

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)

Research and Development on Cloud Service Infrastructure for
Recovering Wide-area Disaster
(High-reliability Cloud Service Platform Technology)

研究代表者

桑名 栄二 日本電信電話株式会社

Eiji Kuwana NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

研究分担者

近山 隆[†] 村上 明彦^{††} 波多 浩昭^{†††} 西原 基夫^{††††}

中島 康之^{†††††} 中尾 彰宏^{††††††} 高瀬 晶彦^{†††††††}

Takashi Chikayama[†] Akihiko Murakami^{††} Hiroaki Hata^{†††} Motoo Nishihara^{††††}

Yasuyuki Nakajima^{†††††} Akihiro Nakao^{††††††} Akihiko Takase^{†††††††}

[†]国立大学法人東京大学 ^{††}株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

^{†††}エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社 ^{††††}日本電気株式会社

^{†††††}株式会社 KDDI 研究所 ^{††††††}国立大学法人東京大学 ^{†††††††}株式会社日立製作所

^{†††††††}the University of Tokyo ^{††††††††}NTT DATA Corporation

^{†††††††††}NTT Communications Corporation ^{††††††††††}NEC Corporation

^{†††††††††††}KDDI R&D Laboratories ^{††††††††††††}the University of Tokyo ^{††††††††††††††}Hitachi, Ltd.

研究期間 平成 22 年度～平成 24 年度

概要

「クラウドサービス」は企業の ICT 設備投資の負担軽減や情報処理の集約等による環境負荷低減効果が期待されることであるが、その利用範囲の拡大に向けては、信頼性の向上（安定・確実なサービス稼働の維持）とともに、ネットワーク利用の拡大等に伴う通信トラフィックの急増への対応（消費電力の増大抑制）が重要である。

これらの課題に対応するため、本研究開発では、ネットワーク全体の省電力化を図りつつ、高信頼で高品質なクラウドサービスを実現するネットワーク制御技術を確立する。

これにより、国民生活及び社会経済活動における今後の ICT 利用の主流となることが予想されるクラウドサービスの信頼性向上等が図られるとともに、ネットワークにおける消費電力が削減され、温室効果ガス排出量削減が実現される。また、高度なネットワーク制御技術を世界に先駆けて開発することで、ネットワーク分野における我が国の国際競争力の強化を図る。

1. まえがき

本研究開発では、クラウドシステムの信頼性向上のための技術課題として、クラウドシステム間の連携により負荷変動時や災害時にも利用者に対して安定したクラウドサービスを提供可能とする「課題1 クラウドシステム基盤連携技術」に取り組む。また、クラウドサービスの要求に応じたネットワーク機器等の制御をリアルタイムかつ自律的に実施可能とする「課題2 クラウドネットワーク基盤技術」に取り組む。これらはクラウドサービスを構成する「実世界のデバイス（利用者端末、センサ等）」「ネットワーク」「クラウドシステム」上に図1に示すようにマッピングできる。

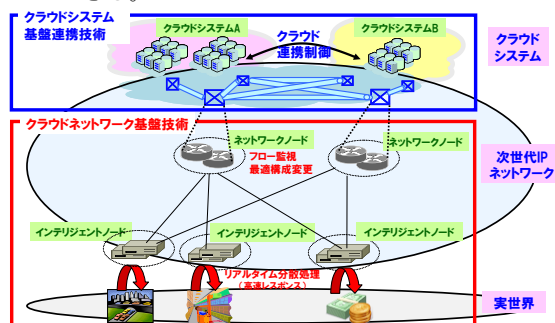


図1 本研究開発の全体概要

また、これらの技術課題はそれぞれ独立したものではなく、以下に示すように相互に連携させることで、はじめて本研究開発の目標達成が可能になる。

例えば、特定のクラウドサービスで急激な負荷変動が発生し「課題1クラウドシステム基盤連携技術」により複数クラウドシステムで連携して負荷を吸収するケースでは、ネットワーク側でも急増するトラフィックへの対応に加えて、利用者から連携先クラウドシステムへのアクセス経路変更等に伴う短時間で急激なトラフィック変動に柔軟に対応することが求められる。またクラウド連携時には、クラウド事業者間の清算処理や認証連携などが必要となり、ネットワーク機能に求められる性能要件も変動することが想定される。これに対し、「課題2 - ア）ネットワーク自律最適制御技術」「課題2 - イ）ネットワークノード再構成技術」との連携により、リアルタイムにネットワークの全体最適化を図ることで、他のクラウドサービスへの影響を最小限に抑えることが可能となる。

