

# リアルタイム分散クラウド技術の 開発

— 応答性の高いクラウドを実現するために —

奥野 通貴<sup>†1</sup> 飯島 智之<sup>†1</sup> 石井 大介<sup>†1</sup>

<sup>†1</sup> (株) 日立製作所

近年、サーバやネットワーク技術等の進展により、クラウドサービスが急速に普及し始めている。今後、クラウドは交通管制やスマートシティ、電力制御等に代表される社会インフラ分野へも利用シーンが広がると期待されるが、即時性を要するサービスではデータセンタまでの長距離通信に起因する応答性劣化を解消する必要がある。本稿では、クラウドの応答性を改善するためのリアルタイム分散クラウド技術の開発に関して説明し、実証実験によって軽量のセンサアプリケーションであればクラウドシステムでも10ミリ秒オーダーの応答性能を達成できること、オンプレミス設備も連携利用し応答性の良い小規模データセンタを構成できること、障害時のサービス継続性の効果等を示し、将来的な応用の可能性に関して述べる。

## 1. はじめに

近年、ネットワークを介してデータセンタのサーバやストレージ等のICT (Information and Communication Technology) 設備を利用するクラウドコンピューティング (以下、クラウド) が、個人ユーザによる電子メールやWebショッピング、省庁や自治体、大学、企業ユーザによるフロント業務等のノンコア業務を中心に広く普及している。今後、クラウドは、企業等でも機密情報を扱うコア業務や、さらには、交通管制やスマートシティ、電力制御等に代表される社会インフラ分野へも利用シーンが広がることが期待される [1],[2],[3]。

本稿では、こうした企業等のコア業務や社会インフラ分野にクラウドを適用する際の課題と、それを解決するための技術、実証実験による評価結果を説明し、これらの技術の将来的な応用に関して述べる。

## 2. リアルタイム分散クラウド技術の狙い

### 2.1 開発の背景と課題

クラウド以前のサーバやストレージ等のICT設備は、ユーザの拠点内、すなわち、オンプレミス環境に配置されていた。このため、アプリケーションが生じる通信の大半はLAN (Local Area Network) 内の端末間の通信となり、ユーザは、ストレスなくデータにアクセスすることが可能であった。一方、クラウドでは、サービスを提供

するICT設備がデータセンタに集約配置され、通信の大半がWAN (Wide Area Network) 経由で行われる。クラウドを利用するユーザは、ICT設備の運用管理から解放され、コスト低減を図れるが、WAN経由の長距離通信による応答性の劣化や業務に耐え得るセキュリティと信頼性の確保という新たな課題に直面する。セキュリティに関してはネットワークではVPN (Virtual Private Network) の活用やIPsec/SSL等の暗号化、サーバでは仮想化によるユーザ分離等の技術が存在するが、応答性の劣化は解消が難しい。たとえば、LAN環境では数ミリ秒未満の通信遅延が、国内のクラウド (データセンタ) では十数ミリ~数十ミリ秒、海外のクラウド (データセンタ) に至っては百ミリ秒を超える。通信遅延の増加は、ヒトが直接利用するアプリケーションでも体感品質の低下として認識され、ヒトの方から慣れる形で対応することもままある。しかしながら、10ミリ秒オーダーの応答性能を要する機器間通信を伴う高速制御システム等への利用を想定した場合には許容できなくなる。

また、企業や自治体はこれまでの設備投資でオンプレミスにICT設備を所有しているケースが多く、クラウドに移行するにしても、アプリケーションの体感品質の低下をなるべく避けたいといった要求に加え、これらのICT設備を有効活用したいといった要求、機密性の高い情報はオンプレミスのICT設備に格納したままにしておきたいといった要求等がある。

こうした背景のもと、我々はクラウドの応答性を改善

するためのリアルタイム分散クラウド技術として、即時性を要する制御システムをクラウドで実現するためのネットワーク分散処理技術、オンプレミス設備をクラウドと併用して応答性改善と業務継続性を実現するための分散クラウド技術の開発を進めてきた。

## 2.2 即時性を要する制御をクラウドで実現するネットワーク分散処理の適用対象

ネットワーク分散処理技術は、センサからのデータをリアルタイムに解析して制御情報を生成し、制御対象へ10ミリ秒程度でフィードバックするような即時性の高い制御システム全般を適用対象として想定している。こうした制御システムは、アプリケーションごとに特化した専用の制御システムを構築するのが一般的だが、インフラ構築や運用管理のコストが高い。そこで、ネットワーク分散処理を適用したクラウドによって高い即時性とコスト低減を実現するインフラを提供し、新事業創生等への波及効果を狙う。

## 2.3 オンプレミス設備と連携する分散クラウドの適用対象

分散クラウド技術は、投資済みのオンプレミスのICT設備（以下、オンプレミス設備と省略）をクラウドと併用したい企業や自治体等のユーザを適用対象として想定している。ネットワーク分散処理に、オンプレミス設備を連携利用する機能を加え、オンプレミス同等の応答性と障害時の業務継続性を提供し、ヒトが快適に利用できるクラウドの実現を狙う。

