DTN をベースとしたモバイルクラウド型災害情報共有システムに関する研究

菊池瑶介 [1]　柴田義孝 [2]　内田法彦 [3]

日本は災害多発国である．近年ではそれらに備え，Web ベースの災害情報システムが提供され，災害発生後の迅速な情報共有に役立っている．また，現在はクラウド技術が徐々に普及し始め，サーバの運用・保守にかかるコストの削減や，必要に応じたサーバの増設などが可能であり，Web システムを運用する上で多くのメリットが存在する．

本稿では，サーバ群の障害や急激な負荷変動にも柔軟に対応可能で，かつモバイル端末においても高い操作性，機能性を得られる災害情報システムを提案する．先行研究のシステムをクラウドサーバ上に配置し，複数の自治体に対してそれぞれ必要に応じてサーバ資源を動的に配分できるようにする．また，被災地情報共有システムにおいてはスマートフォンやタブレット端末といったモバイル端末に向けてシステムを最適化し，Web-GIS に依存せずに電子地図ベースでの情報の登録，閲覧を実現させる．

1. はじめに

我が国はその地理的条件から，災害が発生しやすい環境に置かれている．特に地震による被害は大きく，2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では甚大な被害を受け，広域にわたる通信インフラの欠損，輻輳が発生した．近年ではこのような事態に備え，Web ベースの災害情報システムが提供され，災害発生後の情報収集，安否確認，意思決定・対応の迅速化に大きく貢献している．また，災害情報システムを導入する自治体が増加していることから，重要性はさらに高まるものと考えられる．

現在はビジネスの効率化のため，クラウドサービスを導入しているユーザが増加している．クラウドサービスにより，ハードウェア・ソフトウェアの購入，導入・設定，メンテナンスといった一連の工程をデータセンタで一括管理することが可能である．また，ユーザ自身が物理的なサーバを持つ必要が無くなるため，システム運用にかかるコストの削減につながる．また，仮想化技術を利用することで，ユーザ自身によるクラウド基盤を構築し，プライベートクラウドの導入が可能となる．このように，クラウドサービスは Web システムを運用する上で多くのメリットが存在する．

一方，筆者らはこれまでに，大きな遅延，頻繁にリンクが切断するような環境においても，バックグラウンドでネットワークを監視し，データを送信可能な時に送信するといった機能を持つ移動通信環境を考慮した分散型災害情報共有システム [1)]の研究を行ってきた．しかし，このシステムはサーバに対する急激な負荷変動や障害を考慮していないといった問題がある．

災害時にシステムを運用する場合，外的要因（地震，津波など）によるサーバ，ネットワークの障害やサーバに対する負荷の集中といった点を考慮したネットワークが必要である．

また，被災地情報提供システム [2)]においては，スマートフォンやタブレット端末では地図操作が正常に行えない点や，Web-GIS と通信できない状況では地図ベースでの情報の登録，閲覧ができないという問題がある．また，現在の設計ではクライアントとして主に PC と携帯電話を想定している．近年，スマートフォン，タブレットが普及しており，これらは従来の携帯端末と比較して非常に操作性が高い．このメリットを存分に活かすため，これらの端末に向けたシステムの最適化を行うことが必要であると考えた．

本研究では，大規模災害を考慮したクラウド型災害情報共有システムの構築を目的とする．先行研究のシステムを動作させるためのクラウド基盤を構築し，サーバ群の障害や急激な負荷変動にも柔軟に対応できるようにする．また，複数の自治体に対して必要に応じてサーバ資源を動的に配分できるようにする．これにより，システムのリスク分散，災害の状況に応じたサーバ構成の動的な負荷分散制御を実現させる．

