

報 告

大学内プライベートクラウド構築手法の検討

金 西 計 英*

Design Issue of Private-Cloud Construction for Universities

Kazuhide KANENISHI

要 約

クラウド技術の発達を受け、高等教育機関の情報システムがオンプレミスからクラウド上へ移行している。パブリッククラウドへの移行が進む一方、利用規模を限定したプライベートクラウドの構築も進んでいる。大学において、プライベートクラウドの普及も進むと考える。しかし、多様な技術の組み合わせであるプライベートクラウドの構築は、容易ではない。徳島大学大学開放実践センターでも、運用してきたサーバを更新することとなり、プライベートクラウドを構築することになった。本稿では、まず、大学においてプライベートクラウド構築の方法について考察する。我々が実際に構築したプライベートクラウドについて述べる。一ヶ月程度の試用期間ではあるが、構築したプライベートクラウドの運用から、プライベートクラウドの可用性が高いことが分かった。

1. はじめに

2000年以降、情報システムの仮想化が急速に進んだ。コンピュータのアプリケーションの一つに、シミュレーションがある。コンピュータのハードウェアをシミュレーションし、ソフトウェア的としての計算機をコンピュータ上に実現することが仮想化技術である。1990年ごろまでは、シミュレーションされた計算機環境、仮想計算機はとても遅く、実用に耐えなかった。その後、計算機のハードウェアはムーアの法則に従い、指数的な発展を遂げた。計算機の構成要素であるCPU、メモリやストレージが高速化したことで、仮想計算機が実用に耐えるようになった。仮想計算機を実現する技術が、多様化し、単一の計算機上で仮想計算機を稼働するのではなく、複数の計算機を束ねて、複数の仮想計算機を稼働させる環境を構築する技術が次々に生み出された。複数の仮想計算機を提供する商用のサービスが生まれるに至った。商用の仮想計算機のサービスは、インターネットを介して、利用者に提供される。このような、ネットワーク越しに仮想計算機のサービスが提供

* 徳島大学大学開放実践センター

されるさまを、クラウドと称するようになった。クラウドは、仮想計算機に関するサービスや技術を示す言葉となっている。クラウドの利用が広がると、当然、高等教育機関でもクラウドの利用が浸透することになった。

クラウドは、仮想化技術の範囲が広がった結果、情報システムの仮想化される全般的な範囲を含む技術となっている。情報システムは丸ごと仮想化され、物理的な資源と切り離される。システムは、抽象化されたソフトウェア上のオブジェクトとなり、物理的な故障は存在しなくなる。クラウドの基盤での障害は発生するが、仮想化された側から障害は見えない。クラウド基盤でストレージの故障が発生しても、仮想のシステムは停止することはない。クラウド環境の全停止といった場合、この限りではない。

大規模なクラウドサービスが始まって久しい。国内の高等教育機関においても、北海道大学、九州大学、情報通信機構等ではアカデミッククラウドのサービスが始まっている。また、Amazon、Microsoft、さくらインターネット、GMO等による商用のVPSサービスも始まっている。一方で、クラウドは大規模なものだけが全てではない。クラウドも、利用目的に沿って、さまざまな規模のものに分化している。大規模なクラウド、中規模なクラウド、小規模なクラウドである。大基盤クラウドは、商用サービスを中心に、発展を遂げている。中規模や、小規模なクラウドについては、技術的な知見が、十分に蓄積されているとは言えない。大学で何からの情報システムを構築しようとした場合、Amazon等の商用サービスを利用することが常に最適な方法とは限らない。我々は、大学内といった限られた使用を目的とした小規模のクラウド、プライベートクラウドの活用の可能性はあると考える。大学でプライベートクラウドをどのように構築すれば良いのかと言った疑問に対する明確な答えはない。クラウドは多くのモジュール／サブシステムの集合体であり、関連技術が多岐に渡る。クラウド構築のためのクラウドデザインの指針が必要となる。クラウドのデザイン論とでもいった研究が必要であり、クラウドのデザイン論は、一種の実践的な研究といえる^{[9][10][11]}。

つまり、実際のフィールドでの問題解決を通し、論究を深めることができる。数学のような抽象的な議論ではなく、事例に基づく考察が必要であると考え。そこで、本稿では、我々が取り組んだ実際のプライベートクラウドの構築事例を元に、高等教育機関におけるプライベートクラウドの構築方法について考察する。我々は、徳島大学大学開放実践センター内に小規模なプライベートクラウドを構築した。このプライベートクラウドの構築を概観し、デザインの具体的な事例から、デザイン論の検討をおこなう。高等教育機関におけるプライベートクラウド構成のモデルについて提案する。