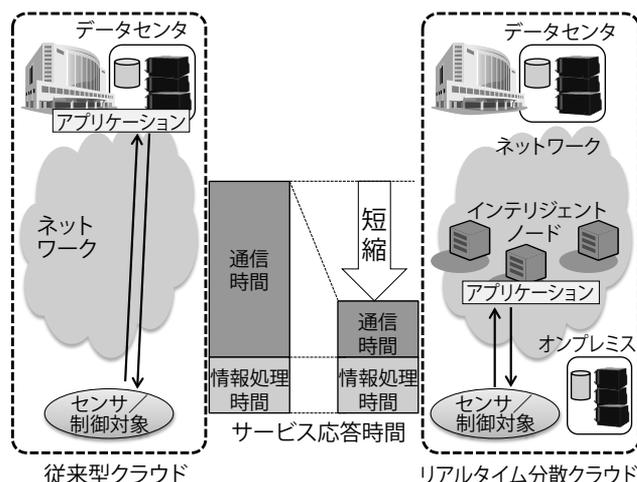


図1 リアルタイム分散クラウド技術

## 2.4 課題解決のアプローチ

一般的なクラウドの課題である応答性劣化を解決するため、我々は、図1に示すようにデータセンタ内のICT設備に加え、ネットワークの中に配置したインテリジェントノードと呼ぶ情報処理資源を用いるアプローチを採用した。緊急性の高い処理は、インテリジェントノード単体や、インテリジェントノードとオンプレミスのICT設備を連携利用して処理し、サービス応答時間の中の通信時間部分を短縮して応答性を改善する。

## 3. 技術1：即時性を要する制御をクラウドで実現するネットワーク分散処理

### 3.1 アーキテクチャ

ネットワーク分散処理を適用したクラウドシステムは、図2に示すように、蓄積型情報処理と即応型情報処理を組み合わせたアーキテクチャである。蓄積型情報処理は、データベース管理やデータマイニングのようなデータ処理にあたり、バックエンドに配した従来のデータセンタを用いて行う。一方で、即応型情報処理は、比較的軽量だが緊急性の高い情報処理をフロントエンドであるネットワーク上に分散配置したインテリジェントノードと呼ぶ情報処理資源を用いて行う。管理ノードを介してユーザ要求に沿った情報処理資源を割り当てて利用する。

### 3.2 インテリジェントノード

インテリジェントノードは、図3上部に示すように情報処理部と通信処理部を提供する情報処理資源である。

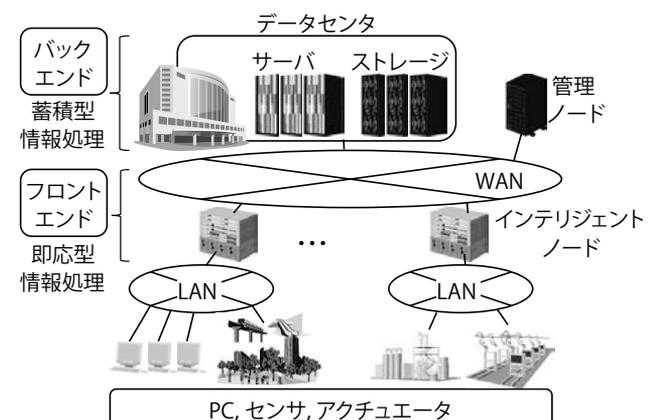


図2 ネットワーク分散処理アーキテクチャ

情報処理部は、インテリジェントノードの管理とユーザアプリケーションの実行を行う。通信処理部は、パケットのルーティングやスイッチング等の従来の通信処理に加え、応答性改善のためにユーザアプリケーションの情報処理位置変更や、オプションとして後述のWAN高速化処理等を行う。

各ユーザのクライアント（センサ、制御対象、それらの集約機器）に対しては、システムにアクセスするための仮想IPアドレスを提供する。システムは、このための仮想IPアドレスをユーザ要求仕様（往復通信遅延（RTT: Round Trip Time）の上限値、マシンスペック）を満たすインテリジェントノードへ割り当てる。仮想IPアドレスによってクライアントからアクセスを受けたインテリジェントノードは、クライアントのIPアドレスを参照の上、事前に設定した情報処理部（自ノード内、他インテリジェントノード、データセンタ）のIPアドレスに仮想IPアドレスを変換して、クライアントとの通信を確立する。図3下の例1では、クライアントに対してインテリジェントノード1のIPアドレスBを持つ仮想マシンを割り当てている例を示している。

研究着手当初、情報処理部は、信頼性の高い通信事業者向けの専用サーバであるATCA（Advanced-TCA）[4]とし、ユーザアプリケーションでも特に高速性を要するものは、アプリケーションを回路化しFPGA（Field Programmable Gate Array）搭載のATCA用ボードを利用するアプローチを採った。これらのアプローチは、信頼性の確保とサービス応答時間の中の通信時間以外の部分、すなわち、情報処理時間も短縮するという点では予