被災地情報共有システムでは，スマートフォン，タブレット端末での利用も想定した上でシステムの最適化を行うことで，被災地などでシステムを容易に利用できるようにする．また，Web-GIS に電子国土と Google Maps を併用できるようにし，必要に応じて切り替えられるようにすることで，Android 端末における可用性を高める．さらに，地図情報をあらかじめキャッシュする機能を付加し，不安定な通信環境下ではキャッシュした地図データを利用できるようにする．これにより，通信環境にかかわらず電子地図ベースでの情報提供を実現させることを目的とする．

2. 先行研究と問題点

2.1 移動通信環境を考慮した分散型災害情報共有システム [1)]

これまでの先行研究のシステムでは，サーバに DTN ア

1 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科
Graduate school of Software and Information Science, Iwate Prefectural University Graduate School
2 岩手県立大学ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University
3 埼玉工業大学人間社会学部
Department of Informational Society Studies, Saitama Institute of Technology

© 2013 Information Processing Society of Japan

ーキテクチャを適用したことで，大きな遅延，頻繁にリンクが切断するような環境においても災害情報システムの動作を実現している．バックグラウンドでネットワークを監視し，データを送信できるときに送信する機能を持つ．また，自治体毎に設置された災害情報サーバ間で円滑な情報共有が可能である．しかしながら，サーバに対する急激な負荷変動や障害を考慮していない，サーバの構築，維持・管理にコストがかかるといった問題点が挙げられる．また，不安定な通信環境下ではテキストベースで情報が提供されるため，地理情報やマルチメディア情報などを視覚的に確認できないなどの問題があった．

2.2 統一的な時系列表示を可能とする災害情報共有システム [2)]

電子地図上に被災地情報を重ねて表示することにより，視覚的に分かりやすく情報を確認することが可能である．また，登録する情報の種類によってアイコンや図形を使い分けることで，どのような被災地情報が登録されているか一目で判断することができる．さらに，シークバーを操作することにより，登録された被災地情報を時系列的に参照することが可能である．しかしながら，スマートフォンやタブレット端末では正常に動作しない問題がある．実際にタブレット端末でシステムの動作を確認した結果，電子地図のズーム操作が正常に行えないことが分かった．また，Android 端末での利用を考慮した場合，Google Maps との親和性が高いことから，Web-GIS には電子国土だけではなく Google Maps も併用できるようにすることが望ましいと考えた．

3. LaDIPS(Large Disaster Information Portal Site)

図 1. 被災地情報共有システムのインタフェース

被災地情報共有システムのインタフェースを図 1 に示す．電子地図上には複数のアイコンや図形が表示されており，アイコンをクリックすることで画面右側に詳細情報が表示される．また，電子地図の上部に配置されているシークバーを操作することにより，被災地情報を時系列的に参照することが可能である．

本研究ではこのシステムをクラウド基盤上で動作させる．これにより，サーバに対する負荷の分散やシステム障害に柔軟に対応できるようにする．

4. システム概要

4.1 システム概要

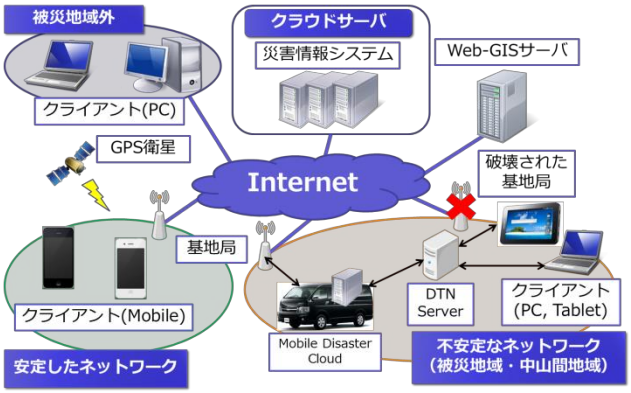

図 2. システム概要図

本システムの概要を図 2 に示す．本システムは，主にクラウドサーバ，DTN Server，Mobile Disaster Cloud によって構成されている．DTN Server は各地域に設置されていると想定する．被災地域外では，システム管理者がクラウドサーバの管理を行う．また，自治体関係者，一般ユーザに対して災害情報閲覧に特化した機能が提供される．

被災地域内で安定したネットワーク環境を持つ地域では，主にモバイルクライアントから災害情報の登録を行う．不安定なネットワーク環境を持つ地域では，Mobile Disaster Cloud を搭載した中継車が被災地域を巡回し，PC やタブレットなどのクライアントから災害情報の登録を行う．

4.2 システムの動作（通常時）

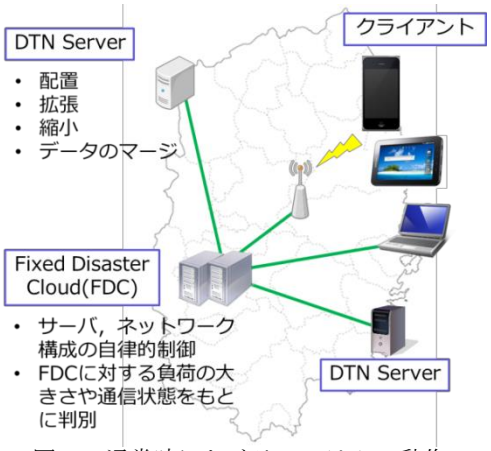

図 3. 通常時におけるシステムの動作

インターネット接続が可能な場合におけるシステムの動作イメージを図 3 に示す．この場合，DTN Server は Fixed Disaster Cloud と直接通信することが可能である．FDC にはすべてのサーバ群の情報が集約される．また，災害発生後のシステム障害やサーバに対する負荷変動に応じて，サーバやネットワーク構成を自律的に制御する．具体的には，

© 2013 Information Processing Society of Japan

最適なサーバ群の配置，拡張，縮小，データのマージといった処理を行う．これらを制御する条件として，FDC に対する負荷の大きさやネットワークの状況を想定している．

4.3 システムの動作（通信途絶時）

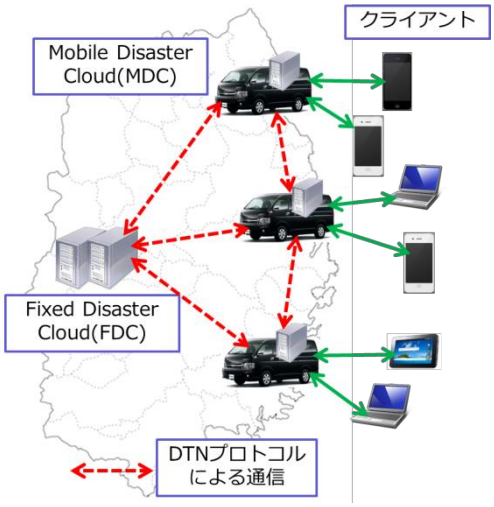

図 4．通信途絶時におけるシステムの動作

インターネットに接続できない場合におけるシステムの動作イメージを図 4 に示す．FDC にはすべての MDC に蓄積された情報が集約される．MDC には 3G, WiMAX, LTE, IEEE802.11a/b/g/n/j などの無線通信装置が搭載されている．災害発生後にサーバを搭載した中継車が被災地域を移動し，各種クライアントから被災地情報の登録を行う．MDC はインターネットに依存せずにローカルで被災地情報の登録，閲覧を行う．その後，中継車が再度被災地域を巡回し，FDC-MDC 間，MDC-MDC 間での情報の同期を行う．ここでの通信には DTN プロトコルを用いることを想定している．