2. 大学内クラウド構築の要件

仮想化の技術が生まれ、商用サービスへと利用が多様化する中で、さまざまなクラウドが構築されるようになってきた。クラウドは、大規模な商用のパブリッククラウドがあれば、いろいろなプライベートクラウドが混在し、さらには、パブリッククラウドとプライベートクラウドを組み合わせ

せるハイブリッドクラウドなるものまで現れた。大学としては、外部のパブリッククラウドのサービスを借りるという形態から、学内にプライベートクラウドを構築するまで、利用の選択肢が増えた。ここでは、学内にプライベートクラウドを構築する場合、プライベートクラウドに求められる機能について、まとめる。大学内にプライベートクラウドを構築する場合、プライベートクラウドに求められる機能は、大きく以下の三つであると考え^{[3][5]}。

- (1) データの保護
- (2) 資源の可用性
- (3) サービスの継続性

まず、データの保護である。データの保護は、情報システムの運用にとって重要な問題である。データの保全は、物理的なシステムの保全より重要である。データ保護というのは、データの複製作成、バックアップ作成とそれに付随する作業のことである。これまでは、システムの運用管理者がバックアップ作業をおこなってきた。人手による複製作成作業を無くすことができれば、システムの運用管理者の負担は減る。大学で運用している情報システムには、学生簿、教材のコンテンツ、履修のログ等、さまざまな情報が蓄積されている。こうしたデータが何らかの理由で、破損した場合、バックアップが残っていれば、データをリストアすることでサービスを再開することが可能になる。データ破損の被害は、システムが停止した時間に被るものであり、被害は小さく押さえることができる。

次の資源の可用性とは、物理的な資源を効率よく活用し、耐障害性とコストの両面に配慮することである。これまで、物理的な計算機資源を冗長構成とすることで耐障害性を高めてきた。計算機資源を冗長に持つということは、情報システムそのものを複数用意するということである。何らかの理由で、システムが破損した場合、データのバックアップがあってもシステムそのものが壊れたような場合、サービスを再開することはできない。システムが壊れた場合、システムを構築し直す必要がある。その上で、データのバックアップが必要になる。システムが冗長的に構成されている場合、システムが壊れても、壊れたシステムとは異なるシステムを使い、データのバックアップからデータを復元することで、サービスを再開できる。冗長構成は、システムの稼働を保つことができるが、掛かるコストは高い。物理的な資源を複数持つため、金銭的なコストが掛かるからである。物理的な資源を冗長化する場合、効率化に対応する枠組みが求められる。冗長化された機器は、ある特定のサービスのためのものではなく、必要に応じ、複数のサービスに対応可能なものとする必要がある。最近の仮想化技術の発達によって、様々なハードウェアを、計算機上でシミュレーションすることが可能となり、シミュレーションに掛かる時間が実使用に耐える範囲に収まるようになってきた。このシミュレーションされた環境のことをイメージと呼び、計算機資源を抽象化されたオブジェクトとしてデジタルデータ化することが可能になった。物理的な資源の冗長化というものは、仮想マシンのイメージを複数用意することとなり、ソフトウェア上の問題となる。

最後に、サービスの継続性が挙げられる。情報サービスは生活基盤となっており、災害がおこった場合、何らかの形でサービス提供を維持することが重要である。そのためには、システムを動か

し続けることが求められる。データセンター内で、システムの継続的な稼働が実現できたとしても、サービスの継続性が担保されたことにはならない。他方、幾らシステムを稼働し続けたとしても、利用者からのアクセス手段が確立されていなければ、利用者はサービスを利用することができない。利用者とサービスの間の通信を確立することを目指す必要がある。衛星、複数張り巡らされた光ファイバ網等の通信のインフラ整備は進んでいる。一方、複数の経路が存在するとして、情報の流れを、動的、適応的に切り替えるような枠組みはまだ確立しておらず、動的な経路制御技術の提供が待たれている。サービスの継続性は、サービスを構成する環境全体を保つことである。