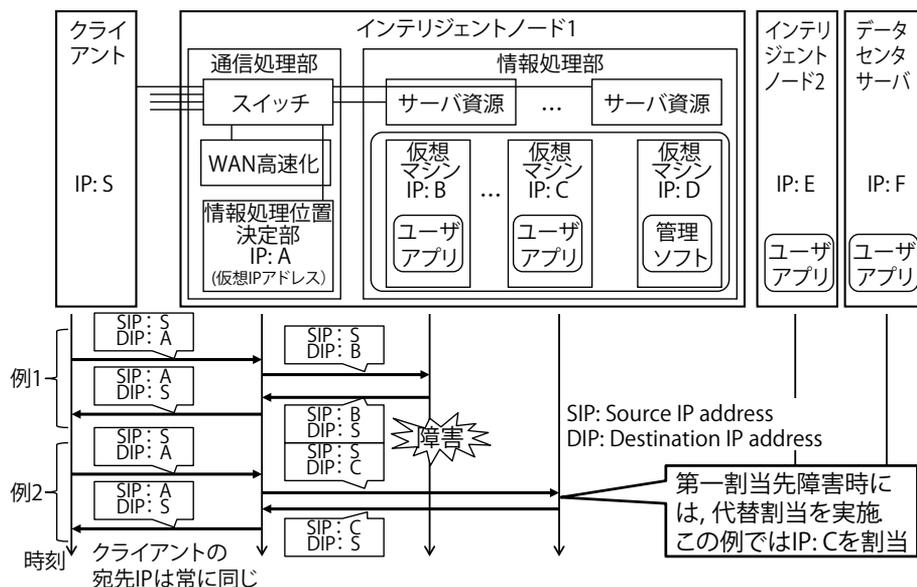
定通り機能したが、短期間でコスト性能比の良いインテリジェントノードを準備することや、汎用的な多数のアプリケーションに短期間で対応することなどの点で困難があった。そこで、情報処理部には、ATCAのほか、汎用サーバも利用するアプローチに変更した。また、アプリケーションも、専用システムを想定してプログラムされたものはハード化せずとも情報処理時間も短いケースが多いことから、アプリケーションの回路化はオプションとした。

### 3.3 管理ノード

管理ノードは、ネットワーク分散処理による高応答サービスを利用したいユーザとそのクライアント（センサ、制御対象、それらの集約機器）との窓口となる。また、管理ノードは、システム内のインテリジェントノードを統合制御するため、インテリジェントノードの性能情報やRTT情報を収集、一元管理し、次節に述べる方法で、ユーザ要求に合わせてインテリジェントノードをユーザの各クライアントへ割り当てる。

### 3.4 インテリジェントノードの選択方法

研究着手当初、インテリジェントノードはLANのデフォルトゲートウェイに配置して利用することを想定していた。しかし、デフォルトゲートウェイとして利用する方法は、ユーザやセンサ・制御対象とのネットワーク遅延を明示的に短縮することが可能である反面、ユーザの環境に直接インテリジェントノードを配置するため、異なるサイトのユーザ間でインテリジェントノードを共



用できなくなり、利用効率の面で望ましくないと考えた。そこで、前節で述べた仮想IPアドレスを用いたアドレス変換の機能を盛り込み、デフォルトゲートウェイ位置に限らず、ネットワークエッジに、インテリジェントノードを追加配置して利用することにした。また、インテリジェントノードの情報処理部を仮想化することにより、異なるユーザ間のプロセスが互いに干渉することを防止した。次に、ネットワーク分散処理の動作手順について説明する。

#### 手順1：システムへインテリジェントノードを登録

システム管理者は、システムへ利用可能なインテリジェントノードを登録する。この際、管理ノードは、インテリジェントノードとのRTTをRTTaとして計測し、自身の管理テーブルにインテリジェントノードの情報処理資源量とRTTaを記録する。

#### 手順2：システムへクライアントを登録

ユーザは、管理ノードへ要求仕様（RTT上限、マシンスペック）と対象クライアント（センサ・制御対象）のIPアドレスを通知し、クラウドで動作させたいアプリケーションをアップロードする。管理ノードは、クライアントとのRTTをRTTbとして計測し、管理テーブルへクライアントのIPアドレスとRTTbを記録する。

#### 手順3：システムがインテリジェントノードを選択

管理ノードは、要求仕様を満たすインテリジェントノードを探索してアプリケーションを割り当て、ユーザへ宛先（仮想IPアドレスやURL）を通知する。要求RTTを満たせるか確認するにはインテリジェントノードとクライアント間のRTT計測が必要となる。しかしながら、全インテリジェントノードがRTT計測をすると、クライアントにアクセスが集中してRTT計測に支障をきたしたり、最悪の場合クライアントがダウンしかねない。そこで、RTTbがRTTaに近い複数のインテリジェントノードだけにクライアントとのRTT計測をさせることで、この問題を回避する。

