起動: 30~50s Linux ログオン: 20~25s
シャット ダウン	Windows	16~25s	7~10s
	Linux	7~8s	10~15s
端末⇄ ファイル サーバ	Windows	1 ms 未満	1 ms 未満
	Linux	0.25ms	0.79ms

※1 シンクライアント端末起動~VDI コネクションサーバとの接続確立までの時間 (VDT は起動済み)



(a) 一般系プール実行サーバ



(b) 芸術系プール用実行サーバ

図 3 VDT の実行サーバ 1 台分の CPU 消費量
Fig. 3 CPU consumption of each execution server.

表 3 最大ログイン数

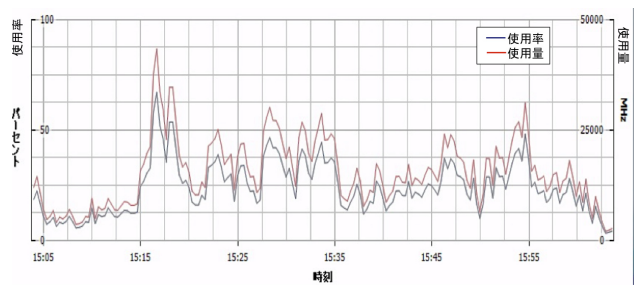
Table 3 Maximum login number.

日	4/14	5/12	6/9	7/14
ログイン数	295	278	268	285

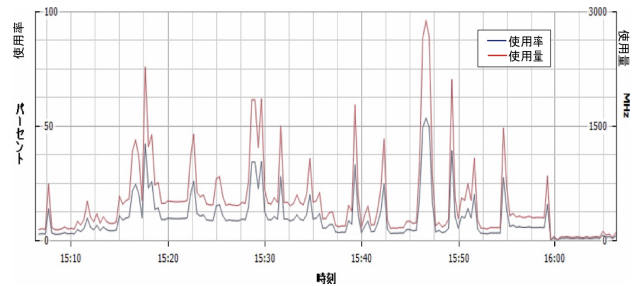
実行サーバは一般系（情報処理科目，プログラミングなどの講義実施）用に 7 台，芸術系（グラフィックス処理など）用に実行用サーバは 2 台あるが，いずれも同様の CPU の使用率を示していた。

たとえば，図 3(a) でログイン数 100 余のときは 7 台ともピークで約 27% を使っていることが分かった。講義期間中はこのプールでは常時 200 台の VDT が起動しているので，ログイン数 100 の時間前後では約 300 台の VDT が起動状態である。VDT 設計では 161 コアを使用し，7 台の実行サーバの CPU 使用率はほぼ同じ傾向だった（負荷分散されている）ことから，1 コアにつき実稼働の VDT は 2 または 3 台が動作していた。この状態では講義に支障が生じていなかった。ピークの時間帯は 3 つの実習室でプログラミングの講義をしており，コンパイルやプログラム実行など一般系プールの中では負荷の高い作業をしていた。

VDT の同時利用が多い 2015 年度前期の講義状況を調べるために，講義中の最大の同時ログイン数を調べた。複数教室で同時にプログラミングの講義が行われる火曜日の 4 日分をサンプルとして抜き出した各日の最大のログイン数を表 3 に示す。このとき，起動している VDT 数はログイン



(a) 芸術系プール実行サーバ



(b) 芸術系プール用クライアント

図 4 画像編集時の CPU 消費量

Fig. 4 CPU consumption in using digital imaging software.

ン数 + 200 台で，最大 495 台が同時起動している。この状況で毎週講義が行われていたが，操作性に関するクレームはなかった。

VDI の設計時は VDT のコア数などサイジングは粗な予想に基づき行うしかない。今回の CPU 使用率などのデータと講義内容との関連づけにより具体的な同時 VDT 利用数を示すことは本学の事例ではあるものの，他大学での具体的な VDI 設計の試算の参考値として提供できた。

次に，芸術学部の実習において画像編集ソフトウェアを使用している状態で同様の測定をした。図 3(b) のモニタリング期間は講義中の具体的な利用アプリケーションまでは特定して調査していなかったので，アプリケーションの利用状況とサーバの使用率との関係を調べるため，再度，サーバへの負荷が高くなる可能性が高い芸術系プールで測定した。

