

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 28 日現在

機関番号：36101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501229

研究課題名(和文) 学習環境の減災と継続性確保のための大学間プライベートクラウド連携機構の構築

研究課題名(英文) Construction of a Disaster Recovery Framework for the Educational Assistance Environment using Private Cloud Collaboration

研究代表者

戸川 聡 (TOGAWA, SATOSHI)

四国大学・経営情報学部・准教授

研究者番号：20399166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地震など災害時における教育支援システムの減災フレームワーク構築を目指した。特に、LMSや統合認証システムが大学における重要な学習基盤の地位を確立した現在、災害によるシステムや学習履歴の喪失は、大学運営の根幹に支障を与える。本研究は大学コンソーシアムなどを想定したプライベートクラウド連携の枠組みにより、学習環境減災フレームワークを構築した。プロトタイプシステムによる実証実験とその評価から、我々が提案する学習環境減災フレームワークは、一定の有効性を持つことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to provide a disaster recovery framework for the educational assistance system. Especially, these educational assistance system such as Learning Management System including the learning history has an important position for sustaining learning and teaching activity on the universities. During the research period, we build the disaster reduction and recovery framework for LMS based on private cloud collaboration. And, it is confirmed that our prototype system has an effectiveness related with disaster recovery against the natural disaster.

研究分野：教育工学

キーワード：e-ラーニング プライベートクラウド連携 システム減災 LMS 教育工学

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した東日本大震災は、東北地方を中心に甚大な被害をもたらした。特に津波による被害は、生活基盤そのものに壊滅的な損害を与えた。また、国によると、東南海・南海地震は、今後30年以内に60%以上の確率で発生するとされている。災害に対する備えは必要不可欠である。これは大学などの教育機関においても例外ではない。

一方、大学の情報化は急速に進んだ。Moodle等のLearning Management System (LMS)機能を有する教育支援システムが一般的に用いられるようになり、Moodle等のLMSをはじめとするe-Learning環境は一般的に用いられている。また、これまでのLMSに加え、Learning ePortfolio、Teaching ePortfolio、キャンパスポータルなど、様々な教育支援システムが運用されている。大学間におけるe-Learning実施環境において、特に利用者認証分野で連携が進んできた。Shibbolethを基盤とする認証連携も導入されつつある。今日の大学における教学活動は、これら教育支援システムの存在なくして、円滑な活動推進は困難といえる。

当時、Infrastructure as a Service (IaaS)を中心とする多くのサーバ仮想化技術が提案されつつあった。その技術の中核をなすHypervisorにおいても、Xen、KVM、Hyper-Vなど、多くのベンダーやグループがそれぞれの独自性や優位性を主張する段階であり、相互運用性が議論される状況ではなかった。これらの状況でも、サーバ仮想化を中心とするプライベートクラウド環境の活用が模索されていたが、その多くは大量の仮想計算機を用いた膨大なデータの分散処理分野への適用であり、教育支援システムも含むシステムの減災を目的とする適用事例は見られなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、教育支援システムを対象としたシステム減災フレームワークの構築を目指した。また、提案するフレームワークの有効性を明らかにすることを目的とした。特に、MoodleなどLMS環境を対象としたシステム減災の枠組み構築を目指した。研究背景でも述べた通り、教育支援システムを対象としたシステム減災の枠組みは提案されておらず、被災時における大学教学活動の持続可能性を担保するため、必要な取り組みである。また、対象とするLMSは従来からのシステム構築の枠組みである、LAMP環境(Linux, Apache, MySQL, PHP)を基盤とするものであり、従来型のシステム構築手法で作成されたWeb基盤システムのシステム減災を考える上でも、有用な示唆を与えることができると考えられる。

一方、サーバ仮想化やストレージ、ネットワークの仮想化を基盤技術とした、クラウドコンピューティング技術の普及、発展により、

従来型手法で構築されたシステムの仮想化も、現実的な選択肢として捉えることが可能となった。無論、LMSなどの教育支援システムにおいても、設計段階からクラウド環境を想定し、システム設計と構築を行うことが望ましい。しかしMoodle等、従来型手法で構築されたLMSを、そのままクラウド環境で稼働させることも困難である。このため、従来型手法で構築された教育支援システムを、クラウド基盤を如何に適用すれば、システム減災の枠組みとして機能させられるかに焦点を絞り、その最適な構築論を見いだすことを目的とした。