これまで、仮想化というのは、計算機をソフトウェア的にシミュレーションすることが中心であった。ネットワークそのものをシミュレーションすることも仮想化として語られるようになってきた。2000年以前から、イーサネットをソフトウェア上でシミュレーションする技術は開発されてきた。2010年以降は、ネットワーク網をシミュレーションすることに主眼が置かれるようになってきた。利用者とサービスの間のネットワーク環境を仮想化しておくことで、計算プール上で計算機システムの移動等が発生しても、利用者は、そうした移動を意識する必要がなくなる。

3. 大学のプライベートクラウドのデザイン

ここでは、プライベートクラウドの構成方法について考察する。上述の要求に応えるため、以下のような仮想化機能を提供する必要がある^{[1][2][4][6][7][8]}。

- (1) 計算資源の仮想化
- (2) ストレージの仮想化
- (3) ネットワークの仮想化

まず、計算資源の仮想化は、単一の仮想機械を拡張し整備したものである。仮想機械とは、XenServer, VMware ESXi等のハイパーバイザーと呼ばれるソフトが仮想的に作り上げる計算機のことである。複数の物理計算機を用意し、この計算機群を計算プールと呼ぶ。任意の物理計算機上で仮想計算機はシミュレーションされる。仮想計算機は任意の物理計算機で稼働し、仮想計算機と物理計算機の対応は、動的に変更可能である。仮想計算機は、計算プールの物理計算機を渡り歩くようなとらえ方ができる。利用者は、物理計算機が変更されることを意識しない。

次に、ストレージの仮想化とは、ネットワーク経由でアクセス可能なハードディスクを提供するものである。複数の計算機をネットワーク経由でストレージとして活用するSDS (Software Defined Storage) と呼ばれる技術が提供されている。GlusterFS, Cephのようなブロックデバイスをオンラインで提供するものがある。ブロックデバイスは、計算プールにマウントされ、仮想計算機のイメージの起動デバイスとして利用される。SDSは複数の計算機を抽象化して単一ボリュームとして見えるようにしたものである。計算プールからは、オンラインのストレージを構成する個々の計算機は認識されない。個々の計算機に障害が発生した場合は、計算機を入れ替えるだけで、ストレージ全体に影響を与えない。

一方で、オンラインのストレージは、ブロックデバイスとは異なり、オブジェクトストレージと呼ばれるものも必要となる。オブジェクトストレージは、計算プールで稼働させる前の仮想計算機のイメージファイルを保存しておくものである。仮想計算機のイメージのバックアップ用のストレージである。

三番目のネットワークの仮想化とは、ネットワークの機能を抽象化し、インターネットワーク上に仮想ネットワークを構築する技術である。極論すれば仮想のスイッチとルーターを作成し、クラウド上の機器はこのスイッチに直接繋がっている形を作ることである。ルーターは、スイッチに接続された機器がインターネットと繋がるために必要となる。クラウドを構成する機器は、物理的には広範囲に散らばっているにも関わらず、同一のセグメントで繋がっている構成を成立させることが可能となりつつある。ネットワークの仮想化は、2010年以降、SDN (Software Defined Networking) をキーワードに、急速に普及しつつある。OpenFlow, OpenDaylight 等のコントローラソフトが提供され、OpenvSwitch, Lagopus 等の仮想スイッチが提供され、ネットワークの仮想化の実現は進められている。

さらに、仮想化された環境を、最終的に統合するため OpenStack, CloudStack 等のクラウドコントローラと呼ばれるソフトが提供されている。クラウドコントローラを用いることによって、クラウド提供者が、仮想化された3つの環境を使ってクラウドを構築、運用する負担が軽減される。

4. CUE-Cloud

徳島大学大学開放実践センターでは、2000年以降、複数のサーバを運用してきた。2015年度の段階で、DNSサーバ、DNS キャッシュサーバ、メールサーバ、ネットワークの監視サーバ、Webサーバ (CMS サービス用) 等のサーバが稼働している。一般的に、組織内で運用しているサーバは、機器の経年的な劣化による機器類の更新や、セキュリティ上の要件からシステム更新の要求が発生する。大学開放実践センターでも、2015年度にDNSサーバ、DNS キャッシュサーバ、メールサーバ、ネットワーク監視サーバの更新をおこなった。これらのサーバは、更新にあたり大学開放実践センター内にプライベートクラウドを構築し (以下、CUE-Cloud と呼ぶ)、CUE-Cloud 上で稼働させることとした。ここでは、CUE-Cloud について述べる。

4.1. CUE-Cloud のデザイン

更新前、DNSサーバ、DNS キャッシュサーバ、メールサーバ、ネットワーク監視サーバは、FreeBSD の8系のOSで運用していた。これらのサーバは仮想マシンとしていたため、システム入れ替えはハードウェアと切り離して更新が可能となる。これまで、仮想マシン上のOSを必要に応じて更新してきた。今回、セキュリティ上の脆弱性へ対応するため、FreeBSD の10系へOSのバージョンを上げようとしたところ、ホストマシンのハードウェア上の性能から、仮想マシン上でFreeBSD の9系以降のカーネルが動かないという現象が発生した。ホストマシンとして用いたPC

の資源が、仮想マシンの OS の要求する資源と比べて、かなり旧式となっていた。そこで、ホストマシンの物理的な構成から更新することとなった。これまでサーバ類の仮想化はおこなっていたものの、1台のホストマシン上で1台の仮想マシンを稼働させる形態を取っており、クラウドと呼べる構成ではなかった。そこで、4台のサーバを更新するにあたり、プライベートクラウドを構築することとした。

CUE-Cloud は、計算プール、共有ストレージ（プライマリストレージ）、クラウドコントローラから構成される。また、ネットワークは、クラウド内のネットワークと、クラウド上で稼働する仮想マシンがサービスを提供する外部ネットワークを分けた。

計算プールは、仮想マシンを稼働されるためのクラウドの中心的な機能を提供する要素である。CUE-Cloud は、ハイパーバイザーに XenServer を用いることとした。XenServer は 2013 年度からオープンソースとなり、クラウドを構築する場合の基盤として、多数の利用実績がある。我々も、アクセスの容易さ、メンテナンスの活発さ等から、XenServer を用いることとした。今回は、4台のサーバを稼働させる必要があり、ハイパーバイザー上で4台のサーバを稼働させるだけの性能がホストマシンに要求される。計算機の性能はムーアの法則に従い飛躍的に向上しており、個々の仮想マシンが必要とする性能は各サーバの提供するサービスの内容によるものの、1台のホストマシンで複数の仮想マシンを稼働させるような構成を準備することは可能である。ただし、性能上1台のホストマシン上で4台以上の仮想マシンを稼働させることが可能として、1台のホストマシンで計算プールが十分というわけではない。例えば、ホストマシンにハードウェア的な障害が発生した場合、仮想マシンが全て停止してしまいサービスの提供が困難となる。ホストマシンを物理的に複数台で構成する必要がある。複数台の構成とすることで、仮想マシンを物理的なホストマシン間で移動させるマイグレーションが可能となる。マイグレーションは、仮想マシンのイメージを、ホストマシン間で移動させることである。イメージを共有ストレージに置き、ホスト間でのイメージのコピーに掛かる時間を最小に抑えることで、実時間内での仮想イメージの移行が可能になる。この共有ストレージを配置し、イメージを共有するものをライブマイグレーション（ホットマイグレーション）と呼ぶ。ライブマイグレーションでは、仮想マシンの物理メモリのイメージと、ディスクキャッシュのイメージのみのコピーで、仮想マシンが移動する。そのため、移動に必要な時間は短くてすむ。また、仮想マシンを一時停止、あるいは完全に停止することで、ハードディスクのイメージを異なるストレージ間で完全にコピーすることで、仮想マシンを移動することも可能である。これをコールドマイグレーションと呼ぶ。コールドマイグレーションは、仮想マシンのイメージの物理的なコピーにかかる時間が必要になるため、長い時間が掛かる。複数のホストマシンを用意することでライブマイグレーションが可能となる。

次に、ストレージの構成について述べる。ストレージは、計算プール間で共有する共有ストレージとする。ネットワークストレージを、複数のホストマシンに接続し、これをマウントすることでネットワークストレージとして共有する。共有ストレージ上に、仮想マシンのイメージを置く。ホ

ストマシンが内蔵する物理的なストレージには、ハイパーバイザーのシステムを置くが、内蔵ストレージに仮想マシンのイメージは置かない。先に述べた通り、ライブマイグレーションを可能とするため、仮想マシンイメージは、複数のホストマシンで共有する必要がある。そこで、ホストマシンには、内蔵のストレージとは別に、共有ストレージを用意する。共有ストレージ上の仮想マシンのイメージは、基本的に、どこかのホスト上で常に仮想マシンとして稼働していることになる。そのため、共有ストレージとは別に、保存用の仮想マシンのイメージとして稼働している仮想マシンのいずれかの時点での状態を保存したものを保存するストレージを用意する。このような仮想マシンのイメージを収納したストレージをセカンダリーストレージと呼ぶ。セカンダリーストレージを区別するため、仮想マシンを稼働させる共有ストレージを、プライマリーストレージと呼ぶ。CUE-Cloudでは、プライマリーストレージとは別に、セカンダリーストレージは置かない。

このようにして計算プールと、共有ストレージによってプライベートクラウドの基本部分を構成することができる。プライベートクラウドを制御するクラウドのコントロール機能が必要となる。CUE-Cloudは、ハイパーバイザーにXenServerを用いることとした。そのため、コントローラに、XenCenterを用いる。CloudStack等、高機能なクラウドコントローラは、多数存在するが、CUE-Cloudはシンプルな構成で、運用も単純な形を目指したため、コントローラも構築が容易で、運用も簡単なXenCenterを用いることとした。XenCenterはシンプルながら、プライベートクラウドに対し、最低限必要な制御機能を提供してくれるものである。

なお、計算プール、共有ストレージ、クラウドコントローラでプライベートクラウドを構成し、プライベートクラウドは、プライベートなネットワークを用いる。ネットワークのセキュリティの点から、クラウドコントローラと計算プール間の通信は、外部からのアクセスと閉じておく必要がある。また、共有ストレージと計算プールの間の速度を保つ必要から、ストレージのアクセス以外のトラフィックを排除するためにも、プライベートネットワークとする必要がある。プライベートのネットワークは、ストレージのためのネットワークと、制御のためのネットワークを分ける方が望ましい。本来、複数のプライベートネットワークを構成する方が望ましいが、プライベートネットワークを複数用意すると物理的なケーブルの配線等が複雑になるため、CUE-Cloudでは構成をシンプルにするという点から、プライベートネットワークは1系統とした。実際の運用において、ストレージのトラフィックとそれ以外のトラフィックが競合するような場合、ネットワークを分けなければならない。

4.2. CUE-Cloudの構成

本節では、CUE-Cloudの具体的な構成について述べる。上に述べた通り、CUE-Cloudは、計算プール、共有ストレージ、クラウドコントローラを、プライベートネットワーク内に構築する。図1にCUE-Cloudの概要を示す。

まず、計算プールのベースとなるホストマシンは、ヒューレットパッカード社のProLiant

ML110 G6を用いた。今回使用したML110の基本的な構成は、CPUにインテルのCeleron G1101 (2.26GHz)、メモリが2 GByte、内蔵HDDが160Gbyte、1 Gbpsのネットワークインタフェース1個口であった。このマシンに対し、メモリを8 GByteに増やし、ネットワークインタフェースを1個口追加したものを計算プール用のホストマシンとして用意した。計算プールを、ML110、5台で構成する。想定しているサーバは4台であるが、ライブマイグレーションを可能とするため、4台+1台の構成とした。ハイパーバイザーにはXenServer 6.5 SP 1を用いた。

CUE-Cloudの計算プールに対し、共有ストレージを用意する。共有ストレージは、オープンソースのFreeNASを用いることで用意する。上記構成のML110に、FreeNASをインストールし、内蔵HDDを追加することで作成する。ML110はHDD用内部ベイを4つ持つことから、3 TByteの3.5インチHDDを4本接続しこれを提供用ボリュームとして用いる。4本のHDDは、RAID10で運用することで、6 TByteのストレージとして用いる。共有用のボリュームとは別に、FreeNASの起動用として32Gbyte程度USBメモリを用意する。ネットワークストレージは、iSCSIでXenServerにマウントする。さらに、共有ストレージを冗長構成とする。ML110で構成する共有ストレージとして、同じ構成のものを2台用意し、共有ストレージを2台構成とする。今回用意する共有ストレージを、計算プールのホストマシンがマウントし、プライマリのストレージを各マシンが共有する。共有されるボリュームに、稼働させる仮想マシンのイメージを置く。仮想マシンを稼働される共有ストレージの構成方法は、オープンソースのCeph、GlusterFS等が存在する。CephやGlusterFSを採用するとストレージに複数の計算機が必要になり、構成が複雑になる。CephやGlusterFSは大規模な共有ストレージ運用において、高い可用性が期待できるものの、規模の小さいプライベートクラウドでは、かえって運用が複雑になる。そのため、CUE-Cloudでは、運用の利便性を考え、共有ストレージの構成がシンプルになる用に1台の計算機で共有ストレージを構築できるFreeNASを用いることにした。

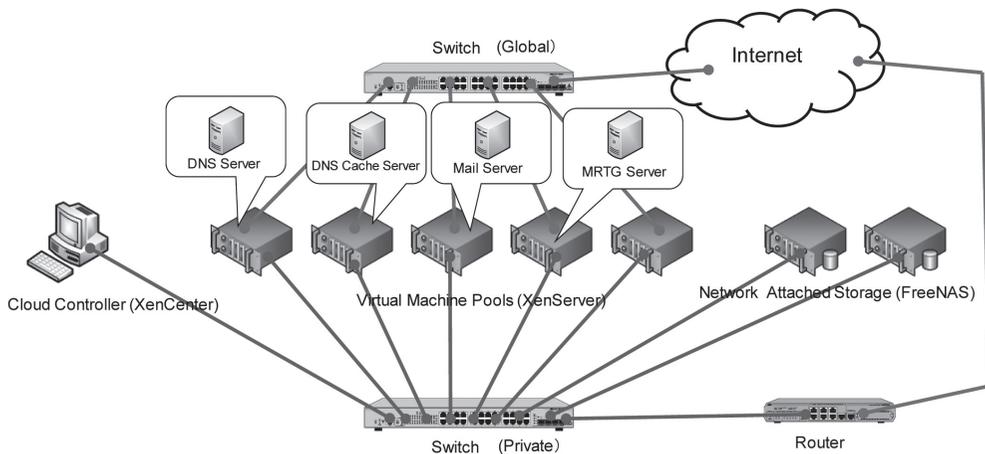


図1 CUE-Cloudの構成

クラウドコントローラには、XenCenter を用いる。XenCenter は、Windows のアプリケーションとして提供されているため、XenCenter のために標準的な WindowsPC を 1 台用意する。また、この WindowsPC では、FreeNAS の設定もおこなう。FreeNAS では、管理のために Web インタフェースが提供されているため、コントロール系のプライベートネットワークに接続されたクライアントのブラウザ経由で管理をおこなうことができる。

今回、CUE-Cloud を構成する各 ML110 は、1 G のネットワークインタフェースを 2 つ持つ。CUE-Cloud は、プライベートネットワーク内で、構成する。各仮想マシンは、外部へのネットワークへのアクセスも必要である。そのため、計算プールのホストマシンの ML110 は、2 つあるネットワークインタフェースの片方をクラウドのコントロールとストレージ用のプライベートネットワークに、もう一方を外部へのサービス提供用のアクセスとして用いるために使用する。

4.3. CUE-Cloud の運用

2015 年度に大学開放実践センターでは、それまで運用してきた 4 台のサーバを、CUE-Cloud での運用へ移行することを目指している。2016 年 1 月現在、CUE-Cloud を部分的に構築し、CUE-Cloud の運用を始めた。計算プールとして 5 台の ML110 に XenServer をインストールし構成した。この 5 台の ML110 をプライベートネットワークに接続している。XenServer は、プライベートネットワークに接続した WindowsPC 上の XenCenter からコントロールしている。なお、共有ストレージは、2015 年度内に準備する予定であるものの、2016 年 1 月の時点では稼働していない。各ホストマシンは内蔵ストレージ上に、ハイパーバイザーのシステム領域と、仮想マシン用の領域を用意し、運用している。そのため、ライブマイグレーションはできない。

計算プールのホストマシン上の仮想マシンとして、4 台のサーバは稼働している。DNS サーバ、DNS キャッシュサーバ、メールサーバ、ネットワーク監視サーバの運用を、2015 年の年末にそれまでのサーバから CUE-Cloud へと以降したが、一ヶ月程度、サーバの運用を監視した結果、仮想マシンが停止する、あるいはホストマシンが停止するような致命的な問題は発生していない。基本的に、サーバの運用上問題は出ていない。このまま、運用を継続できるものとする。共有ストレージの整備が完了していないため、CUE-Cloud の性能について完全な評価は困難であるものの、可用性は高まったと考える。コールドマイグレーションによる、イメージのコピーにより、仮想計算機の移動は、可能であり、また、仮想マシンのイメージのバックアップも可能となった。早急に共有ストレージの整備を進める予定である。