#### 手順4：システムをクライアントが利用

クライアントは、管理ノードから通知された宛先に対しアクセスを開始する。アクセスは該当インテリジェントノードの情報処理位置決定部へ到達し、実際のアプリケーションが稼働する情報処理資源へ同アクセスが転送され、処理される。この結果をクライアントへ返信することを繰り返し、応答性の高いサービスを実現する。

### 3.5 障害時の即時継続

インテリジェントノードの情報処理部は、インテリジ

ェントノード上の管理ソフトが仮想マシンに対してpingやhtml getメッセージ等により定期的に生存確認を行い、障害を検出した際には、インテリジェントノードによる自律的なサービス継続を行う。具体的には、インテリジェントノードの情報処理位置決定部に該当クライアントからの仮想IPアドレスに対する現用系の実IPアドレスと予備系の実IPアドレスを割り当てておく。該当仮想マシンに障害が発生した際、インテリジェントノードは、仮想IPアドレスを現用系の実IPアドレスから予備系の実IPアドレスへマッピングを変更する。この操作により、クライアントへの設定変更なしに処理位置を変更することができる。図3下の例2では、クライアントから見た宛先IPアドレスはAのまま、情報処理位置をIPアドレスBの仮想マシンからIPアドレスCの仮想マシンに変更する例を示している。

## 4. 技術2：オンプレミス設備と連携した分散クラウド

### 4.1 アーキテクチャ

分散クラウドを適用したクラウドシステムは、インテリジェントノードとユーザのオンプレミス設備を連携させ、小規模データセンタ（以降、マイクロDCと省略）を構築して、IaaS（Infrastructure as a Service）として提供する。オンプレミス設備は、ユーザ提供の設備のほか、システム管理者等が提供する設備も想定している。本技術により、オンプレミス設備とクラウドの併用を実現し、応答性能を改善しつつ、障害時の業務継続性を実現する。本技術では、システム全体を管理する管理ノードに導入する親管理、100台規模のインテリジェントノードに導入する子管理、オンプレミス設備10台程度あたりに1つ導入する孫管理の各プログラムを階層的に用い、図4に示すフローで、十数個程度の仮想マシンで構成するマイクロDCであれば最大1,000程度まで構築、管理できるようにした。

### 4.2 業務継続の実現

分散クラウドでは、マイクロDC構成時に準備した静的なバックアップ、または、障害発生時に探索により準備する動的なバックアップへ切り替えて、マイクロDCの障害発生後も業務継続を図る。なお、情報（ストレージ）に関しては、あらかじめ静的なバックアップを備え、定期的なデータレプリケーションが必要である。

障害時のマイクロDC切替えに備え、図5に示すよう

に、最下層にあたる孫管理は、定期的にICT設備の状態を監視 (ping 等) し、障害を検知した場合、その情報を子管理に通知する。通知を受けた子管理は、さらに親管理に通知する。親管理は、この通知を特定マイクロDCの障害として認識し、静的なバックアップを準備してある場合は、該当バックアップ資源が動作可能であることを確認する。動的なバックアップとなる場合は、マイクロDC用の資源を探索する。いずれの場合も、バックアップとなるマイクロDC用の資源を準備できると、子管理、孫管理を通して、マイクロDC内のオンプレミス設備の仮想マシンを起動し、該当ユーザーのためのマイクロDCとして提供することでマイクロDCの復旧を完了させる。

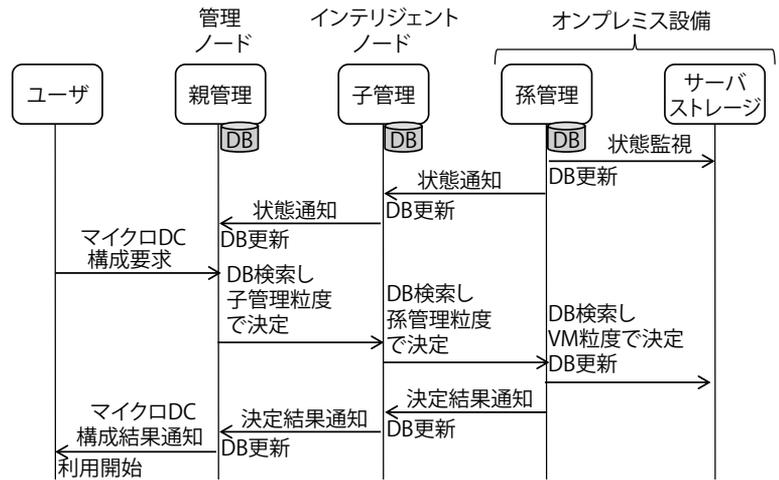


図4 マイクロDC管理フロー

## 5. 実証実験

リアルタイム分散クラウド技術 (ネットワーク分散処理と分散クラウド) の有効性を実環境で検証するために、神奈川県川崎市と宮城県仙台市の2拠点到JGN-X<sup>☆1</sup> [5]を介して接続したテストベッドを構築し、実証実験を行った。