受講生 41 人が Photoshop を用いて画像編集している状況で，VDT の実行サーバ 2 台と適当に選んだ 2 台のクライアント（VDT として割り当てられた VM）の CPU の負荷を測定した（この作業時間中に動画編集のソフトは動作していない）。図 4(a) と図 4(b) はそれぞれ，2 台のうちの 1 台の実行サーバとクライアントの CPU 使用量と使用率を 5 分ごとにプロットしたグラフである。図 3 と同じく青線が使用率，赤線が使用量を示す。もう 1 台の実行サーバもほぼ同じ結果であった。表 1 のとおり芸術系には 46 コアが使用できるので，多くのコアでは 1 つの VDT が稼働していた。41 人が Photoshop の起動したのが 15:15 頃からで，サーバ側の負荷は最大で約 70% の消費となっている。芸術系サーバには GPU を搭載しているが，この作

表 4 Apache の設定

Table 4 Parameters values of Apache.

パラメータ	今回設定値	通常時設定値
StartServers	500	5
MinSpareServers	500	5
MaxSpareServers	500	10
ServerLimit	1000	400
MaxClients	1000	400
MaxRequestsPerChild	200	200

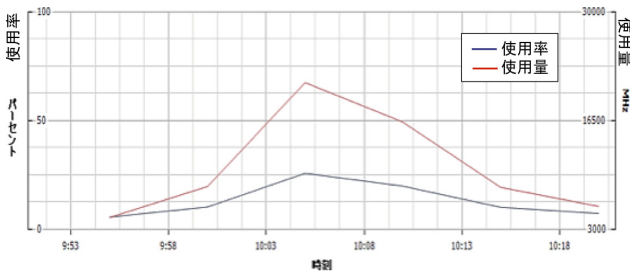
業の際に GPU にオフロードできているかは確認できていない．クライアントは利用者ごとに割り当てられた VDT，すなわち VM で，その負荷推移は利用者ごとの操作によって異なる．そのため，図 4(a) の複数の VDT を処理する実行サーバの負荷推移とも異なる．図 4(b) のように処理によっては瞬間的に 50% を超えることはあるが，連続的になることはなかった．

実習中の実際の画像編集において，マウス操作やレンダリング操作がやりくいという事態は起きず，科目の担当教員からも実習に支障ないという評価を得ている．このことと測定結果からリソース配分に支障はないと考えている．

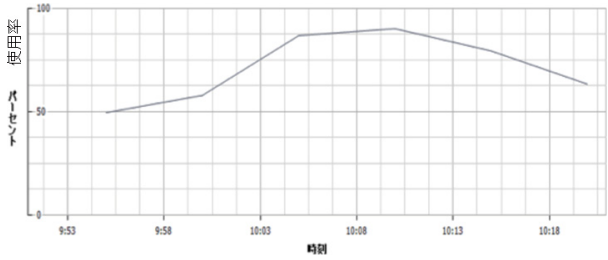
5.2 仮想サーバのリソース変更

4.3 節で述べたとおり大学では講義時と休暇時など時期によってサーバに必要なリソースが変動するので，今回の更新ではそれに対応するようにクラウド上のサーバを仮想化して運用を開始した．リソース変更の結果を示すために，大学の入試合格発表時に Web サーバのリソースを変更した際のリソースの変動やアクセス状況を示す．2 台の Web サーバは通常時はそれぞれ CPU を 8 コア，メモリ 8 GB を割り当てている．これを入試発表直前に 32 コアと 16 GB に増強した．2 台の Web サーバにはロードバランサで分散してアクセスされる．大学のホームページのトップは静的画面（HTML のみ）で，入試の合格発表のページは部局など入試種別ごとの PDF ファイルである．Web サーバは Linux 上で Apache2.2.15 が動作している．マルチプロセッシングモジュールとして prefork を用い，合格発表用と通常時の prefork の設定内容を表 4 に示す．Web サービスプロセスを固定のコアに割り当てる設定はしていない．

図 5 に合格発表時間前後の Web サーバ 1 台の CPU とメモリの使用率の推移を示す．黒線が CPU 使用率で赤線が CPU 使用量（MHz）を示す．もう 1 台もほぼ同様の傾向であった．合格発表時の Web サーバの入試関連ページのアクセス状況は図 6 のとおりで，2 台のサーバのアクセス数を 10:00～10:10 の間 10 秒ごとにプロットした結果である．Web サーバへのアクセス数全体は 10:01 の 730 で，その前後 1 分が 700 余のアクセスであった．同時時間帯にファイアウォールでのセッション接続記録から http アクセスに関連するものを採取した結果が図 7 である．図 7



(a)CPU 消費量



(b) メモリ使用率

図 5 合格発表時の Web サーバの負荷推移
Fig. 5 Load transition of the Web server in Web a.