また、センサ情報などのストリーム型データを活用するサービスも、「課題2 - ウ）リアルタイム分散処理技術」によりフロー型情報処理機能を情報発生源近傍のエッジノードに分散配備し、クラウドシステム側で蓄積型の情報処理を実施することで、複数のクラウドサービスが共用しているネットワークの品質、信頼性を損なうことなく安全

にクラウドで提供することが可能となる。さらに、本研究開発の成果は、ネットワークおよびクラウドシステム障害からの早期復旧を目指していることから、広域災害時の復旧、復興への応用が期待できる。

このように本研究開発は、「課題1 クラウドシステム基盤連携技術」と「課題2 クラウドネットワーク基盤技術」の有機的な連携を考慮して進めることがきわめて重要であるため、各研究機関が協調して取り組み、サーバネットワーク間での相互連携技術およびクラウドシステム間での相互連携技術の確立を目指す。

2. 研究開発内容及び成果

課題1 クラウドシステム基盤連携技術

課題1 - ア) クラウドリソース要件解析技術

課題1 - ア) - 1 使用リソース計測効率化技術の研究開発

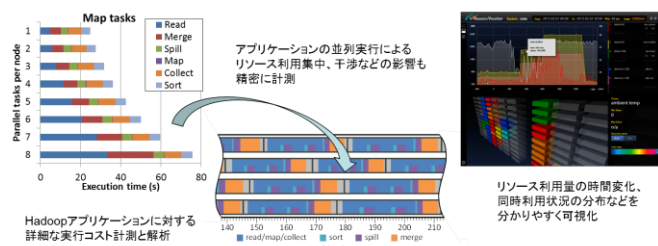


図2 使用リソース量の精密測定と結果の可視化

大規模なアプリケーションの処理量・サービスレベルと使用リソースの関係を効率的に把握する技術を実現した。具体的には、所与の処理量に対するサービスレベル実現に必要な使用リソースの把握のために、自動的に必要な項目を設定した計測を行い、結果をデータとして報告するとともにわかりやすく可視化するシステムを実現した。

まず、アプリケーション処理量および使用リソース量の計測・監視ツール Pantau を開発した。Pantau は、物理的なサーバマシンとその上で実行する VM のリソース使用状況を両面から監視・記録し可視化できる機能を備えている他、計測・監視のためのさまざまな機能をプラグインモジュールとして柔軟に追加・削除できる特徴を持つ。また、CPU 利用率、ディスク、ネットワークなどの IO に関する細粒度なログを取得するための改良を施し、それぞれのイベントの同一時間軸での詳細な観察を行った。さらに、実験用のクラウド環境を整備して大規模なアプリケーションサービスを試験実行し、計測ツールの機能と性能の評価を行った。計算資源利用状況の高効率な収集を実現するため、計測項目やリソースに加えるべき人為的制約の範囲を設定する機能を実現し、アプリケーション性能指標および CPU 負荷や I/O 負荷等の実行環境情報に関する指標など、自動的に必要な計測項目を設定、結果を報告する機能を追加した。さらに、取得された多岐にわたるリソース利用量ログデータについて、複数系列の時間変化やある時点での利用量分布をわかりやすく表示する可視化ツールを作成し、リソース計測結果の迅速な把握を可能にした。

課題1 - ア) - 2 必要リソース推定効率化技術の研究開発

アプリケーションの予想需要量と要求サービスレベルから、必要とする資源構成を推定する技術を実現した。具体的には、処理量とサービスレベルの条件、および利用可能資源の情報に基づき、アプリケーションレベルでの要求

性能の実現に適切な資源構成をほぼすべて自動的にかつ効率的に推定するシステムを実現した。

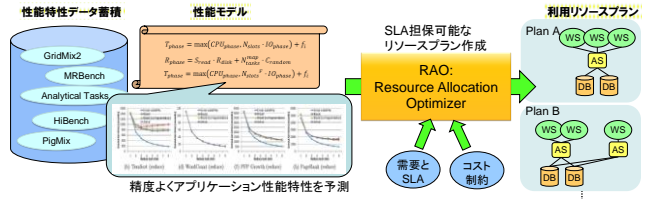


図3 性能測定に基づくモデルを利用した必要リソース量推定

まず、大規模な分散並列処理のための代表的な枠組である MapReduce フレームワークを利用した様々なアプリケーションのリソース推定を行うため、代表的な構造のアプリケーションを集めた GridMix2 ベンチマークを用い、Hadoop アプリケーションの動作モデルを構築するための基礎的なデータを集めた。さらに、分散計算において重要となるデータアクセス性能に関してより精密な性能モデルを作成するため、分散ファイルシステムである HDFS を対象に、読み込み時のリソース利用量の変化について詳細な情報を得た。これらの基礎的な情報をもとに、MapReduce タスクの性能予測を行うモデルを設計し、アプリケーションの実行時におけるリソースと性能間の関係推定方式を設計した。この推定方式に基づき、所与の負荷・必要サービスレベルを実現するために必要なリソースを前節の計測環境を利用して推定するツールを設計・実装、アプリケーションに対して適用し、推定の精度、推定に必要なコストなどの性能評価を行った。具体的には、リソース量測定結果から性能モデルによるリソース推定までを結合するフレームワーク Mariom を構築し、その評価を行うとともに、リソース推定方式の改良を行った。