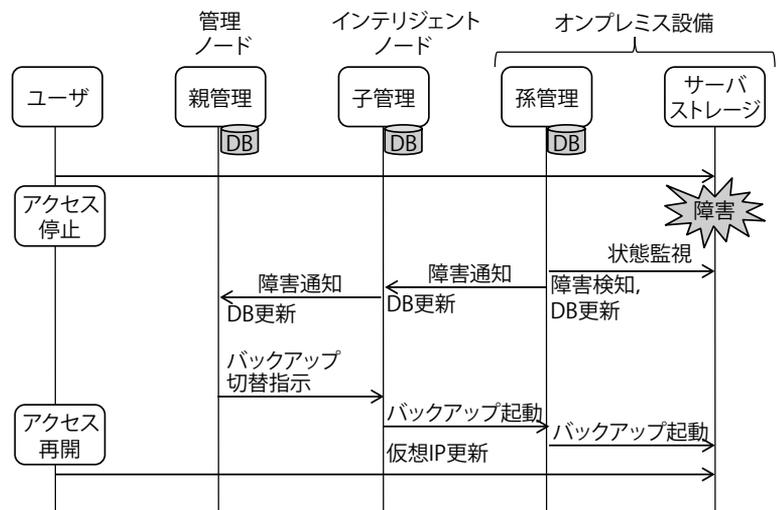


図5 障害発生後のマイクロDC切替えフロー

### 5.1 即時性を要する制御をクラウドで実現するネットワーク分散処理の検証

#### 5.1.1 実験概要

リアルタイム応答を必要とするアプリケーションの例として、直下型地震対策システムを準備した。クラウドシステムが特定の地震の初期振動 (P波: Primary Wave) を検知後、緊急停止信号を生成して、制御対象地域へ送信できるまでの応答時間を計測し、従来型DC (データセンター) 処理、ネットワーク分散処理、それぞれの結果を比較した。

本実験では図6に示すように、関東拠点 (川崎市) と東北拠点 (仙台市) にインテリジェントノードの試作機を1台ずつ設置した。インテリジェントノードは、市販のL3スイッチに情報処理位置を変更する機能を実装した情報処理カードを搭載し、汎用サーバを2台接続して構成した。そのほか、関東拠点には、システム全体を管理する管理ノード、センサ・制御対象を模擬する模擬セ

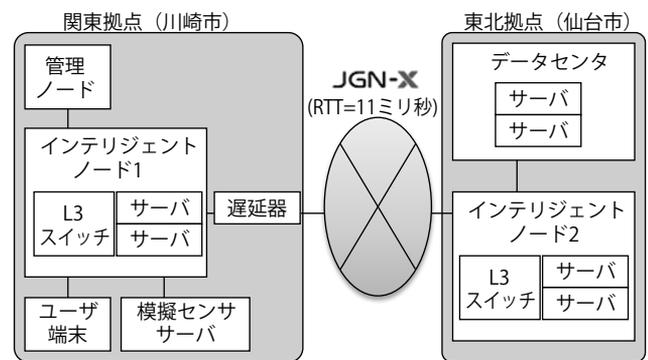


図6 実証実験環境

ンサーバ、システムとのやり取りを行うためのユーザー端末、東北拠点より遠方にあるDCを模擬する際に通信遅延やパケット廃棄率を追加できる遅延器を設置した。東北拠点には、データセンタ模擬用のサーバを2台設置した。機材の都合上、各拠点内のインテリジェントノードの通信機能部は、拠点内の各機材を接続するL3ス

☆1 (独) 情報通信研究機構が推進する新世代ネットワークの研究開発を支えるテストベッド。

ッチとしても利用した。サーバ上では仮想化技術KVM (Kernel-based Virtual Machine) [6]を用いて仮想マシンを動作させた。ユーザ端末からは、管理ノードへ、クライアントのIPアドレスと要求仕様として「RTT上限=5ミリ秒、マシンスペック=(CPU 2GHz 1個, CentOS6.2, 1GBメモリ, 100GB HDD)」を通知し、センサアプリケーションのアップロードを行った。センサアプリケーションは、従来型DC処理の場合、データセンターのサーバへ、ネットワーク分散処理の場合、管理ノードが選択したインテリジェントノードへ適用される。なお、センサアプリケーションの情報処理時間は、該当スペックのマシンで実行時に6ミリ秒程度である。

### 5.1.2 実験結果

図7に計測結果を示す。ネットワーク分散処理を適用したクラウドシステムでは、RTTが0.8ミリ秒と要求を満たす関東拠点のインテリジェントノード1が選択され、センサアプリケーションが適用された。模擬センササーバに対するインテリジェントノード1の応答時間は、情報処理時間を含め最大7ミリ秒と、センサ処理応用で必要と考えられる10ミリ秒未満を満たし、ネットワーク分散処理が有効に機能していることが確認できた。本例では震源近くのインテリジェントノードが即座に緊急停止信号を制御対象へ送信できることになる。一方で、従来型DC処理の場合は、応答時間のうちRTTだけで11, 21, 51ミリ秒となり、今回のような緊急を要する処理には不適合であった。

## 5.2 オンプレミス設備と連携した分散クラウドの検証

### 5.2.1 実験概要

オンプレミス設備と連携した分散クラウド用のアプリ

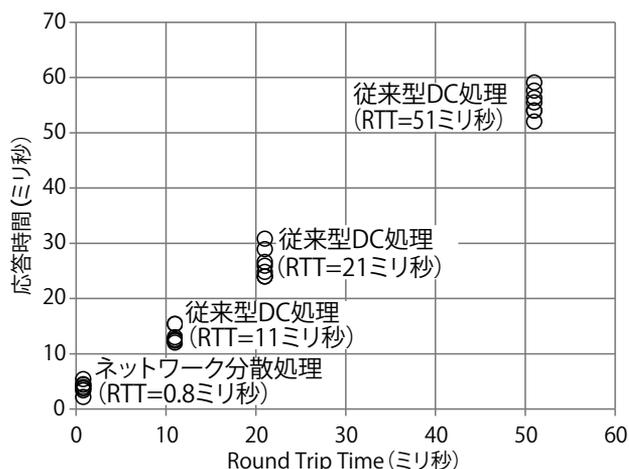


図7 応答時間

ケーション例として、自治体の防災システムを準備した。本実験では、インテリジェントノードとオンプレミス設備を連携利用したマイクロDCを現実的な時間内に構成できること、および、マイクロDCに障害が発生した際に、マイクロDCを現実的な時間内に再構成できることを確認した。マイクロDCを再構成する場合は、再構成資源を静的に予約しておく方式と、予約はせずに必要時に動的に確保する方式の双方を実験した。マイクロDC構成時にインテリジェントノードと連携させるオンプレミス設備としては、各拠点に2台ずつ設置したサーバを利用した。いずれのサーバも4コア1.8GHzのCPUを備え、物理メモリ量は2GB～11GB、物理HDD量は30GB～320GBである。これらのサーバ資源を仮想化し利用した。

### 5.2.2 実験結果

OSイメージを含む1.2GByteのサーバテンプレートをを用い、マイクロDCの構成時間を計測したところ、サーバ資源1台あたりおよそ3分と現実的な時間内でマイクロDCが構成できた。開発したプログラムは、シリアルに資源を確保、設定する単純なものであったため構成時間はサーバ資源数に応じてほぼ線形増加した。数十台規模のサーバ資源を用いるマイクロDCを構成する場合は、サーバ資源を並列に確保、設定する方法を採る必要があると考えられる。また、再構成資源を予約しておく場合、障害発生後、33秒でマイクロDCを切り替え、サービス継続可能であった。再構成資源を動的に確保する場合、障害検知時間(実験では30秒)にサーバ資源1台あたり約3分を加えた時間でマイクロDCの再構成が可能であった。

図8は、この際の管理画面であり、マスタである元のマイクロDCが障害を起こして動作を停止し(左)、再構成したマイクロDCをバックアップからマスタへ格上げしたことを示している(右)。マイクロDC再構成後、IPアドレスの再設定はすべてシステムが行うため、ユーザは、いったん通信セッションが途切れたが、再アクセスすると、再構成されたマイクロDCへ自動的に接続され、継続してサービスを楽しむことができた。

マイクロDCは、利用ユーザの近傍のインテリジェントノードとオンプレミス設備を利用することで、クラウドでありながら、応答性を改善できる。しかしながら、場合によっては、要求資源量が多く、地理的に離れた複数のインテリジェントノードと複数のオンプレミス設備を要することがある。また、バックアップのデータを確保するストレージが遠方となることもある。これらの場合、長距離通信によってマイクロDC内のデータアクセ

スの応答性が劣化する問題点が見えてきた。これは、インターネットで標準的に利用されるTCP/IP通信の仕様上、必然的に発生する問題でもある。そこで、長距離通信時の応答性劣化を解消するアプローチも新たに導入することとした。

### 5.2.3 長距離通信時の応答性劣化解消

長距離通信時の応答性劣化を解消する方法として、キャッシュや通信改善によるWAN高速化が知られている。キャッシュアプローチは、データ更新有無の確認時とデータの初回参照時、および、更新データのリロード時のみWANにアクセスし、それ以外はローカル環境に配置したキャッシュからデータを取得することで応答性劣化を解消する。このため、対象データが頻繁に更新される場合に効果が得られず、応答性能が安定しにくい。通信改善アプローチは、毎回WANにアクセスするが、TCP通信のウィンドサイズの拡大や一次的なパケットロスを輻輳と見なさない等の輻輳制御の改善によって、WANでもローカル環境と同等のスループットを引き出し、応答性劣化を解消する。

本研究では、データの更新・非更新によらず安定した応答性改善を目的として、後者の通信改善アプローチを採用した。具体的には、インテリジェントノードにTCP通信を改善する機能を備えたWAN高速化装置を導入し、WANを経由するマイクロDC内の通信、および、マイクロDC間の通信に対してWAN高速化装置を適用して応答性劣化を低減することを目指した。