さらに、システムの減災を考えた場合、単一組織に構築されるプライベートクラウド環境のみでは、被災時における教育支援環境の維持は難しい。このため、各組織に構築されるプライベートクラウド環境を連携させ、その上で稼働する仮想化された教育支援システムの分散配置を実現することで、教材コンテンツと学習履歴の保持とシステム運用の持続可能性を担保できるよう、減災フレームワークの確立を目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、提案する教育支援システムの減災フレームワークを実現するため、当時主流となりつつあったクラウドコンピューティング技術の適用と最適化によるアプローチを採用した。特に、各組織で構築されるプライベートクラウド環境を連携させ、仮想化された教育支援システムを複数のプライベートクラウドに分散配置することでシステム減災を実現することとした。

これを実現するため、大きく「データ分散配置機構」「仮想システム配置機構」「名前空間管理機構」からなるシステム減災フレームワークを設計、実装し、プロトタイプシステムを用いた実証実験にて、提案するフレームワークの有効性を検証した。

研究期間の初年度は、基盤となるシステム減災フレームワークを設計した。特に、教育支援システムに求められる要件を明らかにし、これに最適化されたシステム減災フレームワーク設計に注力した。また構成要素であるデータ分散配置機構を実現するための技術サーベイと、当該機構の技術的検証のためのプロトタイプ構築をおこなった。

2年目は、プロトタイプとして構築したデータ分散配置機構を基盤として、仮想システム配置機構の設計と実装をおこなった。仮想化された教育支援システム(バックエンドデータベースを含むLMS)は、連携されたプライベートクラウド環境上で稼働する仮想マシンとしてとらえることができる。このため、被災時のライブマイグレーションを実現するとともに、利用者からの参照情報となるURLとの整合性を確保できるようフレームワークを拡張した。

研究期間の最終年度は、これまで実施して

きたプロトタイプシステムでの実証実験の結果をシステム減災フレームワークの設計と実装にフィードバックし、フレームワークとしての機能向上をおこなった。また、災害発生時のイベントをトリガーとする教育支援システムのライブマイグレーション起動をシステム減災フレームワークに組み込み、災害発生情報と連動した、即応性を有するフレームワークとなるよう、減災モデルの洗練をおこなった。なお、最終年度には、これまで得られた研究成果を、国内外の学会などを通じて成果発表をおこなった。

#### 4. 研究成果

##### (1) プライベートクラウド連携によるシステム減災フレームワークの開発

我々が構築した、システム減災フレームワークの概念を図1に示す。

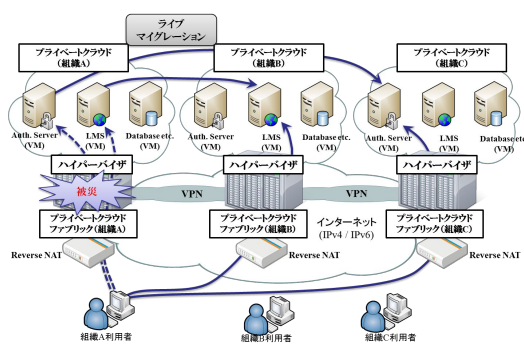


図1 システム減災フレームワーク

本研究で提案したプライベートクラウド連携によるシステム減災フレームワークは、各組織に構成されるプライベートクラウドファブリックを基本的な構成要素とする。プライベートクラウドファブリック間は、インターネット上に構築した仮想ネットワーク（VPN）で相互に接続され、全体として単一のプライベートクラウドとして動作するよう設計した。