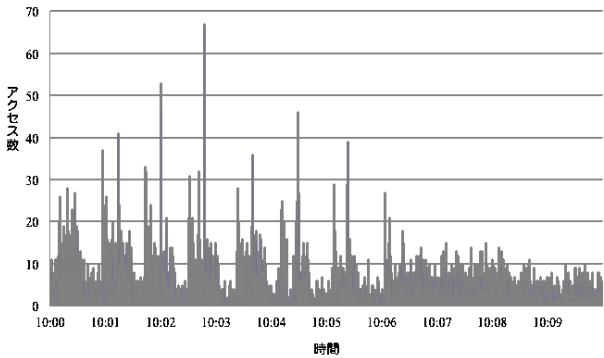


図 6 合格発表時の Web サーバのアクセス推移
Fig. 6 Access transition of the Web sever at the announcement of the examination result.

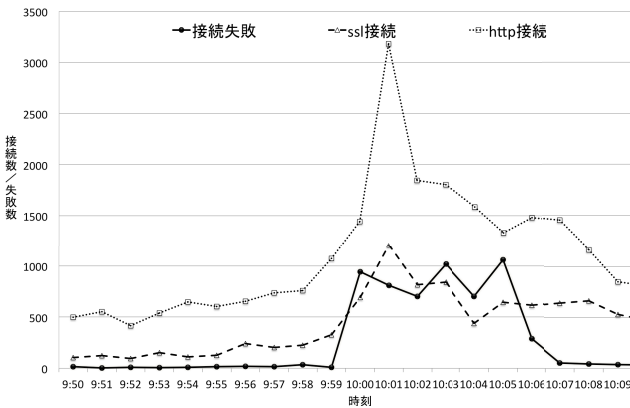


図 7 合格発表時の FW でのコネクション状況
Fig. 7 Connections at the FW at the announcement of the examination result.

の http アクセスは合格発表用の Web サーバへの http セッションとは限らず、失敗数は http セッション以外も含まれるが、この時間帯に他のセッションはほとんど見られず、他の URL へのアクセスもないことから、ほぼ合格発表を見るための http 接続に関する結果と見なすことができる。

図 6 で 10:03 頃に入試関連ページへのアクセスのピークになっているが、図 7 の接続失敗数が 10:00 前から上昇し、10:05 頃まで約 1,000 件のアクセスが失敗していることが分かる。すなわち、合格発表用の Web サーバそのもののアクセス数はリソース増強をしないときに比べて増やすことができたが、相当数の失敗が出ていることから今回の仮想サーバのリソースの割当てでは不足だったといえる。接続失敗分のアクセスも数分内には正常接続ができ、システム更新前のようにクレームが発生するほど接続できない状態が継続するような事態を回避することはできたが、次年度はリソース配分の検討が必要である。

5.3 教育システム環境の保守

VDI になっても端末へのセキュリティパッチの適用やイメージの配布など教育用システムの環境の保守は必要である。このような保守作業が更新前後でどのように変化したかを表 5 にまとめた。Linux や Windows の保守は OS や導入ソフトウェアのパッチやバージョンアップである。更新前は PC のマスタイメージの準備やイメージの配布サーバの準備に時間がかかっており、その部分については VDI では不要になった。

ウィルススキャンは実機でも VDT でも端末個々に動作するが、VDT の場合は同じ実行サーバでいっせいにスキャンが動作するので、サーバの負荷軽減が必要である。そのためにマスタイメージでのスキャン結果をもとに各 VDT のスキャン対象を絞るなどサーバの保守作業が追加で必要となった。全体に要する時間は VDI になって半減しているが、手作業の時間は大きな変化はない。

5.4 使用電力量の変化

大学のサーバ室に残っているのは L2 のスイッチのほか、

表 5 保守作業時間

Table 5 Maintenance time.

