

# Apache Virtual Computing Laboratory の現状と課題

梶田 将司<sup>1,2</sup>

**概要:** 本報告では、専門教育等で用いられる実習用計算機環境を仮想計算機として貸し出すために用いられる Apache Virtual Computing Laboratory (VCL) の現状および VCL サービスの構築・運用に関する課題について述べる。特に、VCL サービスを提供するために必要とされる (1) 計算機リソース基盤, (2) VCL 基盤, (3) 貸出仮想計算機, (4) アクセス手段, の 4 つの階層に沿ってこれまでの変遷と課題を整理することにより、教育用端末サービスの将来像として位置づけることができる VCL サービスの今後を考える。

**キーワード:** e ラーニング, 教育の情報化, オープンソース, 教育用端末サービス, アカデミッククラウド

## Current Status of Apache Virtual Computing Laboratory and Its Challenges

**Abstract:** This paper describes the current status of Apache Virtual Computing Laboratory (VCL) which can be used for leasing virtual machines as discipline specific teaching and learning environments, and challenges on VCL service developments and operations. In special, we will address challenges in the future of VCL as a next-generation student terminal service along with a four layered views: (1) Computing Resource Infrastructure, (2) VCL Infrastructure, (3) Virtual Machines to be leased, and (4) Access Method.

**Keywords:** e-Learning, Effective ICT Use for Teaching and Learning, Open Source, Student Terminal Service, Academic Cloud

### 1. はじめに

高等教育における ICT (Information and Communication Technology) の利活用は、まず、教育の情報化のために必要なサーバサイドの主要なシステムとして、

- 教務事務の電算化の流れの中で整備されてきた教務システム,
- 授業支援の流れの中で整備されてきたコース管理システム [1],
- 学生自身による学びのマネジメントを主導するために整備されてきた e ポートフォリオシステム [2]

が明確になってきている。一方、情報リテラシー教育の流れの中で 1990 年代半ばから整備されてきた教育用端末システムは、ワークステーションをベースとしたものから PC をベースとしたものに推移するとともに、情報リテラシー教育に留まらず、専門分野での計算機を用いた実習型教育に拡大されてきた。その結果、教育用端末システムは教育の情報化のために必要なクライアントサイドの主要なシステムとして明確になってきている。

このような流れの中で、大学としてはサーバサイド・クライアントサイド双方において様々な計算機リソースが必要になってきており、利用場面が拡大する中で支援の内容がより教育内容に関係する領域へと踏み込みつつあるため、多様な教育現場に対応した多様なニーズへの対応が求められるようになってきている。例えば、教育用端末システムの場合、Mathematica や Maple, Matlab 等の数式処理・数値計算・シミュレーション用ソフトウェアや AutoCAD 等の CAD ソフトウェアなどの特殊アプリケーションの利用

<sup>1</sup> 京都大学情報環境機構 IT 企画室  
IT Planning Office, Institute for Information Management and Communication, Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan

<sup>2</sup> 京都大学学術情報メディアセンター  
Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan

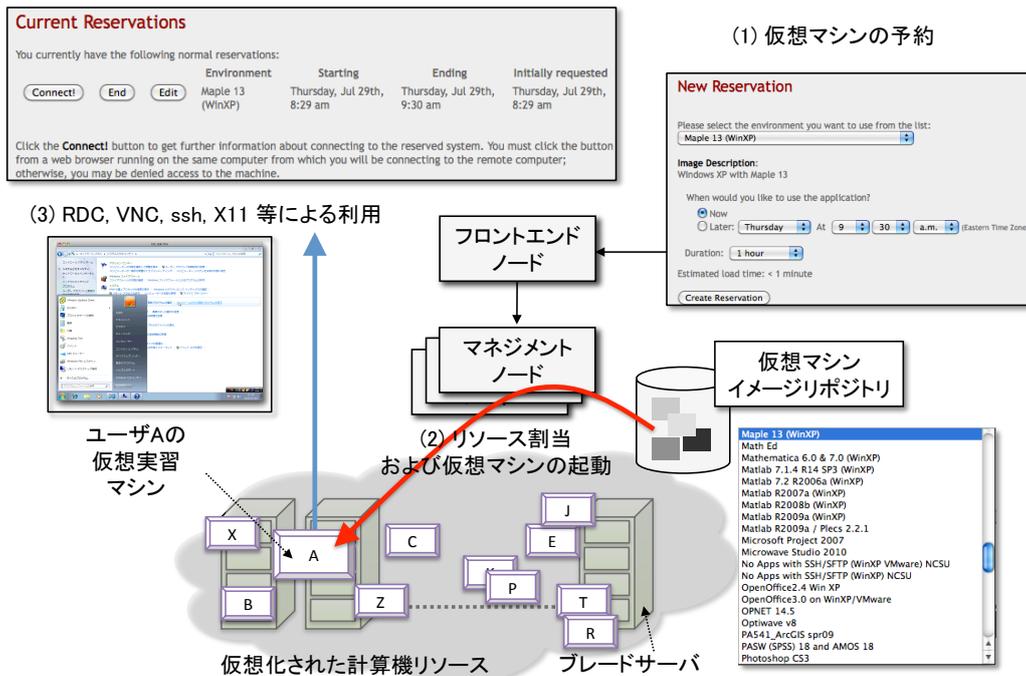


図 1 NCSU Virtual Computing Laboratory.

が広がった結果、その管理・運用が複雑化しており、新たな対応要員の確保や既存要員の再教育が求められている。

このような背景の下、我々は 2008 年 7 月に North Carolina State University (NCSU) で開催された国際学術コンソーシアム AC21 の CIO フォーラム [3] への参加をきっかけに知ることとなった Virtual Computing Laboratory (VCL) に着目し、アカデミッククラウドの概念 [4] を提唱しつつ、その具体的なサービスの一例として VCL (図 1 参照) に関する研究開発を行ってきた [5][6]。

一方で、ここ数年のクラウドコンピューティング技術の急速な進展により、ICT 業界は「ICT リソースの所有」を前提としたパラダイムから「ICT サービスの享受」を前提としたパラダイムへと大きく変わり始めている。特に、VCL と同様な VM 貸出サービスの有償ソリューションが仮想デスクトップ (Virtual Desktop Infrastructure, VDI) として利用できるよなったり、タブレット端末やスマートホンの普及の流れの中で BYOD (Bring Your Own Device) の考え方も明確になってきている。このため、本研究を取り巻く外部環境も考慮した研究課題の整理と再設定が必要となっている。

そこで本報告では、ICT 業界のクラウドコンピューティングの状況や大学における教育の情報化の現状を加味しながら、これまでの我々の研究開発活動をまとめるを試みる。具体的には、VCL サービスの提供に必要なコンポーネントを図 2 に示すような 4 つの技術的なレイヤと 2 つの支援体制に分解した VCL サービス階層モデルを導入し、これにより、これまでの VCL サービスの変遷と課題を整理するとともに、VCL サービスを取り巻く教育の情報化

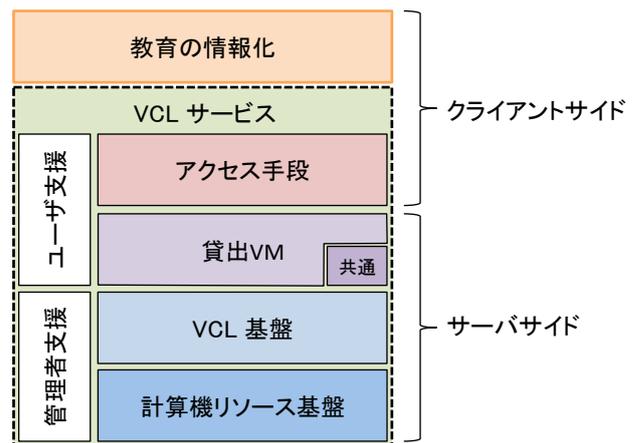


図 2 本報告で用いる VCL サービス階層モデル。

の観点から各大学における今後のあるべき姿をまとめる。

## 2. 計算機リソース基盤アーキテクチャの変遷

VCL (Virtual Computing Laboratory) は、米国ノースカロライナ州立大学 (North Carolina State University, NCSU) において開発されたもので、すでに 7 年の運用実績を持つ。NCSU VCL は、多額の費用を投じて運用しているにも関わらず、ユーザの減少が続いていた HPC サービスの将来を模索するためのプロジェクトとして開始され、現在では、約 2,000 台のブレードサーバを用いて約 12,000 人の教員・学生に対してサービスが提供されている [7], [8]。VCL サービス提供に必要なソフトウェアは、NCSU が Apache Foundation に寄贈し、2008 年 11 月から Apache Incubator プロジェクトとしてオープンソース

化が始まり、2012年6月には Top Level プロジェクトに昇格した結果、システム・コミュニティとも成熟しつつある [9].