ここで、例えば組織Aが何らかの災害に被災したとする。組織Aで稼働する認証サーバ、LMS等から構成される教育支援システムは、連携する他組織のプライベートクラウドファブリックへライブマイグレーションされる。これにより、一時的に他組織のプライベートクラウドファブリックで稼働する組織Aの教育支援システムの運用継続性が担保される。また、システムのライブマイグレーションに同期し、リバースNATのIPアドレスエントリを更新することで、組織A利用者からのシステム到達性を確保した。平常時において、各組織の教育支援システムは仮想マシン化され、それぞれのプライベートクラウドファブリック上で稼働する。同時に、仮想化されたサーバイメージ（VDI: Virtual Disk Image）は、連携する他組織のプライベートクラウドファブリック上にも保持される。このため、被災時におけるライブマイグレーションが失敗したとしても、最新のVDIは、他

組織と連携して運用される分散ファイルシステム上に保持されるため、他組織のプライベートクラウドファブリック上でのシステム起動が可能である。

設計したシステム減災フレームワークをもとにプロトタイプシステムを構築した。プロトタイプシステムの構成を図2に示す。

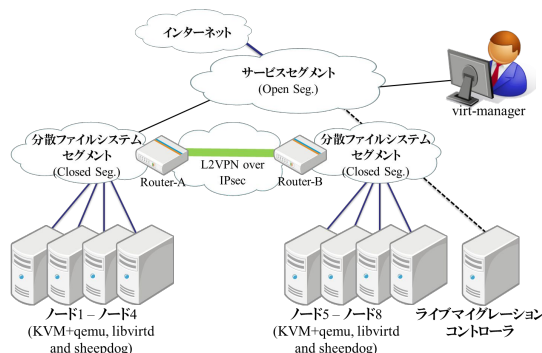


図2 プロトタイプシステム構成

本プロトタイプシステムは、プライベートクラウドファブリック群を構成するノード機と、ライブマイグレーションを制御するライブマイグレーションコントローラから成る。このプロトタイプシステムにおけるプライベートクラウドファブリックは、それぞれ4台のノード機から構成される。プライベートクラウドファブリック間は、L2TPによるLayer 2 VPNを構成し、同一のL2セグメントに収容されるようにした。

データ分散配置機構は、オープンソースソフトウェアであるSheepdog Project (<https://github.com/sheepdog/sheepdog/wiki>)の成果物を用いて構築した。Sheepdogのノードとして、VPNをまたがるノード1からノード8までをクラスタノードとして構成した。また、教育支援システムが稼働する仮想マシン実行環境として、KVM (Kernel Virtual Machine) を用いた。仮想システム配置機構は、先に述べたデータ分散配置機構と、KVM上で稼働する仮想マシンの稼働状況とライブマイグレーションを制御するライブマイグレーションコントローラから成る。この環境でLMSを導入した仮想マシンを同一プライベートクラウドファブリック内と、VPNをまたがるプライベートクラウドファブリック間でライブマイグレーションを実行した。結果を表1に示す。

表1 ライブマイグレーション時間

同一プライベートクラウド内	24.0 秒
プライベートクラウド間	25.2 秒

VPNを介したプライベートクラウドファブリック間でのライブマイグレーションは、マイグレーション時間が若干長い結果となっているが、いずれも20秒台でライブマイグレーションが完了していることがわかる。地

震などの災害発生時から、いかに素早くライブマイグレーションを開始させるかという問題は残るものの、ほぼ実用時間内でのシステムライブマイグレーションが実現可能であるといえる。また、稼働する仮想マシンのディスクイメージ (VDI) は、データ分散配置機構により、常時、連携するプライベートクラウド間に分散配置される。他組織のプライベートクラウド上に分散配置される VDI からの仮想システム起動にも成功していることから、提案するシステム減災フレームワークが正常に機能することが明らかとなった。

## (2) 緊急地震速報をトリガーとするライブマイグレーション機構の開発

これまで構築したシステム減災フレームワークでは、プライベートクラウドファブリック間でのシステムのライブマイグレーションを実現した。しかし、ライブマイグレーションにより被災時における教育支援システムの運用継続性を担保するためには、災害発生時の迅速なライブマイグレーション実行が必要である。これを実現するため、本研究では緊急地震速報をトリガーとしたライブマイグレーション起動機構を実装した。