課題1 - イ) クラウド間リソース融通技術

課題1 - イ) - 1 クラウド間自律的リソース発見・確保技術の研究開発

複数クラウドシステム同士の連携により、エンドエンドの品質維持を達成する、階層型リソース連携技術を実現する。具体的には、ユーザ要求に応じた品質を提供するため、階層型インタークラウドシステムのフレームワークに基づき、莫大なコンピューティングリソース・ネットワークリソースの双方を抽象化して監視し、リソース不足やユーザ要求からの逸脱を早期に検出可能とし、インタークラウド環境でのディザスタリカバリおよびスケールアウトを実現する。

まず、クラウド間自律的リソース発見・確保技術の確立に向け、リソース要求を各クラウドシステムに分配、通知し、割り当てる階層型コントロール技術のフレームワークを提案し、そのためのモデル、インタフェースを規定した。さらに、ユーザ要求に基づいてリソースを複数のクラウドシステムへ適切に割り当てるための階層的アルゴリズムの提案・検証を実施した。

次に、複数クラウドシステムが連携した場合に、コンピューティングリソースとネットワークリソースの双方を抽象化して監視するための階層型モニタリング技術の提案・検証を実施した。

これらクラウドシステム間での階層型コントロール技術および階層型モニタリング技術について、クラウドリソース要件解析技術「課題1 - ア) クラウドリソース要件解析技術」、コンピューティングリソースとネットワークリ

ソースの各動的プロビジョニング技術（「課題1 - イ）- 2 コンピューティングリソース動的プロビジョニング技術の研究開発」、「課題1 - イ）- 3 ネットワークリソース動的プロビジョニング技術の研究開発」とを連携させ、サービス品質要求と変化するリソース利用状況に対して、クラウドシステム間で適切にリソースの再割り当てを行う階層型リソース連携技術の提案・検証を実施した。

そして、階層型リソース連携技術のフィールド検証を目的とした、大規模クラウド連携評価環境における総合検証評価を実施した。その結果、仮想マシン 1,000 台規模の環境において、他クラウドシステムでのディザスタリカバリ 30 分程度、他クラウドシステムへのスケールアウト 10 分程度という当初目標を達成した。

また、本技術の研究開発成果を基に、インタークラウドのユースケース、機能要件、インタフェース仕様案について、GICTF（グローバルクラウド基盤連携技術フォーラム）のホワイトペーパーとして発行した。さらに、それらの内容をベースとして、ITU-T SG13 へ寄書提案を行い、クラウド並びにインタークラウド技術の国際標準化活動に継続して貢献を果たした。

課題1 - イ）- 2 コンピューティングリソース動的プロビジョニング技術の研究開発

クラウドシステム上のスケールアウト処理とディザスタリカバリ処理に求められる技術を実現するためのアーキテクチャを図4に示すように「クラウド連携マネージャ(CFM)」として決定し、主要構成コンポーネントを研究開発した。「CFM」を各々のクラウドシステムに搭載し、複数のクラウドリソースを融通しあうことにより、個々のクラウドのSLAを維持しつつ、クラウドシステムの負荷の変動をより少ないリソースで吸収する、コンピューティングリソース動的プロビジョニング技術を実現した。

本技術を 1000VM クラスでの大規模及び、複数のクラウドが地理的に離れた場所に存在する環境で実証実験を実施し、他クラウドシステムへの 10 分以内のスケールアウト、他クラウドシステムでの 30 分以内のディザスタリカバリを実現した。

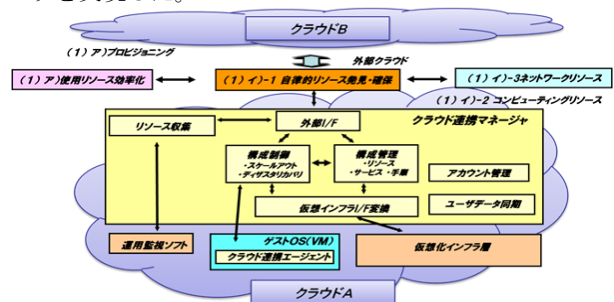


図4 「クラウド連携マネージャ」のアーキテクチャ

課題1 - イ）- 3 ネットワークリソース動的プロビジョニング技術の研究開発

クラウド間でのスケールアウトやディザスタリカバリといったリソース融通を実現するためには、異なるクラウドにあるサーバ間や、エンド端末とサーバの間など、エンドエンドをオンデマンドに接続するネットワーク技術が必要である。課題では、エンドエンドを接続するネットワークを、システムからの要求に応じてオンデマンドに制御する手法を確立した。