5. システム設計

5.1 システムアーキテクチャ（Cloud Server）

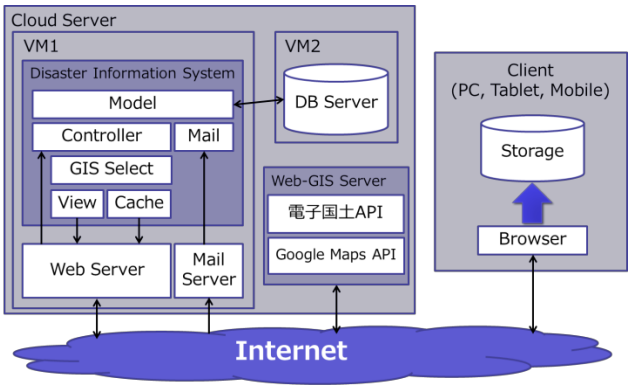

図 5．Cloud Server のアーキテクチャ

Cloud Server のアーキテクチャを図 5 に示す．本システムの機能は Cloud Server と Web-GIS Server によって提供される．クライアント端末としては PC，タブレット，スマートフォン，携帯電話などを想定している．Disaster Information System はそれぞれのサーバ間のデータの制御を行う．各モジュールの役割については次のセクションで説明する．Web-GIS Server はクライアントに向けて電子地図情報を提供する．災害情報の登録，閲覧はそれぞれのクライアントに搭載されている Web ブラウザ上で行う．

5.2 モジュール構成

Disaster Information System は 6 つのモジュールで構成される．先行研究の実装部分に加え，GIS Select，Cache モジュールを追加した．以下のサブセクションで各モジュールの役割を説明する．

5.2.1 Controller

クライアントから送信されたリクエストを解析し，Model と View を必要に応じて呼び出してレスポンスする HTML を構成する．Web ブラウザ上で本システムの機能を提供するための Controller が機能ごとに存在する．

5.2.2 Model

DB Server へのクエリの送信や，DB Server から取得したデータをクライアントへ最適な形でレスポンスするための加工処理を行う．特定の機能に特化したクラス群から構成される．

5.2.3 View

クライアントへレスポンスする HTML を生成する．レスポンス用の HTML テンプレート群から構成される．

5.2.4 Mail

モバイルクライアントによって送信された画像が添付されたメールの解析，添付された画像のアップロードを行う．Mail Server がメールの受信を検出すると，このモジュールが呼び出され，メールの添付ファイルを取得し被災地の状況を示す画像をシステムに取り込む．

5.2.5 GIS Select

システムを利用するクライアントに応じて地図データを取り込む GIS を切り替える．例えば，PC クライアントの場合は電子国土，Android を搭載したタブレット端末の場合は Google Maps というように，クライアント端末を判別して GIS を自動的に変更する．

5.2.6 Cache

Web-GIS から取り込んだ電子地図データのキャッシュを行う．システムを利用する地域の地図データをクライアントのストレージにキャッシュし，DTN Server でのレスポンス用 HTML の生成処理に用いる．

© 2013 Information Processing Society of Japan

5.3 システムアーキテクチャ（DTN Server）

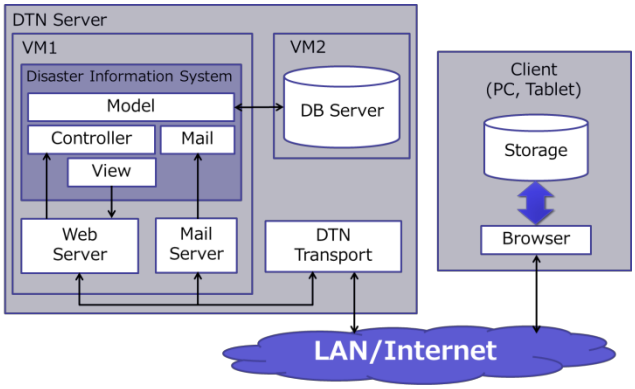

図 6. DTN Server のアーキテクチャ

DTN Server のアーキテクチャを図 6 に示す．DTN Server は Cloud Server とは異なり，Web-GIS と通信できない状況も考慮している．そのため，ネットワーク環境においてはインターネットに接続できる場合と，接続できない場合を想定する．インターネットに接続できない場合，無線 LAN を通して MDC-DTN Server 間や，DTN Server-Client 間で通信できるようにしている．DTN Transport では，通信環境が不安定な場合におけるデータの送受信や蓄積などの管理を行う．また，DTN Server における View モジュールでは，あらかじめクライアントのストレージにキャッシュした地図データを利用し，レスポンスする HTML を生成する．なお，通信が切断されている状態からインターネット接続が復旧した場合，通常通り Web-GIS を用いた電子地図ベースでの災害情報の登録，閲覧を行うことが可能である．