NTT ドコモなどの携帯電話通信会社は、緊急地震速報を ETWS ( Earthquake Tsunami Warning System ) メッセージとして一斉送信している。スマートフォンなどの携帯電話端末で ETWS メッセージを受信後、ETWS での通知内容が災害に関連するものであれば、その事実をライブマイグレーションコントローラへ通知する。ライブマイグレーションコントローラは、スマートフォンから通知された警告に基づき、管理するプライベートクラウドファブリック上で稼働する仮想マシンを、他組織のプライベートクラウド環境へ移動するようライブマイグレーション実行コマンドを発行する。本機構を実装したプロトタイプシステム構成を図 3 に示す。

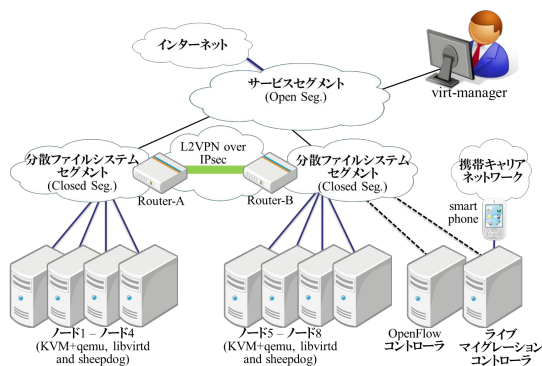


図 3 ETWS をトリガーとする  
プロトタイプシステム構成

プライベートクラウドファブリック間でのライブマイグレーション時間は、先に検証した表 1 の結果とおおむね変わりはない。し

かし、緊急地震速報と連動したライブマイグレーション起動の自動化は、被災時におけるシステム保全の確実性を向上させ、LMS など教育支援環境のシステム減災に寄与するものとする。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

- (1) Satoshi Togawa and Kazuhide Kanenishi Disaster Recovery Framework for e-Learning Environment using Private Cloud Collaboration and Emergency Alerts, Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction, 査読有, in press, 10 pages, 2015.
- (2) Satoshi Togawa and Kazuhide Kanenishi Building of a Disaster Recovery Framework for e-Learning Environment using Private Cloud Collaboration, Proceedings of International Conference on Sustainability, Technology and Education 2014, 査読有, Vol.1, pp.233-237, 2014.
- (3) Satoshi Togawa and Kazuhide Kanenishi Disaster Recovery Framework for e-Learning Environment based on Private Cloud Collaboration, Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference WWW/Internet 2014, 査読有, Vol.1, pp.387-390, 2014.
- (4) Satoshi Togawa and Kazuhide Kanenishi Private Cloud Collaboration Framework for e-Learning Environment for Disaster Recovery Using Smartphone Alert Notification, Proceedings of 16<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction, 査読有, Vol.13, pp.118-126, 2014, DOI:10.1007/978-3-319-07863-2.
- (5) Satoshi Togawa and Kazuhide Kanenishi Private Cloud Cooperation Framework of e-Learning Environment for Disaster Recovery, Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2013, 査読有, Vol.1, pp.4104-4109, 2013, DOI:10.1109/SMC.2013.700.
- (6) Satoshi Togawa and Kazuhide Kanenishi Private Cloud Cooperation Framework for Reducing the Earthquake Damage on e-Learning Environment, Proceedings of 15<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction, 査読有, Vol.2, pp.503-510, 2013, DOI:10.1007/978-3-642-39262-7.

〔学会発表〕(計3件)

- (1) 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, 和歌  
山大学(和歌山県和歌山市), 2014年9  
月11日.
- (2) 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, 和歌山大学(和歌山県和歌山市),  
2014年9月11日.
- (3) 金西計英, 戸川聡, 松浦健二,  
e-Learning 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,  
秋田大学(秋田県秋田市), 2013年9月  
20日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

戸川 聡 (TOGAWA SATOSHI)  
四国大学・経営情報学部・准教授  
研究者番号: 20399166

### (2) 研究分担者

金西 計英 (KANENISHI KAZUHIDE)  
徳島大学・大学開放実践センター・教授  
研究者番号: 80204577

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: