

氏 名 横山 重俊

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1605 号

学位授与の日付 平成25年3月22日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 アカデミックコミュニティクラウドアーキテクチャに関する研究

論文審査委員 主 査 准教授 吉岡 信和  
教授 山田 茂樹  
教授 漆谷 重雄  
教授 合田 憲人  
客員准教授 石川 冬樹

## 論文内容の要旨

近年、クラウドコンピューティングは、運用性、高信頼性、計算効率、柔軟性の高さにより、大学や研究機関など学術界でも活用が期待されている。例えば、予め教育や研究の標準的な環境をクラウド基盤サービス上に構築しておくことにより、必要な時に必要な環境が迅速に準備でき、その運用性を高めることができる。また、研究の実験環境として構築されたマシン環境を、スナップショットとして保存することにより、環境の再利用性を高め、研究の効率化が望める。さらには、大学や研究機関で個別に構築されているアカデミッククラウドが連携し、お互いの持っている機能やリソースおよびデータを共有することにより、突発的なリソース増強や災害時への対応を相互協力を実現しようという、アカデミックコミュニティクラウドとして機能する仕組みが求められて来ている。

各大学や研究機関でクラウドの柔軟性を活用した IT 基盤の構築が個別に始まっている。これらのクラウドはそれぞれの機関の事情によりサイズやアーキテクチャが様々でヘテロなクラウドの集まりとなっている。アカデミックコミュニティクラウドは、これらの大学や研究機関で個別に構築されているアカデミッククラウドが連携し、お互いの持っているリソースを連携させることにより、突発的なリソース増強や災害時への対応を相互協力を実現しようという、アカデミックコミュニティの連邦型のクラウド連携である。従来、大学や研究機関が独立にプライベートクラウドを運営することでは限界のあった上記のユースケースに対応するために必要なリソース不足を、コミュニティとして解消しようとする試みである。クラウド上のアプリケーションは、自ら様々なモニタリングをすることで、必要に応じ、クラウド基盤が持つインタフェースを使って動的にリソース変動させることができる。例えば、アプリケーションへのトラフィックの変動へ自ら柔軟に対応できる。既存研究によってアプリケーションを構成するプログラムを動的にクラウド上の仮想マシンに配備する手法が有効であると示されている。

本研究では、こうしたアプリケーションをクラウド型アプリケーションと定義する。既存クラウド連携機構は、クラウド型アプリケーションが本来のプライベートクラウドのリソース不足により他のプライベートクラウドのリソースを活用する際に以下の二つの問題がある。

問題 1：クラウド型アプリケーションに様にクラウド基盤を活用する場合、他クラウドと連携するためには、クラウド基盤間の API 差を吸収し、さらにネットワーク接続をアプリケーション個別に構築するなどプログラマにアドホックな実装を強要する。その結果、汎用性の低いプログラムとなってしまいうため、クラウド型アプリケーションの継続的な保守を困難にする課題がある。

問題 2：クラウド型アプリケーションが別のプライベートクラウドにマイグレーションする必要がある場合、マイグレーション先のクラウド基盤でのマシンイメージの起動のためには、マシンイメージの変換後、そのマシンイメージをネットワーク経由で転送とマシン

イメージ登録を実施してからマシンイメージ起動を実行する必要がある。マシンイメージはそのサイズが大きいためその変換や転送に要する時間を許容できない場合がある。

問題1や問題2を引き起こさない方策として、クラウドの標準化（クラウド基盤 API やマシンイメージフォーマット）やフェデレーションポータルによるマルチクラウドサポートが叫ばれて長い間、それぞれの要求に沿うための仕様は膨大となり、実装が伴った実用的なクラウド連携に適用されている標準は現在のところ存在しない。従って、実現性と有効性の両方を満たすクラウド連携方法がないためアカデミックコミュニティクラウドを構築する上で重要なクラウド連携が進まないという課題を抱えている。