5.4 VM の役割

本システムでは，サーバに対する負荷を分散させるため，Computing Node 上で仮想マシンを複数作成し，サーバを機能ごとに分けている．先行研究では Web Server，Mail Server，DB Server を 1 台の物理マシン上で動作させていたのに対し，本システムでは VM1 に Web Server と Mail Server，VM2 に DB Server というサーバ構成とした．これは Web Server，Mail Server と比較して，DB Server には特に負荷が集中しやすいためである．また，複数の自治体によって利用可能とした．

また，ここで作成した仮想マシンをテンプレートとしてディスクイメージをコピーしておくことで，必要に応じて仮想マシンを作成することが可能となる．このテンプレートを使用し，動的な仮想マシンの制御を行う．例えば，一度に多数のクライアントが被災地情報の閲覧のためにクラウドサーバにアクセスを行い，一定以上の負荷が発生した場合，クラウドサーバ上で仮想マシンを自動的に追加するといったような処理を行う．

6. サーバの動作モード

6.1 Normal モードと DTN モード

災害発生直後にシステムを運用する場合，インターネット接続を安定して得られない環境を前提としてシステムを構築する必要がある．本システムでは，通信環境が良好な場合は Normal モードとして通常の情報提供を行い，通信環境が不安定な場合は DTN モードとしてインターネットに依存しない形で被災地情報と安否情報の共有を行う．なお，サーバモードの切り替えが発生するのは DTN Server のみである．Cloud Server は常にインターネット接続が得られていることを前提としているため，サーバモードの切り替えは発生しない．

6.2 DTN モード時の地図表示

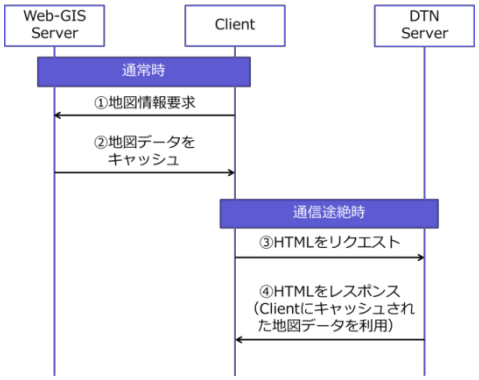

図 7. 地図情報キャッシュ機能の動作フロー

地図情報キャッシュ機能の動作フローを図 7 に示す．本システムは，地図情報キャッシュ機能により Client が Web-GIS と通信可能なとき，あらかじめ地図情報をキャッシュしておくことが可能である．本機能でキャッシュする地図データは，システムを利用する地域（市町村単位）のデータとする．これにより，劣悪な通信環境によって Web-GIS と通信できない，すなわち DTN Server が DTN モードであるとき，キャッシュされた地図データを利用することで，Normal モード時と同様に地図ベースでの被災地情報の登録，閲覧が可能である．

7. プロトタイプシステム

7.1 プロトタイプ環境

本システムのプロトタイプシステム構成を図 8 に示す．クラウド基盤環境は Management Server と Computing Node から構成される．OS に CentOS 6.4，クラウド基盤ソフトウェアに CloudStack，仮想化基盤に KVM を使用する．DTN Server や MDC に車載するノードも同様の構成となる．

© 2013 Information Processing Society of Japan

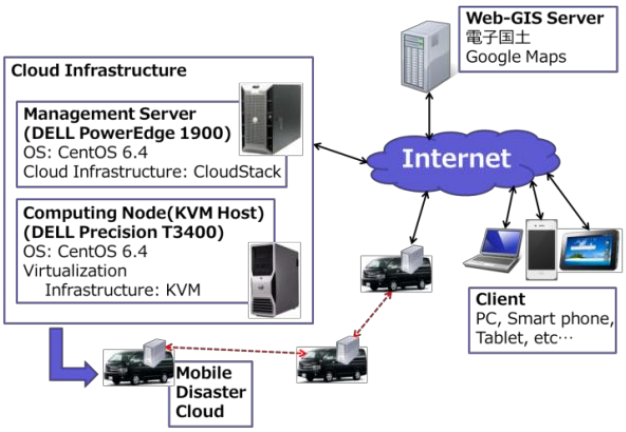

図 8. プロトタイプシステム構成

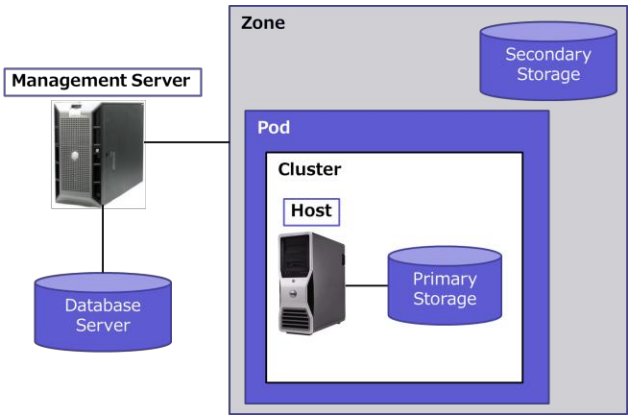

図 9. CloudStack 環境における構成要素

7.2 仮想化技術

一般的に OS の仮想化は，OS の上で仮想マシンを動作させるものと，ハードウェアの上で直接仮想マシンを動作させるものの大きく 2 種類に分類される．前者は VMWare Server や QEMU などのホスト OS 上で動作する仮想化技術である．一方，後者のハードウェア上で直接仮想マシンが動作する仮想化技術はハイパーバイザと呼ばれる．この方式では仮想化に特化した専用のカーネル上で仮想マシンが動作するため，ホスト OS のオーバーヘッドがなく，高速に動作する．

本システムでは仮想環境構築に KVM を利用している．KVM とは，Linux Kernel 自体をハイパーバイザとする仕組みで，正式名称は Kernel-based Virtual Machine である．Intel VT-x や AMD-V といった CPU の仮想化支援機能を必要とし，完全仮想化により OS の仮想化環境を提供する．

8. CloudStack

CloudStack はオープンソースの IaaS クラウドソフトウェアの一つで，Amazon EC2 のような機能を備えたクラウド基盤をプライベートクラウド，またはパブリッククラウドとして構築することが可能である．

利用実績が多く，操作性に優れた GUI を備えているため，直近でのクラウドサービスの提供やプライベートクラウド環境の構築に適している．また，ロードバランサやファイアウォールなどの機能を標準搭載し，拡張性を考慮した内部アーキテクチャを持っているといった特徴から，本システムの環境構築に最適であると判断し，クラウド基盤ソフトウェアとして CloudStack を使用することにした．

8.1 CloudStack 環境の主な構成要素

CloudStack 環境における主な構成要素を図 9 に示す．各要素の役割については次のサブセクションで説明する．

8.1.1 Management Server

CloudStack のフロントエンドを担い，ユーザ用および管理用の Web インタフェースや API を提供する．ユーザはこのサーバを介して仮想サーバの操作を行う．

8.1.2 Database Server

Computing Node や Storage Server の状態，仮想サーバの状態などを管理するデータベースである．Management Server のバックエンドとして動作する．

8.1.3 Computing Node

仮想マシンの構築に必要なコンピューティングリソースを提供する．各ノードは Zone，Pod，Cluster といったグループ内に配置する．グループについては次のセクションで説明する．

8.1.4 Primary Storage

仮想サーバが使用する仮想ディスクを保存するためのストレージ領域を Computing Node に対して提供する．

8.1.5 Secondary Storage

仮想サーバ作成時に利用するテンプレートイメージや ISO イメージなどを保存するためのストレージ領域を提供する．

8.2 CloudStack の論理コンポーネント

8.2.1 Zone

データセンタに相当し，複数の Pod と一つの Secondary Storage で構成される．

8.2.2 Pod

サーバラックに相当し，複数の Cluster から構成される．

8.2.3 Cluster

同じハイパーバイザのタイプを持つ Computing Node と

© 2013 Information Processing Society of Japan

一つ以上の Primary Storage で構成される．本システムで構築する仮想マシン群はこのグループ内に配置することを想定している．

9. 本システムにより期待される効果

災害時に利用されるシステムがおかれる状況として，主に以下の 3 点が挙げられる．

- 短時間に大量のアクセスが発生することが多い
- サーバへの急激な負荷変動が生じる
- 地震，津波などによるサーバ，ネットワーク機器の物理的な破損

これらを踏まえ，システムの仮想化（Mobile Disaster Cloud の導入）により，自治体ごとのリソースの共有，遠隔地へのリソースの配置といったように，柔軟なリソース管理を実現する．また，クラウドサーバと通信できない状況においても，MDC によって自治体ごとによる情報共有が可能となる．すなわち，インターネットに接続できない場合においても通常のクラウドのようにふるまうことが可能である．

10. 評価方法

本システムは先行研究のシステム構成とは異なり，複数の仮想サーバを構築し, サーバを機能ごとに分割している．そこで，以下の条件において被災地情報の登録，閲覧を行ったときの Web サーバ，DB サーバに対する負荷の計測を行う．

- 1 台の物理サーバ上で Web サーバ，メールサーバ，DB サーバを動作させた場合
- 1 台の物理サーバに機能ごとに分割して配置した仮想マシン上（VM1，VM2）で Web サーバ，メールサーバ，DB サーバを動作させた場合
  - VM1: Web サーバ，メールサーバ
  - VM2: DB サーバ

サーバ負荷の計測に利用するツールについては今後検討していく．

11. まとめと今後の課題

本稿では，先行研究のシステムである大規模災害情報共有ポータルサイト（LaDIPS）を動作させるためのクラウド基盤の構築を行い，サーバ群の障害や負荷変動に対する柔軟な対応, Mobile Disaster Cloud の導入による自治体間での円滑な情報共有の実現が可能であることを示した．

アプリケーションにおいては，スマートフォンやタブレット端末でシステムを利用する場合においても高い操作性, 機能性を提供できる．また，どのような通信環境においても電子地図ベースでの災害情報の登録, 閲覧が可能となる．

今後の課題として，CloudStack によるクラウド基盤を構築し, LaDIPS をクラウド上の仮想マシンで動作させるための環境構築を行う．その上で，CloudStack で構築したクラウド上に仮想マシンをどのように配置するのか検討する．システムの動作に関する部分においては，通信途絶時における FDC-MDC 間，MDC-MDC 間のデータ同期処理のアルゴリズムの検討，実装を行う．また，CloudStack のロードバランサ機能を利用し, 本システムが従来のクライアント-サーバ型の構成と比較してクラウド基盤上でどの程度負荷分散が可能であるのか評価を行う．

参考文献

1) 佐々木 豊，柴田 義孝: 移動通信環境を考慮した分散型災害情報共有システムの構築，電子情報通信学会総合大会講演論文集 2011 年_基礎・境界，"S-65"-"S-66"(2011)
2) 佐々木 豊，柴田 義孝: 統一的な時系列表示を可能とする災害情報共有システムの構築，情報処理学会第 72 回全国大会，"3-427"-"3-428"(2010)
3) 電子国土ポータル
http://portal.cyberjapan.jp/index.html
4) 日本 CloudStack ユーザー会
http://cloudstack.jp/

© 2013 Information Processing Society of Japan