### 5.2.4 WAN高速化の効果

WAN高速化の効果を検証するため、ftp get コマンド



図8 マイクロDC切替え管理画面

### COLUMN TCP 利用による応答性劣化の問題

TCPは、ウィンドウサイズとして規定される送受信バッファ量の範囲でデータ(パケット)を送信し、応答パケットを受信することによりデータ到着を確認する。欠損があればデータを再送し、送信データの到着を保証する。また、スループットを確保するため、送信データ量を指数関数的に増加させるが、データ欠損を検出するたびにネットワークの輻輳を避けられるよう送信量を定率減少させ、その後、線形関数的に増加させる輻輳制御を行う。こうしたウィンドウサイズや輻輳制御のため、TCPを長距離通信で利用すると、送受信バッファ量の不足や、輻輳とは直接関係のない一次的なパケットロスの影響で、送信データ量(スループット)が大きく低下し通信時間が延びる。このため、長距離通信が一般的なクラウド環境ではローカル環境に比べ、応答性が劣化しやすい。

による100Mbyteファイル転送時間を計測した。この際、通信遅延の影響が分かるようにRTTを11~500ミリ秒の範囲で変化させた。サーバにはCentOS6.2を利用したため、WAN高速化装置を用いない従来方式は、Cubic-TCPとなる。参考として、拠点内に隣り合わせで設置し、1Gbpsイーサネット回線で結んだ2台のサーバ間では、ftp getによる100Mbyteファイル転送時間は1.4秒(スループット590Mbps)であった。

図9に実験結果を示す。従来方式では、関東拠点と東北拠点間(RTT=11ミリ秒)で転送時間は49.4秒(スループット17.3Mbps)、国内遠距離相当のRTT=61ミリ秒では転送時間2分50秒(5Mbps)と、それぞれ拠点内隣接サーバ環境と比べ34倍、118倍と大きく劣化しており実

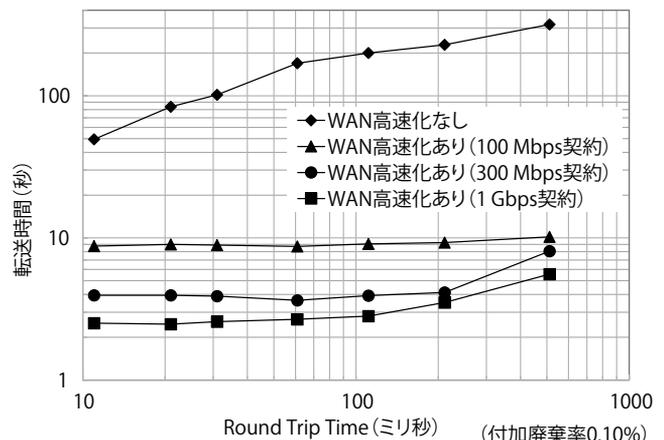


図9 WAN高速化の効果

用には耐えがたい。一方で、WAN高速化装置を利用した場合、日本国内相当 (RTT=61 ミリ秒以内) であれば通信距離に依存せず、100Mbps回線を契約している場合、転送時間8.7秒 (96.8Mbps) と従来比19倍に改善され、拠点内隣接サーバ環境と比べても劣化の度合いは6倍で許容範囲内の値であると考えられる。300Mbps回線契約や、1Gbps回線契約の場合、さらに改善の余地があり、拠点内隣接サーバ環境と比べると劣化の度合いはそれぞれ、2.5倍、1.9倍であり、WAN高速化導入が有効であると考えられる。

## 6. 応用に向けて

### 6.1 応用に向けた課題

本技術をインフラとして、各種のアプリケーションやサービスに適用することで、専用システムで実現されているインフラサービスの一部のクラウド化や、これまでにない新事業の創生の可能性等が期待される。その際、インフラをどのように構築し、誰が運用管理するかは、大きな課題である。理想的な構築例は、全国各地へのネットワークと通信局舎を所有する通信キャリアのインフラを活用することである。インテリジェントノードを全国各地の通信局舎へ配備し、各家庭や事業所等へのアクセス網、および、上位のメトロ網やコア網へ接続できるようにする。システムの運用は、通信キャリアが行うケース、別の事業者が通信局舎スペースと通信キャリア網を通信キャリアからレンタルして行うケース等が想定される。また、ユーザが利用するアプリケーションの構成にも課題がある。具体的には、アプリケーションの中で応答性を重視してインテリジェントノードで実行する部分と、応答性は重視しないがログ蓄積や新たな知識化を行う等のデータセンタで実行する部分を分離し、両者が連携できる形式をとる必要がある。こうしたアプリケーションのフレームワークを提供することが理想ではあるが、現状は、アプリケーションごとに対応していく必要がある。また、オンプレミス設備と連携利用する分散クラウドでは、オンプレミス設備を単なるハードウェアリソースとして利用するか、既存のソフトウェアとデータベースを含めたりリソースとして利用するかによって大きく扱いが異なる。本稿では、ハードウェアリソースとして利用する場合を紹介したが、ソフトウェアとデータベースを含める場合は、それらの資源の保護を行う必要がある。