一般のクラウド連携の実現のためには、既存のパブリッククラウドやプライベートクラウド間を接続するネットワークについての特定の前提条件を設定できないため、インターネット経由での接続を前提としてアプローチにならざるを得ない。インターネット上にそれぞれ VPN を構成してクラウド接続するのが一般的な方法となっている。従ってクラウド連携のために VPN 接続レベルのネゴシエーションプロトコルや、それを經由してリソース要求する場合のネゴシエーションプロトコルなど各レイヤのネゴシエーションをクラウド基盤種対毎に実施できる必要がある。クラウド基盤種対毎での対応では、そのコストが増大するので、そのコスト削減のために、クラウド連携に必要なプロトコル仕様の標準化や、クラウド連携ポータルのようにハブ機能側でクラウド基盤種に依存する差分を吸収するなどのアプローチが取られている。上述のように前者は実現性に課題があり、後者は有効性に課題があるため、現在まで有効性の高いクラウド連携が実現できていない。あるいは現実路線として、ハイブリッドクラウドのように一つのプライベートクラウドとパブリッククラウド連携という限定した実現のレベルにとどまっている。コミュニティクラウド形成の主な目的であるプライベートクラウド間の連携によるリソース融通を達成する実現性、有効性ともに高い方法が存在していない。

一方、アカデミックコミュニティクラウドと適用対象を限定した場合は、連携対象となるアカデミッククラウドが SINET に接続されているという前提が成り立つため、SINET の持つ機能である L2VPN/VPLS 機能を使うアーキテクチャが適用可能である。今までのクラウド連携ではネットワークに対する前提条件が置けなかったため L2 接続によるクラウド基盤の延伸というクラウド連携手法は取れなかった。また、管理主体が異なるサービス間の認証をフェデレーションするアカデミックコミュニティで利用されている認証基盤「学認」によるサービス連携を実現できる。

アカデミックコミュニティに限定することで、利用広域網である SINET のネットワーク機能や認証基盤機能を用いた新しいアプローチを適用し、そのアプローチに従ったアーキテクチャを提案できる。適用範囲を限定し、その範囲で使える機能を前提とした、今まで一般的な適用範囲では取れなかったアプローチとアーキテクチャを提案し、その実現性や有効性を評価することに意味がある。

本研究では、特にアカデミックコミュニティが持つ先進的な利用環境に着目し、それら

の環境を活用した、アカデミックコミュニティクラウドに適用可能な新しいアプローチとクラウド基盤アーキテクチャを提案する。

既存のアプローチがクラウド基盤の管理主体とそれを実行するハードウェアの管理主体が同一であると言う前提を持ち、連携時にすでに存在する既存のクラウド間の連携を対象にしていることに、それらのアプローチが持つ課題の源泉があることに着目する。どちらもすでにあるクラウド基盤間をつなぐための接続部分を作る困難さが課題のもととなっている。

既存のクラウド間をクラウド基盤の管理主体とそれを実行するハードウェアの管理主体を分離し、オンデマンドで必要な場所にハードウェアを確保し、その上にクラウド基盤を動的に構成可能とするアプローチを取る。このことで、各クラウドが必要に応じて拡大したり、移動したりできるようになり、クラウドの標準化やフェデレーションを必要とせず、クラウドがそのままのクラウド基盤 API やマシンイメージフォーマットを維持したまま、拡大、移動するためアカデミックコミュニティクラウド内でのクラウド型アプリケーションが走行できる継続的な実行が実現できる。このアプローチに従って、広域網の持つ L2VPN 機能を活用することで動的に構成するクラウド基盤を広域網上で動的に拡張できる仕組みを基本としたクラウド連携アーキテクチャを提案し具現化した。

クラウド連携アーキテクチャは地域分散しているインタークラウド基盤センタ内にあるベアメタルマシンを動的にクラスタ化して、その上にクラウド基盤を自動構築することを Cluster as a Service と呼ぶ Web サービスとして提供する部分と、それらのクラウド基盤から共有される地域分散型のオブジェクトストレージサービスから構成される。Cluster as a Service を用いることで SINET を経由してベアメタルマシンを自分の持っているクラスタに L2 レベルで延伸できる。ベアメタルマシンが扱えることの重要性は、本提案アーキテクチャにおいてはクラウド基盤を広域に L2 網で拡張することが重要である。このクラウド基盤では通常 Hypervisor によるサーバの仮想化技術を活用する。この際、各種仮想化技術を各クラウド基盤用を実現するためには、仮想化の上の仮想化ではなく、ベアメタルからの仮想化である必要があることにある。また、アカデミックコミュニティでは性能評価の際などにベアメタルを直接使いたいと言う要求もあるので、その要求に応えることもできる。

このことで、実現性と有効性の高いクラウド連携が実施できることをアカデミックコミュニティクラウドに関するプロトタイピングにより検証した。

## 博士論文の審査結果の要旨

本論文は、複数の大学のクラウドを連携させることにより、アカデミックコミュニティ内でのリソース利用を効率化させるための、新しいインタークラウド基盤の提案である。現状、インタークラウド基盤の構築にあたって、クラウド技術の標準化によるアプローチか、クラウドフェデレーションポータル構築によるアプローチが取られる一般的である。しかしながら、これらは技術革新が続いているクラウド分野での標準化の難しさや、個々のクラウドの特徴を活かした柔軟性に欠けるといった課題があった。そこで、本論文では、クラウド連携の要請がある度にオンデマンドに必要なクラウドを必要な場所に必要な構成で構築するアプローチをとったインタークラウド基盤を提案している。

第1章では、アカデミック領域におけるクラウドの重要性とクラウド連携の現状等、本研究の背景について述べている。そして、本研究の目的を明確にするとともに、本アプローチと従来のアプローチの比較の概要を述べている。

第2章では、アカデミックコミュニティにおけるクラウド基盤連携に関する代表的なユースケースについて述べている。具体的には、研究プロジェクトの実験のために急激な負荷増加に対する性能を保証したい場合や災害の対応など5つのユースケースを詳細に述べている。

第3章では、それらのユースケースを満足するための本研究で想定すべき環境と事例を取り上げ、本研究で想定するアカデミックコミュニティクラウドの要求を整理している。

第4章ではクラウドコンピューティングの研究分野とその分野における動向と本研究の関連研究を述べている。具体的には、クラウド標準化のアプローチとして、日本のグローバルクラウド基盤連携技術フォーラムの活動や欧州のRESERVOIRプロジェクトの活動などを紹介している。そして、クラウドフェデレーションによるアプローチとしてDelta cloudやScalrを紹介し、それらの従来手法の課題を個々に述べている。

第5章では、従来のアプローチに対するアーキテクチャをクラウド連携の観点で特徴を整理し、それぞれの課題を明確にしている。そして、これらの課題を解決する新しいアプローチのアーキテクチャのコンセプトを述べている。最後にインタークラウド基盤に必要な6つの要求条件を述べ、その条件により2章で述べたユースケースがどのように実現できるかを示している。

第6章では、この要求条件を達成するためのインタークラウド連携基盤アーキテクチャを提案している。このアーキテクチャでは、クラスタをオンデマンドで提供できるサービス(Cluster as a Service)とインタークラウドオブジェクトストレージサービスによって、クラウド連携を実現する。本章では、その詳細な機能について説明している。

第7章では、本アーキテクチャの有効性と実用性を検証するために構成したプロトタイプについて説明している。また、そのプロトタイプにより実験した性能等の結果が紹介さ

れ、個々の機能の実現可能性と有効性があることが示された。

第 8 章では、提案アーキテクチャ全体として実現性と有効性を評価している。具体的には実現への道筋とそのコストに関して従来アプローチと比較し、提案手法がもっとも実現性が高いことを述べている。有効性に関しては、第 2 章で整理したユースケースの観点で、有効性を高いアプローチであることを確認している。

第 9 章では、本研究を通じて得られた知見をまとめると同時に、提案手法の有効性および限界について整理している。

最後の第 10 章で本研究をまとめ、本論文を結んでいる。

申請者は、以上の研究成果を、ジャーナル論文（情報処理学会論文誌）1 件、査読付き国際会議 4 本などにまとめている。本論文の提案内容は、新規性・有効性・信頼性において十分であると判断でき、学術的にも社会的にも価値があり、博士の学位論文として十分であるものと認められる。

さらに口述による試験を実施した結果、申請者はその博士論文を中心としてそれに関連がある専門分野及びその基礎となる分野について博士（情報学）の学位の授与に十分な学識を有するものと判断し、合格と判定した。