本節では、まず、VCL の基本的な利用方法について述べるとともに、2008年のオープンソース化前後で大きく実装方法が変わった計算機リソース基盤のアーキテクチャを振り返ることで、ICT 業界のクラウドコンピューティングの状況から伺える今後の方向性について述べる。

## 2.1 VCL の利用時の流れ

VCL は、(1) ユーザからの要求を受け付けたり様々な管理業務を行うための「フロントエンドノード」、(2) 要求に基づいて仮想マシンをイメージリポジトリから実行マシンにロード・起動する「マネジメントノード」、および (3) 計算機リソース、により構成される (図1参照).

まず、ユーザは、VCL フロントエンドノードにログインし、利用したい仮想計算機・利用日時を指定し、利用予約を行う<sup>\*1</sup>(図1の(1)). すると、VCL マネジメントノードが指定された仮想マシンイメージを計算機リソース上にロードし起動する (図1の(2)). ユーザは、予約した仮想マシンの状態をフロントエンドノードで確認することができ (図1の(3)), 利用が可能になると "Connect" ボタンをクリックすることで、作成された仮想マシンへの接続に必要な IP アドレスやユーザ認証情報を取得することができる. 接続時には、RDP ソフトウェア (マイクロソフト社の Remote Desktop Connection for Mac や Windows 系 OS のリモートデスクトップ接続機能), VNC クライアント, X11, ssh を利用する仮想マシンに応じて使用する.

## 2.2 NCSU 時代の計算機リソース基盤のアーキテクチャ

NCSU で開発が始まった当初は、IBM BladeCenter が有していた動的なブートイメージの切り替え機能をベースに、xCAT[11] という IBM BladeCenter に特化したプロビジョニングエンジンを用いて発展してきた. その基本アーキテクチャを図3に示す.

VCL マネジメントノードは予約情報に基づいて必要なマシンイメージ  $Image_b$  をイメージリポジトリから物理計算機  $Computer_i$  に xCAT を用いてロードする. このマシンイメージは、ユーザ認証設定やホームディレクトリ設定などの共通利用環境を含む OS およびアプリケーションの環境設定がなされており、 $Computer_i$  で動作するようにその物理計算機のプロファイル情報に基づいて IP アドレスやユーザのアクセス情報等が設定される. プロファイル情報には、ネットワーク環境やストレージ環境の情報が記載されており、通常はブレードサーバのように複数のブレード間で同じ設定となるため、複数マシン間で共有される.

<sup>\*1</sup> 仮想計算機のスペックを指定して借り出す Amazon AWS のような IaaS 型クラウドサービスとは異なる.

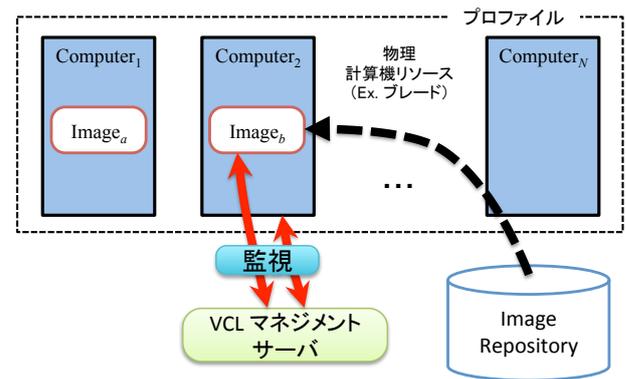


図3 物理計算機リソーススペースの VCL.

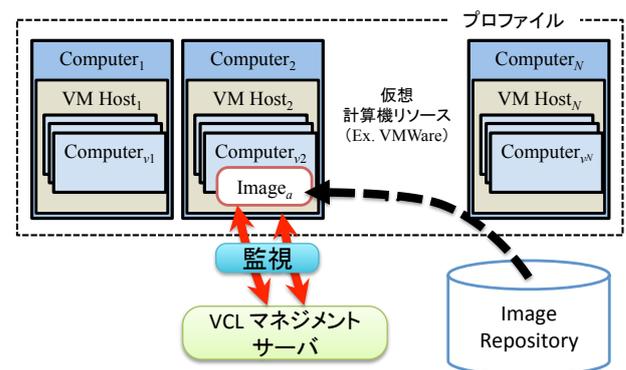


図4 仮想計算機リソーススペースの VCL.

このアーキテクチャの最大の利点は、ロードするマシンイメージが実計算機として実行されるため、適切な設定がなされたマシンイメージである限り、計算機リソースのパフォーマンスを最大限活用できる点にある. 逆に、最大の欠点は、特定のベンダに依存した環境となるため、ベンダーロックインの可能性に常に気をつける必要がある.

## 2.3 オープンソース化後の計算機リソース基盤のアーキテクチャ

2008年11月、NCSU は PHP と Perl で記述された VCL のフロントエンドノードおよびマネジメントノードのソースコードを Apache Foundation に寄贈した結果、VCL は Apache License の下でオープンソース化された. オープンソース化後は、VMWare による仮想化計算機リソースもサポートされるようになり、仮想マシンを扱うための仕組みが必要となったため、貸出 VM をロードするメカニズムも図4のように更新された.

この新しい貸出 VM をロードするメカニズムでは、 $Computer_i$  に VMWare ESXi 等のタイプ1型ハイパーバイザ<sup>\*2</sup>がインストールされ、仮想マシンホスト  $VM Host_k$  として VCL マネジメントノードにより管理される.  $VM Host_k$

<sup>\*2</sup> サーバのハードウェア上で直接起動され、ハードウェアを制御し、ゲストオペレーティングシステムをモニタする。「ネイティブ (native)」あるいは「ベアメタル (bare metal)」とも呼ばれる (Wikipedia).

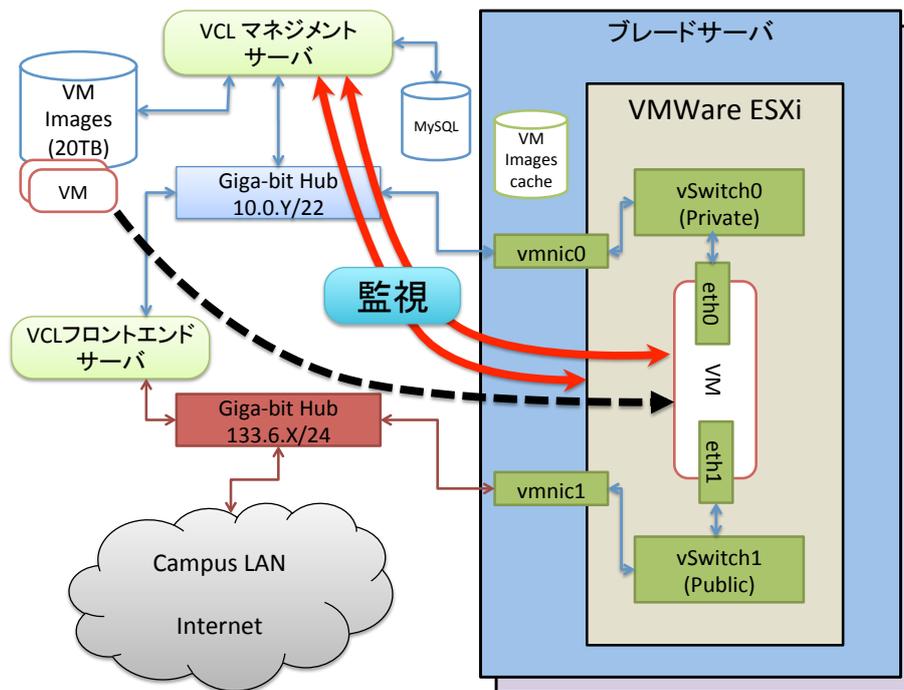


図 5 東海アカデミッククラウド用 VCL 環境.

上に仮想マシンイメージ  $Image_{vi}$  をロードするための仮想マシンをあらかじめ VCL マネジメントに登録する必要がある\*3。これは、物理計算機リソース基盤の場合、VCL マネジメントノードが対象とする管理単位が  $Computer_i$  となっていたことと同じ考え方とするためである。VMWare ESX 等が  $Image_a$  としてロードされる場合を考えれば、この変更は前述の物理計算機リソースを対象としたアーキテクチャの中での拡張であることが分かる。NCSU では、HPC 利用のようにパフォーマンスが要求される VCL 利用と教育学習用 VCL の混在を前提としているため、xCAT をベースとした物理計算機リソース基盤を用いる従前のメカニズムと VMWare をベースとした仮想計算機リソース基盤を用いる新しいメカニズムを混在させて使用していると聞いている。

なお、2012年7月にリリースされた VCL 2.3 では、xCAT 以外に次の仮想化環境を利用することができる：

- VMware Server 1.x and 2.x
- VMware ESX 3.5
- VMware ESXi 4.x and 5.x
- VMware vCenter
- KVM
- Virtual Box

さらに、Mac OS X サーバ上での VMWare ESX を対象にした仮想化計算機リソース基盤も利用できるようになってきている。

\*3 対応する仮想マシンを VMWare 上にインストールする必要はない。

## 2.4 計算機リソース基盤の課題

仮想化計算機資源基盤として利用可能なプライベートクラウドソリューションが多数のベンダーやシステムインテグレータから提供されている。また、Amazon AWS 等のようなパブリッククラウドプロバイダが提供するサービスも仮想化計算機資源基盤として利用することができる開発も VCL プロジェクトでは進められている。

これら、プライベートおよびパブリックな仮想化計算機リソース基盤を、いかに効率よく使いこなすかは、構築コスト・運用コストに直接影響する。このため、各大学間で共通化可能なところは共通化し共有する等、コストを圧縮するための方策を検討する必要がある。具体的には、履修情報やシラバスをはじめとする教育学習活動の事前情報だけでなく、教育現場の時間分散や科目分散、実際の受講状況など、教育学習現場の多様性や安全性を考慮した動的かつ自律的な仮想計算機リソースの割り当てを可能とする仕組みを開発し、VCL 基盤に組み込むことが必要である。しかも、このような要求は一般企業の情報サービスとは異なり、大学に特化した特殊なものであるため、大学が主体的かつ他大学を巻き込んで開発する必要がある。

このような課題を上手く解決することは、管理者支援を進めていく上でも重要である。

## 3. VCL 基盤の現状と課題

### 3.1 東海アカデミッククラウドでの実装

東海アカデミッククラウド [10] で構築した VCL 基盤は、仮想化計算機リソース基盤として VMWare ESXi 4.1 を用いて、図5のように構築している。その特長としては次の

通りである:

- 28 台のブレードサーバで構成される IBM BladeCenter を VMWare ESXi により仮想化. ESXi は, ユーザ登録を行うことで無料で利用できるため, 大規模な運用ではコスト的観点から ESXi が適している\*4.
- VMWare ESXi を効率よく管理するため, VMWare vCenter Server を導入し, 一部のものについては一元的に管理できるようにしている.
- 共有ディスクとして, 20TB を有する Sun OpenStorage を使用.
- ユーザにサービスを提供するためのグローバルネットワーク (名古屋大学キャンパスネットワーク) に接続されたサービスネットワークと, 仮想マシンのイメージ転送や VCL マネジメントノードによる管理作業を行うためのサービス管理ネットワークの 2 つにより構成.

### 3.2 多様なニーズに対応可能な VCL 基盤の多様化

現在の東海アカデミッククラウドでの実装は, 名古屋大学内での利用やそれ以外の東海地区の大学での利用の区分がうまくできていない. VCL マネジメントノードは, 用途ごとにグループ単位で立ち上げて利用できるようになっている. 例えば, HPC に特化した物理計算機リソース基盤を使用するグループや, ある特定の大学用に調達された仮想計算機リソース基盤を使用するグループ等, それぞれに VCL マネジメントノードを割り当てるのが可能になっている.

この機能を積極的に活用し, 名古屋大学だけでなく, 例えば, 京都大学にも仮想化計算機リソース基盤を配置することにより, 地域分散型の VCL 基盤を構築することも可能であろう. Shibboleth 等の組織間連携型認証基盤をベースにすることでセキュリティ・プライバシー保護を堅持しつつ, 障害時に相互に補完し合いながら運用可能な VCL 基盤とすることも可能になる.

## 4. 貸出 VM の現状と挑戦

VCL では, 一般的に Windows 系 OS と Linux 系 OS が貸出 VM の基本 OS として用いられる. 貸し出す VM を用意する場合, まず, 種となる VM を通常の手続きで VMWare 上に作成し, VCL マネジメントノードのイメージキャプチャ機能をコマンドラインから起動し VCL のイメージリポジトリの管理下に取り込むことになる\*5.

一度イメージがキャプチャされ, VCL の管理下に置かれると, 貸出 VM を変更し, 再度キャプチャすることも

ユーザ権限で可能になる. この機能を用いることで, 各教員が必要な環境を自らの手で整えることが可能になっているものの, 実際問題としてそのようなスキルを有する教員は限られているため, ユーザ支援サービスとして貸出 VM 構築支援は必須である.

しかしながら, ユーザ支援サービス要員自体も極めて限られていることから, 専門教育担当教員が容易に独自の実習環境を構築することが可能になる「専門教育実習 VM リポジトリ」のようなコミュニティベースで VM を共有し合えるようなサービスも必須になるであろう.

### 4.1 ソフトウェアライセンスの問題

その際, 一番大きな問題になるのが, ソフトウェアライセンスである. ソフトウェアライセンスは, 対象利用者やその数, 場所やハードウェアなどの利用環境, それぞれのソフトウェアベンダー毎に独立に定められているとともに, その契約形態 (大学包括契約か, サイトライセンスか, 部局レベルのライセンスか等) も機関・ソフトウェアによって異なる. このような細かな違いに対応する管理コストは増加するが, 逆にサーバサイドでソフトウェア資産を厳格に管理できるようになるため, ソフトウェア資産管理責任を遂行しなければならない大学としては, これまでよりもソフトウェア資産を扱いやすくなると考えられる. 一方で, VM リポジトリの共同整備においてはこのソフトウェアライセンスの制限が大きな壁になる. 大学をまたがったソフトウェアライセンスの取り扱いについては, 大学 ICT 推進協議会 [12] などで大学間連携を強めることで緩和することも可能であろう.

## 5. アクセス手段の現状と課題

Remote Desktop Protocol や X 環境など, 現在のユーザ利用環境は, 動画や音声をシームレスに扱うには速度の点で不十分である. これは, ネットワーク帯域幅やユーザが使用する端末の性能向上により, 次第に解決していくと思われるが, 今後, BYOC (Bring Your Own Computer) の方針が採用され, 多様な端末環境にいかに対応するかは大きな課題となる.

より高速なネットワークは, ユーザが利用する仮想マシンのイメージそのものを, ユーザ端末に配信し, そこで仮想マシンとして起動する仕組みも可能にするかもしれない. いずれにせよ, 大学として管理可能な形でのイメージ配信は必須である.

## 6. 教育の情報化との兼ね合い

教育用端末サービスは, プログラミング演習や情報リテラシ演習など, コンピュータを用いた実習教育との兼ね合いで発展してきた. 一方で, WebCT や Blackboard, Sakai, Moodle などの一般的なコース管理システムに不足してい

\*4 ただし, すでに VMWare ESXi 4.1 は 2014 年 5 月でのサポート終了が VMWare 社からアナウンスされているため, バージョンアップ等, 2013 年度には何らかの対応が必要になる.

\*5 Windows 系 OS の場合は, ページコードに依存した実装となっているため, イメージキャプチャのような一部コードの修正が必要.