### 6.2 電力制御への応用例

本節では、即時性を要する制御をクラウドで実現するネットワーク分散処理の電力制御への応用例を紹介したい。スマートグリッドの一形態として、限られた区域内で太陽光発電や蓄電池等を組み合わせて電力を供給するマイクログリッドが知られている[7]。マイクログリッドでは、太陽光発電等の出力変動を地域内で吸収することで大規模電力網 (電力系統) への影響を軽減することを目指す。その際、地域内ではミリ秒～秒オーダーの時定数での電力制御が必要となる。従来は、専用のマイクログリッドシステムだけで構築するが、電力状況把握や電力制御計算部分に関しては、本稿で紹介した10ミリ秒オーダーの応答性を実現するネットワーク分散処理で代用でき得る。たとえば、通信キャリア網と通信局舎を利用し、通信局舎に配備したインテリジェントノードのうち、地域ごとに時定数を満たすものを選んで電力制御プログラムを稼働させることで、地域ごとの電力制御が可能となる。また、データセンタは、インテリジェントノードから随時、稼働状況の報告を受け、電力網全体としての分析・意思決定の材料として利用する。特定地域の電力が不足することが分かれば、該当地域近隣のインテリジェントノードへ電力を融通するよう指示するなど、大局的な電力制御が可能となる。なお、本例でインテリジェントノード、データセンタで稼働させる各プログラムはユーザが明確に分離する必要がある。

## 7. おわりに

本稿では、応答性の高いクラウドシステムを実現するためのリアルタイム分散クラウド技術として、即時性を要する制御システムをクラウドで実現するためのネットワーク分散処理技術、オンプレミス設備との連携を実現する分散クラウド技術に関して紹介した。ネットワーク分散処理技術では、ネットワークの中に配置したインテリジェントノードと呼ぶ情報処理資源を用い、サービス応答時間中の通信時間を短縮して応答性を改善する。関東・東北拠点を利用した実証実験を行い、ネットワーク分散処理の応用例に直下型地震対策システムを取り上げ、10ミリ秒オーダーの応答性能達成を確認した。また、分散クラウドの応用例に自治体防災システムを取り上げ、要求に応じたマイクロDCの数分オーダーでの構築、WAN高速化技術の導入によるオンプレミス環境と遜色ない短時間データ転送の実現を確認した。

クラウド化の潮流はこれからも加速を続け、企業等の



コア業務や社会インフラ分野へも広く適用される時代が訪れると筆者らは考えている。今後、実サービス、実環境により近い状況に対応できるよう本稿で紹介した各技術の拡張を進めていきたいと考えている。

**謝辞** 本研究の一部は、総務省委託研究「セキュアクラウドネットワークング技術の研究開発（インテリジェント分散処理技術）」および「広域災害対応型クラウド基盤構築に向けた研究開発（高信頼クラウドサービス制御基盤技術）」の成果である。

#### 参考文献

- 1) Armbrust, M., et al.: Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, Technical Report No. UCV/ECS-2009-28, University of California at Berkeley (2009).
- 2) Beng, L.H.: SensorCloud: Towards Sensor-Enabled Cloud Services, CLOUD@SG SUMMIT, GridAsia (2009).
- 3) 奥野通貴, 他: 次世代クラウドシステムに向けた分散情報通信処理アーキテクチャに関する検討, 信学技報, Vol.109, No.448, NS2009-204, pp.241-246 (2010).
- 4) PICMG JAPAN: Advanced TCA PICMG3.X 関連技術情報, <http://www.picmg-japan.com/4atca0.html>
- 5) JGN-X Web サイト: 新世代通信網テストベッド JGN-X, <http://www.jgn.nict.go.jp/>
- 6) KVM, [http://www.linux-kvm.org/page/Main\\_Page](http://www.linux-kvm.org/page/Main_Page)

- 7) 関 勇, 他: 中国のスマートグリッド市場における地域自立・環境調和型電力システムの制御技術, 東芝レビュー, Vol.66, No.6, pp.22-27 (2011).

**奥野 通貴** (非会員) [michitaka.okuno.nc@hitachi.com](mailto:michitaka.okuno.nc@hitachi.com)

1998年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了, (株)日立製作所入社。2001年日立アメリカ出向, 2003年より中央研究所勤務。ルータ, スイッチ, クラウドシステム等の研究開発に従事。博士(工学)。

**飯島 智之** (非会員) [tomoyuki.ijima.fg@hitachi.com](mailto:tomoyuki.ijima.fg@hitachi.com)

1999年早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒業, (株)日立製作所入社。2011年英 Warwick 大学経営大学院経営学修士課程修了。ルータ, スイッチ, ネットワーク管理等の研究開発に従事。

**石井 大介** (非会員) [daisuke.ishii.dy@hitachi.com](mailto:daisuke.ishii.dy@hitachi.com)

2009年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年同大学院理工学研究科特別研究助手。2012年(株)日立製作所入社。ルータ, スイッチ, ネットワーク制御技術等の研究開発に従事。博士(工学)。

投稿受付: 2013年5月22日

採録決定: 2013年9月9日

編集担当: 中野美由紀 (東京大学)