エンドエンドを接続するネットワーク技術として、IPトンネリングによって指定された端末間をオーバーレイ接続し、その接続構成を遠隔から集中制御・管理する機能

をもつ仮想ネットワーク技術を適用した。コンピューティングリソースの制御と連携したネットワークの制御を実現するため、課題1 - イ）の他課題からネットワーク構成を制御する機能や、接続状態を監視する機能が必要である。そこで、他のシステムからのネットワーク制御や監視を実現するAPIの機能を検討し、その設計と実装を行った。また、仮想NW接続のIPv6拡張を行い、IPv6ネットワーク環境における仮想ネットワーク構築を実現した。

開発した手法の評価として、大規模クラウド連携評価環境にて、クラウド間でのディザスタリカバリや、スケールアウト・スケールインの制御を、課題1の各課題との連携制御により実現した。ネットワークの制御としては、クラウド間でシステム構成を拡張するためのクラウドの間のネットワークの動的生成や、クラウド間にシステムが拡張した際にエンドユーザのアクセス先を分散させる、エンド端末とサーバの間のネットワーク制御を実現した。

課題2 クラウドネットワーク基盤技術

課題2 - ア) ネットワーク自律最適制御技術

課題2 - ア) - 1 自律制御情報ネットワークの研究開発

ネットワーク監視機能によって得られたフロー情報を転送するために必要なインタフェースを策定し、ソフトウェアに実装した。また、クラウドシステム側の構成変更(例えば課題1の資源移動)に合わせて経路変更を行うために、クラウドシステム側から資源移動先の情報を通知してもらうためのインタフェースの機能拡張を行い、ソフトウェア実装し、OpenStack Conferenceにおいて国際発表を行った。また、広域で自律的な経路変更を適用するために、経路制御リソース分散配置機能およびネットワーク環境モニタリング機能との連携動作について検討を行い、インタフェース仕様を確定した。

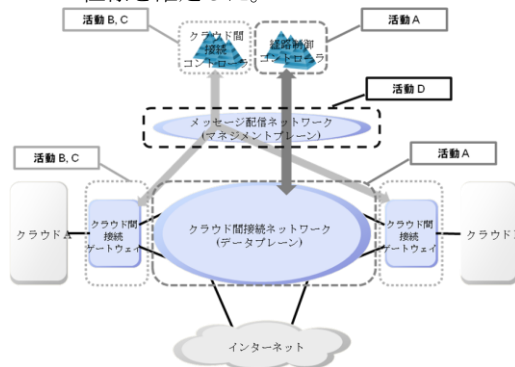


図5 ネットワーク自律連携制御技術の説明図

さらに、実環境に適用するために、図5に示す4つの活動を行った。経路制御分野の活動(活動A)では、クラウド間接続ネットワークにおいて、1,000万程度の大量のフローを制御するための経路制御コントローラの実装を行った。フローベースネットワーク分野では、複数クラウドにまたがる仮想ネットワークを構成するためのクラウド間接続ゲートウェイと、ゲートウェイを制御するクラウド間接続コントローラの実装(活動B)と、クラウド間にまたがる仮想ネットワークを構成する際に問題となるARPトラフィック削減のための、ARPサーバ機能の実装(活動C)を行った。自律制御情報ネットワーク分野の活動(活動D)では、メッセージ配信ネットワークの性能改善と外部参照インタフェースの整備を行った。

最後に実環境を用いた高速経路切り替え機能の実証実験(活動E)を行い、その結果、本研究の成果を活用するこ

とで、ネットワーク全体で 1,000 万セッションを扱うケースにおいて、故障を検知してから 100 ミリ秒以内での最適な経路切り替えが実現可能であることを確認した。

課題 2 - ア) - 2 仮想リソースプロファイリング技術の研究開発

図 6 に示す仮想リソースプロファイリング統合管理システム(VPIS)を開発し、従来人手による分析で多大な時間を要した問題の解決を図った。課題 2 - ア)の他の技術と連携してネットワーク制御サーバのリソース選択手法を設計し、ネットワーク制御サーバのリソース選択機能として実装した。評価では、ネットワーク制御サーバの負荷変動に対して、VPIS を用いて割り当てるリソース量を調整し、ネットワーク制御サーバを安定して稼働させられることを確認した。リソース選択時の性能予測では、仮想リソースプロファイリング技術により高精度かつ高速でリソース使用量を予測できることを示した。ネットワーク制御サーバの過負荷状態からの回復はわずか 5 分で完了させることができた。これは従来の障害発生時の顧客通知(障害回復を含まない)に要していた 30 分に比べ 1/6 の時間であり、到達目標である 1/5 を上回る成果を得た。