5. おわりに

本稿では、徳島大学大学開放実践センターで構築したプライベートクラウド、CUE-Cloud について述べた。大学で構築するプライベートクラウドの必要要件について検討し、CUE-Cloud のデザインについて述べた。次に、CUE-Cloud の構成について述べた。今回、我々が構築した CUE-

Cloud は大学に求められるプライベートクラウドの機能を実現したものだと考えている。2015 年 12 月より、部分的に運用を開始した。運用の結果についても述べた。その結果、CUE-Cloud は概ね想定された性能を示している。我々の検討したプライベートクラウドのデザインは、妥当なものであったと考える。

一方で、大学の規模や、組織の構成は多様であり、実際のプライベートクラウドの構成も、単純に整理出来るものではない。本稿では、我々はプライベートクラウド構築の概要を示したが、具体的な事例に落とす段階で、個別のケースへの対応が必要になる。個別の事例ベースの知見を蓄積し、検討することで、今回示したデザインが一層洗練されたものとなると思う。今後、各種の事例の蓄積に努めていきたい。また、一層の CUE-Cloud の検証を進める予定である。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省より科学研究費補助金（基盤研究（C）：課題番号 25350333）の補助を受けた。

参考文献

- [1] 寺元生, 戸川聡, 松浦健二, 光原弘幸, 金西計英, “大学間アカデミッククラウドでの学習環境の BCP の実現と検証,” *大学 ICT 推進協議会 2012 年度年次大会論文集*, pp. 170–171, 2012.
- [2] 金西計英, 戸川聡, 松浦健二, “e ラーニングシステム間のデータ連携について,” *日本教育工学会第 29 回全国大会講演論文集*, pp. 687–688, 2013.
- [3] 金西計英, 松浦健二, 高橋暁子, 戸川聡, “高等教育機関における教育システムのためのプライベートクラウドの構築,” *教育システム情報学会第 39 回全国大会講演論文集*, pp. 143–144, 2014.
- [4] 戸川聡, 金西計英, “プライベートクラウド連携による LMS 減災フレームワークの構築,” *教育システム情報学会第 39 回全国大会講演論文集*, pp. 145–146, 2014.
- [5] 金西計英, 戸川聡, 松浦健二, “エージェント方式による Web サービス間のデータ同期の検討,” *日本教育工学会論文誌*, Vol.38, pp. 121–124, 2014.
- [6] 金西計英, 松浦健二, 高橋暁子, 戸川聡, “高等教育機関におけるクラウドを活用した教育環境の活用,” *教育システム情報学会第 40 回全国大会講演論文集*, pp. 91–92, 2015.
- [7] 戸川聡, 金西計英, “大学間インタークラウドによる LMS 減災フレームワークの構築,” *教育システム情報学会第 40 回全国大会講演論文集*, pp. 93–94, 2015.
- [8] 戸川聡, 金西計英, “プライベートクラウド連携による e-Learning 減災フレームワークの構築,” *日本教育工学会第 31 回全国大会講演論文集*, pp. 657–658, 2015.
- [9] 横山重俊, 桑田喜隆, 吉岡信和, “アカデミッククラウドアーキテクチャの提案と評価,” *情報処理学会論文誌* Vol. 54, No. 2, pp. 688–698, 2013.

- [10] 高野了成, 中田秀基, 竹房あつ子, 柳田誠也, 工藤知宏, “ インタークラウドにおける仮想インフラ構築システムの提案, ” *情報処理学会研究報告*, Vol. 2013-OS-124, No. 5, pp. 1-8, 2013.
- [11] 村田祐一, “ インタークラウド技術の動向, ” *信学技法*, Vol. IN2011-111-346, pp. 19-24, 2011.

ABSTRACT

With the development of cloud technology, information systems of higher education are moved to the cloud from an on-premises. On the other hand, it is to progress for construction of the private cloud to become a small-scale-wise. We believe that the spread of the private cloud advances in university. However, the construction of the private cloud that combines of various techniques is not easy. At Center for University of Extension, Tokushima University, we decided to build a private cloud from the need to update the server. In this paper, we consider the way of private cloud building in the university. It describes the private cloud that we actually build. About one month, this private cloud is used. The results of trial, availability of private cloud have been found to be high.