	更新前 (時間)	更新後 (時間)
Linux の保守*	0.5	1
Windows の保守*	0.5	1
更新前: マスタイメージ準備 更新後: スナップショット作成	4	0.5
イメージ配布サーバ準備	7.5	-
イメージ配布	7	6
予備機で動作確認*	0.5	-
最終動作確認*	3	0.5
ウィルススキャン処理	-	3.5
計	23	12.5

*は手作業

数台のサーバ（電気錠システムの管理用と監視カメラの画像レコーダ）である。表 6 に使用電力量の変化を示す。サーバ室は更新前に消費電力を自動的に測定・収集する機器で計測した値である。更新後の測定値は 10 回の測定値の平均値を示す。実習室の機器類や DC の値はカタログのピーク値から計算したものである。

更新後のサーバ室の電力量は DC の 4 ラックの機器の消費電力 28.9 kW と大学のサーバ室の 8 kW とで 37.0 kW となり、更新前の約 53% になっている。更新前はサーバの仮想化がされておらず、4.3 節に記述したようなサービス別に物理サーバが設置されていたが、更新後はサーバ仮想化によりサーバの集約ができ、消費電力の抑制には効果があった。もちろん、各装置が 5 年前に比べ、低消費電力になっていることも全体の電力消費軽減につながっている。

実習室は更新後にゼロクライアントにしたことでかなり電力量が削減されている。

5.5 パブリッククラウドへの移行

メールセキュリティのパブリッククラウド移行は、同じ Symantec 社のアプライアンスからの移行だったので円滑に進むと予想していたが、実際にはアプライアンスでの検知エンジンや検知した際のメールの処理の違いが移行後に発覚したものもあり、当初は混乱した。たとえば、暗号化された添付ファイルの扱いが更新前は検知処理ができないことがメール本文中に記載されていたが、クラウド移行後はそれができず、利用者にはウィルス検知ができたのか否かが判断しにくい状況となった。このクラウドサービスの提供事業者に対処を依頼して、利用に支障がない状況にはなっているが、当初は混乱した。標的型メールの検知も対象になったが、それで利用者の混乱が生じている例は今のところはない。

学生のメールシステムの Office365 への移行では、大学のメールアドレスとの共用ができなかったため、専用のドメイン名を作った。そのため、学生は夏休みの前後でメールアドレスが変更となり、そのための対応が必要であった。更新前に使用していた Web メールのスプールを移行したり、当分の間は旧アドレス宛のメールを転送したりして大きな混乱が生じないようにした。

表 6 電力量の変化

Table 6 Variation in electric power.

		更新前 (kW)	更新後 (kW)
サーバ室		68.8 ^{*1}	37.0 (8.1 ^{*2} +28.9 (DC))
実習室	端末	21.9	4.7
	プリンタ	5.6	6.0
サーバ室+実習室合計		96.3	47.7

*1: 4 ヶ月 (4~7 月) 平均値

*2: 10 回測定の平均値

それ以外は機器のカタログの最大値から換算

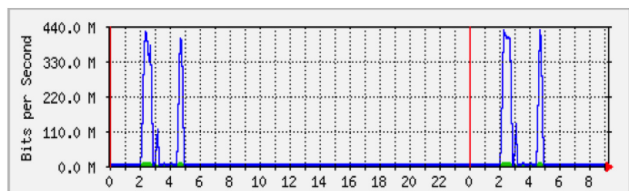


図 8 バックアップデータ転送量

Fig. 8 Backup data traffic.

5.6 バックアップ

更新前のバックアップはローカルディスクにとるのみだったが、更新後は別の DC にもバックアップをとるようにした。両者とも同じ製品でブロック単位での差分バックアップが可能なので、毎日、差分バックアップを行っている。差分バックアップのデータ転送容量は日ごとに変動するが、講義が多い日や VDT のマスタイメージの更新があるような日を含めても約 200 GB で、データ容量 8.5 TB (2015 年 1 月末現在) の約 2% である。バックアップは AM2:00 から 30 分ごとに領域ごとに転送するように設定されており、図 8 のとおり短い時間で終わっている。

6. おわりに

本論文では広島市立大学の情報基盤のクラウド移行設計や運用を通して、クラウドによる VDT で実施する講義時の利用リソースを定量的に示し、講義に支障がないリソース配分の目安を示した。また、仮想サーバのリソース利用率と Web アクセス状況の関係、クラウド移行による電力量の変化、教育環境の管理負荷の変化などを定量的に示した。今回のデータは一例ではあるが、今後、クラウドに教育や研究の基盤を移行する際のリソース計算や管理コストの参考として用いることができる。特に CG 編集作業をとまなう VDT の構成において講義中の操作性とともに定量的なデータを提示したものはほとんどないため、有用性が高いと考えている。ただし、芸術系の講義で用いられる動画編集時のデータ、特に GPU のオフロード状態やストレージ I/O やネットワーク I/O のデータなどが不足しており、今後はこれらも含めて VDT 利用環境の実態を分析していく必要がある。

今後のクラウドが前提とされる情報基盤の構成や運用は大学の規模や教育スタイルによって多様な形態であり、今後、異なる形態においても、今回のような分析が出てくることを期待する。また、広島市立大学での今回の情報基盤の構築では分析を通して、設計時の基本方針を満たすと判断しているが、今後の拡張に対しても対応できるかを調べていく。

謝辞 データ取得などにご協力いただいた広島市立大学情報処理センターのスタッフ丸山和俊氏、長光政裕氏、勝部章子氏に感謝します。

参考文献

- [1] 前田香織, 末松伸朗, 北村俊明: 広島市立大学における情報ネットワークシステムのクラウド環境移行, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-IOT028, No.19, pp.1-6 (Mar. 2015).
- [2] 八代一浩, 鈴木嘉彦, 伊藤一帆, 片谷教孝, 豊木博泰: 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, 情報処理学会研究会報告, Vol.2006-DSM-043, No.97, pp.7-12 (2006).
- [3] NEC, 山梨大学の情報山梨大学の情報システム基盤をクラウド環境へ移行 (2012), 入手先 (http://jpn.nec.com/press/201210/20121029_01.html) (参照 2015-01-12).
- [4] 土屋英亮: プライベートクラウドの大学間共同利用の提情報処理学会研究報告, Vol.2012-IOT-19, pp.1-4 (2012).
- [5] 鍛冶秀紀, 安東孝二, 小野成志: 武蔵大学における仮想化基盤を活用したキャンパスネットワークの構築と運用, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-IOT-22, No.6, pp.1-5 (2013).
- [6] 柏崎礼生, 宮永勢次, 森原一郎: 大阪大学における仮想化基盤の増強とクラウド戦略, インターネットと運用技術シンポジウム 2014 論文集, pp.93-100 (2014).
- [7] 近堂 徹, 田島浩一, 岸場清悟, 吉田朋彦, 岩田則和, 大東俊博, 西村浩二, 相原玲二: クラウドコンピューティング活用のための大規模キャンパスネットワーク, インターネットと運用技術シンポジウム 2014 論文集, pp.101-108 (2014).
- [8] 笠原義晃, 伊東栄典: IaaS クラウド型教育情報システムの実現可能性調査, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-IOT-22, No.14, pp.1-6 (2013).
- [9] Agrawal, S., Biswas, R. and Nath, A.: Virtual Desktop Infrastructure in Higher Education Institution: Energy Efficiency as an Application of Green Computing, *Proc. 2014 4th International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, pp.601-605 (Apr. 2014).
- [10] Regina, M., Danutė, A., Raimundas, T. and Nerijus, P.: Educational Infrastructure Using Virtualization Technologies: Experience at Kaunas University of Technology, *Informatics in Education*, Vol.11, No.2, pp.227-240 (2012).



前田 香織 (正会員)

1982 年広島大学総合科学部卒業。同大学工学部助手, (財)放射線影響研究所技術員, 広島市立大学情報科学部助手, 同大学情報処理センター助教授を経て, 現在, 同大学大学院情報科学研究科教授。博士 (情報工学)。コンピュータネットワーク, マルチメディア通信, モバイル通信に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



末松 伸朗 (正会員)

1988 年九州大学理学部物理学科卒業.
1990 年同大学大学院修士課程修了.
同年(株)富士通研究所入社. 1994 年
より広島市立大学情報科学部助手. 現
在, 同大学大学院情報科学研究科准教
授. 博士(工学). パターン認識, 機
械学習の研究に従事. 人工知能学会, 電子情報通信学会各
会員.



北村 俊明 (正会員)

1978 年京都大学工学部情報工学科卒
業. 1983 年同大学大学院博士課程研
究指導認定退学. 同年富士通(株)入
社. 汎用コンピュータ, スーパーコン
ピュータ VPP シリーズ, 米国 HAL
社において SPARC プロセッサ等の研
究開発に従事. 博士(工学). 2000 年京都大学総合情報メ
ディアセンター助教授を経て, 2002 年広島市立大学情報科
学部教授. 電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員.