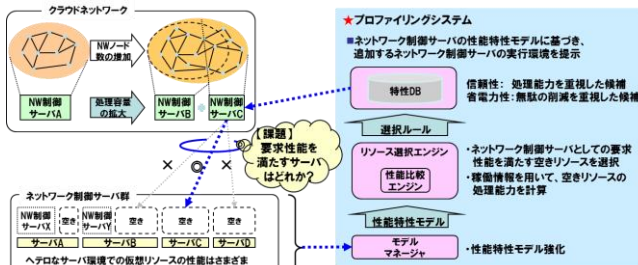


図 6 ネットワーク制御サーバのリソース選択技術の説明図

課題 2 - ア) - 3 通信ノードの要求捕獲と情報制御技術の研究開発

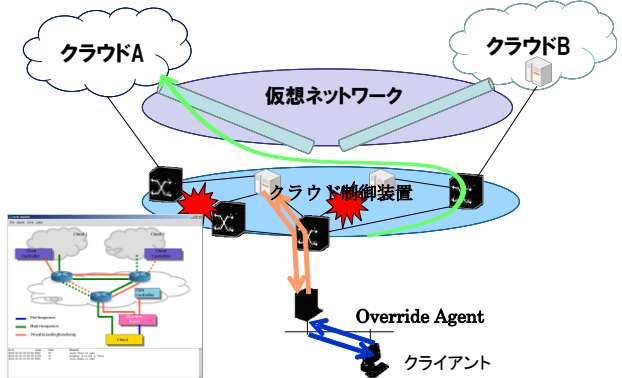


図 7 通信ノードの要求捕獲と情報制御技術と可視化イメージ

クラウド制御装置のエミュレータを作成し、クラウド制御装置との連携技術の開発、クラウド制御装置との連携による DNS Query 処理時間の調整を行った。さらに、それまでに開発した機能を結合し、実用面における有効性について、機能面、性能面等から評価・検証した。また、情報制御内容を可視化し、視覚的に確認できるようにした。この可視化ソフトウェアを用いることで、図 7 のように一連の処理の流れが、容易に理解できるようになった。

クラウドのベースとなる LAN を含めた環境において、オーバーライドエージェントの性能面での総合評価も行った。クラウドがある場合は、開発したクラウド制御装置との連携機能を活用することにより、より多様な情報制御が可能となった。総合的にみてオーバーライドエージェン

トの機能には有効性があり、多くの LAN 環境でその有効性を発揮できるものと考えられる。

課題 2 - イ) ネットワークノード再構成技術

課題 2 - イ) - 1 動的再構成ネットワークノード技術の研究開発

クラウドサービスの要件に対応した高信頼かつ柔軟なネットワーク処理の実現を目的として、ノード管理技術とネットワーク処理ノード技術を開発し、それらを結合して図 8 に示す動的再構成ネットワークノードを実現した。動的再構成ネットワークノードと管理サーバ間の接続に課題 2 - ア)の成果を適用し、ノード資源情報の転送を実現するための方式検討を行い、実装による動作検証も行った。さらに、動的再構成ネットワークノードの状態を管理し、再構成を指示するノード制御機能を開発した。ノード制御機能は、動的再構成ネットワークノードが提供するインタフェースを利用して、CPU 使用率やネットワーク帯域などのノードの状態を取得し、取得した情報をもとにノードの再構成を指示するものである。

このノード制御機能を用い、動的再構成ネットワークノードの評価を実施した。具体的には、クラウドサービスの要件変更に対応し、ネットワーク処理が実装されるサーバが高負荷になった場合に、別のサーバにリソースを確保してセッション単位で処理を振り分けるよう再構成する機能を評価した。これら動的再構成ネットワークノードの試作と評価を通して、ノードで実行される処理の負荷に応じて、ノードのリソースの割り当てを変更するノード再構成処理が 10 秒以内に完了することを確認した。

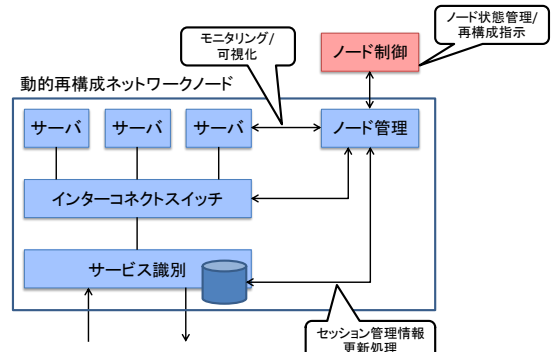


図 8 動的再構成ネットワークノードの構成

課題 2 - イ) - 2 ネットワークサービス制御 再構成管理技術の研究開発

本課題では、テレコムネットワークの高信頼性と省電力性を柔軟に提供するための耐障害性と省電力化を実現するための制御基盤に関する研究開発を推進した。

LTE の導入等によりモバイル網のオール IP 化が加速していく状況において、サービス制御の中核である IMS (IP Multimedia Subsystem) の重要性が高まっている。IMS の耐障害性を考える場合、災害などの非常時にサービス制御ノードの過負荷により保持しているセッションの処理が継続できない状況や、サービス制御ノードに障害が発生することでセッションに関する情報が消失してしまう状況を想定する必要がある。本課題では、セッション処理の負荷平準化ならびに消失したセッション情報を新しいサービス制御ノードで復元させるため、OpenFlow を利用したフローベースのトランスポートシステムを利用することで、セッション単位の分散・集約化を可能とする方式を開発した。

課題2 - イ) - 3 広域分散共調型ネットワークノード技術の研究開発

クラウドアクセス高信頼化実現のため、広域に分散する複数ネットワークノード協調動作により高度なパケット処理を行う OpenTag アーキテクチャを提案した。OpenTag アーキテクチャは、ユーザ主導でフローによらない明示的なタグ(OpenTag)を使って、ユーザ主導で自律的ノード処理を行い、トラフィックを最適制御する新しい技術である。

OpenTag を実現するため、パケットにタグ付加・削除する機能、および OpenTag 識別しプログラマブルに高度なパケット処理が可能なアーキテクチャを設計し、メニコアネットワークプロセッサ技術を利用しプラットフォーム試作を行った。試作により、(1) 大規模災害時のデータ保護や帯域使用ピーク緩和を図るネットワーク内データバッファリング、(2) 冗長トラフィック削減を行うノード内キャッシュ、(3) ノードで映像トラフィック量を減らすトランスコード処理実現とユーザ主導によるトランスコード・ノードへの経路切替を実現した。(3)については、JGN-X を利用した広域ネットワークテストベッドで OpenTag 技術を実験実証した。

課題2 - ウ) リアルタイム分散処理技術

課題2 - ウ) - 1 ネットワーク分散処理技術の研究開発

本課題では、100 万程度のセンサが配置されているネットワークにおいて、センサ情報の解析・処理を遅延時間10 ミリ秒程度で実現するための技術を開発した。具体的には、図9に示すように、情報処理を行うインテリジェントノードをネットワーク上に分散配置する。即応型情報処理の適用を指定された制御対象に対し、インテリジェントノードの資源量や管理ノードとインテリジェントノード及び制御対象との通信遅延情報を用いて、制御対象への割当候補となる複数のインテリジェントノードを、システム管理を行う管理ノードが選択する。そして、候補となるインテリジェントノードに制御対象との通信遅延を計測させ、要求遅延を満たすインテリジェントノードを自動選択して、該当するセンサ情報の解析・処理に割り当てる。このようにして、指定したセンサや制御対象に対する即応型情報処理(フロー型情報処理)をクラウドのフロントエンドにあたる情報発生源近傍のインテリジェントノードで実施する。また、従来のデータセンタをバックエンドとして用いて蓄積型の情報処理を実施する。これらの即応型情報処理と蓄積型情報処理を組み合わせることで、複数のクラウドサービスが共用しているネットワークの品質、信頼性を損なうことなく、センサ情報などのストリーム型データを活用するサービスを安全にクラウドで提供することが可能となる。