る機能が実習教育支援である。計算機を用いた教育・研究がどの学問分野でも当たり前の時代になってきている現在、授業内外の学習支援であっても、自学自習の学習支援であっても、計算機を用いた実習支援環境の充実は必須であろう。この意味で、コース管理システムとの間でオンデマンドで実習環境を用意することができるクラウド型の端末サービスは今後益々重要になっていくと考えられる\*6。

## 7. まとめ

本報告では、これまでの我々の研究開発活動をベースに、VCL サービスの提供に必要なコンポーネントを4つの技術的なレイヤと2つの支援体制に分解したVCL サービス階層モデルを導入し、これにより、これまでのVCL サービスの変遷と課題を整理するとともに、VCL サービスを取り巻く教育の情報化の観点から今後の方向性をまとめた。

現在、文部科学省研究振興局においてもアカデミッククラウド検討会が立ち上がり [13]、国の施策としてクラウド時代の大学情報環境のあるべき姿が検討されている。このような大学を対象としたクラウド化は様々な形で進むと考えられる。その中で、VCL サービスは次世代の教育用端末サービスとして比較的スムーズに各大学に取り入れられていくであろう。今回の整理をベースにさらなる研究開発を推進していく予定である。

## 謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費基盤研究(B)「仮想コンピューティング実験室によるクラウド型専門教育実習環境とその応用」(研究代表者: 梶田将司, 課題番号: 22300288), 同基盤研究(A)「国際的な生涯学習コミュニティ構築のための学習コンテンツ共有・流通システムの研究」(研究代表者: 山田恒夫(放送大学教授), 課題番号: 23240110)の研究助成を受けて実施されている。ここに記して感謝の意を表したい。

## 参考文献

- [1] エミットジャパン編, “WebCT: 大学を変えるeラーニングコミュニティ”, 東京電機大学出版局, 2005年7月
- [2] 小川賀代・小村道昭編著, “大学力を高めるeポートフォリオ~エビデンスに基づく教育の質保証をめざして”, pp.226-237, 東京電機大学出版局, 2012年3月
- [3] Shoji Kajita, “Universal Tipping Points for IT Revolution in Higher Educational Institution”, Special CIO’s Session, AC21 International Forum 2008, <http://www.ac21.org/files/2613/2730/0842/IF2008-Report.pdf>, Raighly, North Carolina, U.S.A., 27-30 July, 2008.
- [4] 梶田将司, “アカデミッククラウド環境: 大学の情報化における新たなパラダイム”, 放送大学ICT活用・遠隔教育センター「メディア教育研究」, Vol.7, No.1, pp.S9-S18, 2010.10 (招待論文)

- [5] 梶田将司, “仮想コンピューティング実験室によるクラウド型教育学習支援環境の構築”, 電子情報通信学会サービスコンピューティング時限研究専門委員会第3回研究会, Vol.110, No.AI-172, pp.59-64, 国立情報学研究所, 2010年08月23日
- [6] Shoji Kajita, “Tokai Academic Cloud: An Experimental Intra And Inter-institutional Cloud Infrastructure among National Universities in the Tokai Region of Japan”, 1st Int. IBM Cloud Academy Conference (ICACON) 2012, April 19-20, 2012, RTP, North Carolina, U.S.A.
- [7] Mladen A. Vouk, Aaron Peeler, Josh Thompson, Andy Kurth and Eric Sills, “VCL Experience and Some Suggested Best Practices: NC State”, [http://renoir.csc.ncsu.edu/VCL/Program/VCL\\_Introduction\\_4Jun10\\_v12.pdf](http://renoir.csc.ncsu.edu/VCL/Program/VCL_Introduction_4Jun10_v12.pdf)
- [8] Sam Averitt, Michael Bugaev, Aaron Peeler, Henry Shaffer, Eric Sills, Sarah Stein, Josh Thompson, Mladen Vouk, “Virtual Computing Laboratory (VCL)”, Proc. International Conference on Virtual Computing Initiative, pp.1-16, [http://vcl.ncsu.edu/sites/default/files/VCL\\_ICVCI\\_May07.pdf](http://vcl.ncsu.edu/sites/default/files/VCL_ICVCI_May07.pdf), 2007.5.
- [9] The Apache VCL Project, <http://cwiki.apache.org/VCL/>
- [10] 東海アカデミッククラウド共同利用・共同研究拠点, <https://academiccloud.jp/>
- [11] “xCAT: Extreme Cloud Administration Toolkit”, <http://xcata.sourceforge.net/>
- [12] 大学ICT推進協議会, <http://axies.jp>
- [13] 文部科学省研究振興局情報課, “アカデミッククラウドに関する検討会”, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shinkou/027/index.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/027/index.htm), 2012年

\*6 VCL ではコース管理システムとの連携機能はない。