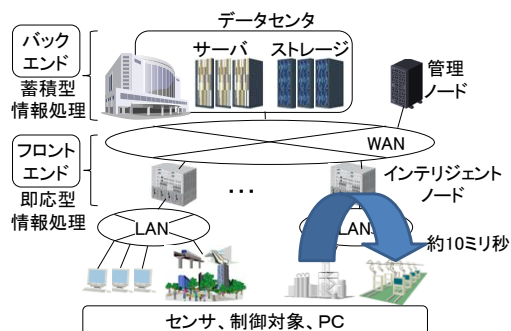


図9 リアルタイム分散処理技術

本課題では、配信高速化方式にも取り組み、データセンタや管理ノードからインテリジェントノードへのアプリケーションやデータの配信時間短縮も実現した。

課題2 - ウ) - 2 サービス継続のための高信頼切替技術の研究開発

本課題では、インテリジェントノードの障害発生時に、バックアップとなる別のインテリジェントノードへの切り替えを100 ミリ秒未満で実現するため、高精度な時刻同期に基づく切替方式を策定した。本方式では、IEEE1588v2 のグランドマスタークロックを用い、マイクロ秒単位の時刻同期精度で処理を引き継ぐタイミング情報のみを送信することで、インテリジェントノードの障害発生時に、バックアップとなるインテリジェントノードへ処理の引き継ぎを実現した。本方式と「課題2 - ウ) - 1」、「課題2 - ウ) - 3」の技術を連携させ、模擬広域網を用いた環境において総合評価を行った。その結果、広域網を介して配置したインテリジェントノードと既存 ICT 設備による小規模データセンタ(マイクロ DC)に含まれる現用系のインテリジェントノードで障害が発生した際に100 ミリ秒未満でバックアップとなるマイクロ DCに含まれるインテリジェントノードへ処理の実行位置をシームレスに切り替えできることを実証した。この他、インテリジェントノード内部の通信機能部における宛先テーブルの動的変更による切替方式、ダブルアクト状態の現用・予備の二重系インテリジェントノードにおいて予備系の通信出力を平常時は停止、障害発生後に開始する方式も策定し、いずれも試作機上で、目標値達成を確認した。

課題2 - ウ) - 3 分散クラウド技術の研究開発

本課題では、親管理、子管理、孫管理の3階層の管理構造を採用し、インテリジェントノードと既存 ICT 設備を連携利用した応答性の良い小規模データセンタ(マイクロ DC)を構築する技術、マイクロ DC の障害発生時には、サービスを継続するために他地域のインテリジェントノードや既存 ICT 設備を利用して代替となるマイクロ DC を自動的に再構築する技術を開発した。本技術の性能確認のため、シミュレータを構築し、1,000 台規模のインテリジェントノードと既存 ICT 設備を組み合わせたマイクロ DC が構成可能であることを確認した。また、激甚災害への対応を考慮し、サービス継続性が必要なシステムの代表例として、自治体が大量のセンサで収集した防災情報をユーザへ提供するインフラサービスを選定し、マイクロ DC のプロトタイプ構築と関東拠点・東北拠点を想定した総合評価を行った。この総合評価では、サーバ数台規模の小規模なマイクロ DC であれば5分以内で構成可能であり、ユーザ近傍にマイクロ DC を構成した場合には、通信遅延が短縮され応答性が良くなること、また、マイクロ DC の障害発生時には自動的にマイクロ DC を再構築し、サービスを継続できることを確認できた。

「課題2 - ウ) - 2」「課題2 - ウ) - 3」の成果は、実行中のクラウドサービスの障害影響の最小化や、ネットワークおよびクラウドシステム障害からの早期復旧に利用可能であり、広域災害時の復旧、復興への応用が期待できる。

課題間連携

「課題1クラウドシステム基盤連携技術」と「課題2クラウドネットワーク基盤技術」の連携による、高信頼なクラウド間連携の実現に向けて、仮想ネットワークを構成するオーバーレイ側から、アンダーレイを構成する

OpenFlow ネットワークを制御するためのフロー制御 API を定義した。本 API を使い、クラウド間接続のためのオーバーレイネットワークを生成する場合に、クラウド間連携の通信に最適なアンダーレイネットワークを生成可能であることを実証した。また、クラウドの要件変更などによりアンダーレイネットワークの経路を再構成可能であることを実証した。これらの検証は、図 10 に示す環境にて実施した。検証環境は、新川崎、福岡、仙台の 3 拠点に OpenFlow スイッチを配備し、新川崎と仙台に設置されたクラウド間を接続する経路（経路①、②）をクラウドシステムから制御できる構成とした。

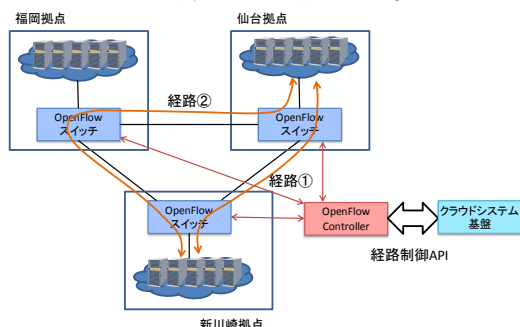


図 10 課題 1-2 連携検証の構成

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

・国際標準化への取り組み

「課題 1 クラウドシステム基盤連携技術」の研究開発成果を基に、インタークラウドのフレームワークならびに詳細仕様について、ITU-T SG13 へ寄書提案活動を継続する。これにより、クラウド関連サービスへの本技術普及の土台作りを推進する。インタークラウド勧告案について、平成 25 年 11 月の勧告化合意を目指す。

また、「課題 2 クラウドネットワーク基盤技術」の研究開発を基にネットワークと連携動作するサービス制御システムの早期実用化を図るべく、ITU-T SG13[2]において、サービス（セッション）移動に不可欠な要件の国際標準化を推進し、Y.3011[3]の勧告化を実現するとともに、Y.FNvirtreq 標準文書の策定と勧告案の合意に向けた活動を行った。さらに、本研究開発終了後も、サービス制御ノードにおける機能仮想化の市場導入を加速させるために、ETSI NFV ISG にて標準文書の策定を推進している。

・事業化に向けた取り組み

受託機関において、本研究開発で確立した要素技術を活用することで、新たなクラウドソリューションや製品化の検討を行い、新規ビジネス機会の創出を目指す。

4. むすび

本研究開発において、負荷変動時や広域災害における大規模障害発生時にも、クラウドシステム間でリソースを相互に融通しあうことにより利用者に対して安定したクラウドサービスを提供可能とする「クラウドシステム基盤連携技術」、ならびに、クラウドサービスの要求に応じたネットワーク機器等の制御をリアルタイムかつ自律的に実施可能とする「クラウドネットワーク基盤技術」を実現した。さらに、これらの技術を相互に連携させることで、高信頼クラウドサービス制御基盤を実現する技術を確認した。そして、本研究開発成果の実フィールドへの早期展開を実現するため、テストベッドを構築したうえで総合検証評価を重点的に実施するとともに、技術普及の土台作りと

するため、国際標準への提案活動を並行して推進した。

今後は、本成果技術のサービス化・製品化への反映を進めつつ、インタークラウド提案仕様の国際標準化に継続して取り組み、効率的に社会への幅広い普及を目指していく。

【誌上発表リスト】

[1] Sven GROOT, Kazuo GODA, Daisaku YOKOYAMA, Miyuki NAKANO, and Masaru KITSUREGAWA, “Modeling I/O Interference for Data Intensive Distributed Applications”, ACM SAC 2013 (2013 年 3 月)

[2] Ryoji Furuhashi and Akihiro Nakao, "OpenTag: Tag-based network slicing for wide-area coordinated in-network packet processing", IEEE ICC 2011 Workshop on Future Network (FutureNet IV), Kyoto, June 2011

[3] 矢崎 武己, “実世界情報処理に向けたクラウドネットワークワーキング”, ITU ジャーナル Vol.41 No.3 pp19-22

【申請特許リスト】

[1] 波戸邦夫、村山純一、胡博、村田祐一、リソース管理サーバ、リソース管理システム、リソース管理方法及びリソース管理プログラム、日本、2011 年 2 月 10 日

[2] 鈴木 一哉、制御装置、通信システム、経路切替方法及びプログラム、日本、2013 年 2 月 25 日

[3] 奥野 通貴、分散処理システム及び分散処理システムの管理方法、日本、2013 年 2 月 7 日

【国際標準提案リスト】

[1] ITU-T Focus Group Cloud Computing, Cloud-I-084, General requirements for inter-cloud computing, 2010 年 11 月 30 日、2010 年 12 月 3 日

[2] ITU-T SG13/ Q26,Q27,Q28 ラポータ会合、Q27-DOC01, Proposal for high level requirements of inter-cloud on draft Y.cceco, 2012 年 10 月 15 日、2012 年 10 月 16 日

[3] ITU-T SG13/Q21, ITU-T Y.3011, Y.3011 (Framework of network virtualization for future networks)、2011 年 10 月

【参加国際標準会議リスト】

[1] ITU-T Focus Group Cloud Computing 8th、ジュネーブ、2011 年 12 月 12 日

[2] ITU-T SG13、ジュネーブ、2013 年 2 月 18 日-3 月 1 日

[3] アジア・太平洋電気通信標準化機関(ASTAP)会合、バンコク、2011 年 5 月 25 日

【受賞リスト】

[1] 鈴木 一哉、伝宝 浩史、情報処理学会 DICO2012 優秀論文賞 / Paper Awards、“BGP 運用 ISP/DC ネットワークの OpenFlow による実現とその実装”、2012 年 10 月 2 日

【報道掲載リスト】

[1] “オープン技術を活用した、エコで災害に強い仮想化基盤を実現”、日刊工業新聞、2012 年 10 月 2 日

[2] “プライベートクラウドの信頼性と経済性を両立させる”、日経 BP 社 ITpro、2013 年 2 月 5 日

[3] “既存ネットで電力管理”、日経産業新聞、2013 年 2 月 20 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.gictf.jp/documents.html>

<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2012/01/0111.html>

<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2013/02/0220c.html>