

# 広域災害対応型クラウド基盤構築に向けた研究開発 (環境対応型ネットワーク構成シグナリング技術)

R&D on cloud service infrastructure for recovering wide-area disaster  
(Signaling technology of network configuration for sustainable environment)

## 研究代表者

高瀬 晶彦 株式会社 日立製作所  
Akihiko Takase Hitachi, Ltd.

## 研究分担者

宮田 英之<sup>†</sup> 山中 直明<sup>††</sup>  
Hideyuki Miyata<sup>†</sup> Naoaki Yamanaka<sup>††</sup>  
<sup>†</sup>富士通株式会社 <sup>††</sup>慶應義塾大学  
<sup>†</sup>FUJITSU LIMITED <sup>††</sup>Keio University

研究期間 平成 22 年度～平成 24 年度

## 概要

環境対応型ネットワーク構成シグナリング技術の研究開発プロジェクトを 2010 年度より 3 年間実施した。プロジェクトでは、ネットワークのリソースを管理するための「リソースマネジメント技術」及びネットワークとサーバリソースを統合制御するための「リソース連携シグナリング技術」の研究開発を実施した。前者では、コア網及びメトロ網における省電力化技術を開発した。また、後者では、アクセス網とデータセンタ連携による省電力化技術及びアプリケーションサービスにおける省電力化技術を開発した。

開発した技術を検証するため、三都県（宮城県、東京都、神奈川県）に模擬的に配備した複数データセンタから構成される大規模なクラウドシステムを構築した。開発した技術を評価した結果、サービス品質を劣化することなく消費電力を約 2 割から 3 割削減可能なことを検証した。

開発した省電力化技術に関して、ITU-T や IETF へ提案を行い、一部が勧告文書として発行された。

## 1. まえがき

クラウドサービス市場は、ICT 設備投資の負担軽減や情報処理の集約による環境負荷低減の効果が大きいと期待され、今後急速に拡大すると予測されている。クラウドサービス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、ネットワークのトラフィックの飛躍的拡大を伴い、ネットワーク全体の消費電力がますます増大することが予想される。このため、世界的な課題でもある CO2 排出削減に対する取組のため、クラウドサービスを提供するためのネットワークの省電力化技術も重要である。

こうした課題を解決するため、本研究開発課題においては、クラウドサービスの信頼性向上（安定・確実なサービス稼働の維持）と、ネットワーク利用の拡大（通信トラフィックの急増）に伴う消費電力の増大抑制を実現する高度なネットワーク制御技術である「高信頼・省電力ネットワーク制御技術」の確立を目指し、通信量の変化に応じて、ネットワーク機器及びサーバの稼働数や稼働箇所を迅速・柔軟に変化させることにより、ネットワーク全体の電力消費を必要最小限にするための「環境対応型ネットワーク構成シグナリング技術」の研究開発を実施する。これにより、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、クラウドサービス市場での我が国 ICT 産業の発展と国際競争力強化を図る。

## 2. 研究開発内容及び成果

技術開発としては、図 1 に示したように、ネットワークドメイン毎に異なるトラフィック特性に対応した技術を開

発する。コア網やメトロ網では、多様なトラフィックの重ね合わせによる特性変動があり、これに対応する省電力化を達成するため、ネットワークリソースのマネジメント技術を開発する。一方、アクセス網側では、データセンタを接続しており、アプリケーションや利用形態に依存したトラフィック特性変動があるため、ネットワークとデータセンタ全体としての省電力化を達成するため、アクセス網とデータセンタのリソース間連携シグナリング技術を開発する。

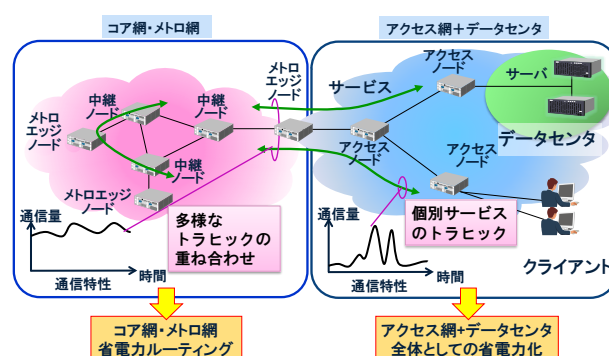


図 1 省電力リソース設計の概要

## 2. 1 リソースマネジメント技術

現在のネットワークでは、輻輳回避に重点を置き、回線中を流れるトラフィック量が設定閾値を上回ると、回線容量を増設するのが一般的である。しかし、トラフィックが流れる経路はルーティングプロトコルが決定した経路しか流すことができないので、設計通りにトラフィックを流すことが難しく、余剰な回線敷設となっていることが多い。また、ネットワーク機器の消費電力量は、トラフィックの増加・減

少といった時間変化に依存せず、トラヒックが少ない条件下でも一定以上の電力を消費しているため、余剰な電力を消費している。

このような余剰な電力消費を排除するためには、ネットワーク構築時もしくは増設・更改時に、想定したトラヒックを収容する上で適切な機器配置を行い、かつ想定トラヒック量に応じて、ネットワーク機器の稼働数や稼働箇所、性能を最適に設計し、ネットワーク全体の省電力化を図ることが有用である。一方で、ネットワーク運用時では、想定した設計値から外れた場合の対応が重要になり、発生したトラヒック量に適応した経路制御を行い、省電力化を図ることが求められる。

そこでリソースマネジメント技術では、前者の課題を解決するために、「省電力リソース設計技術」の研究開発を行い、後者の課題を解決するために、「適応的リソースマネジメント技術」の研究開発を実施した（図2）。

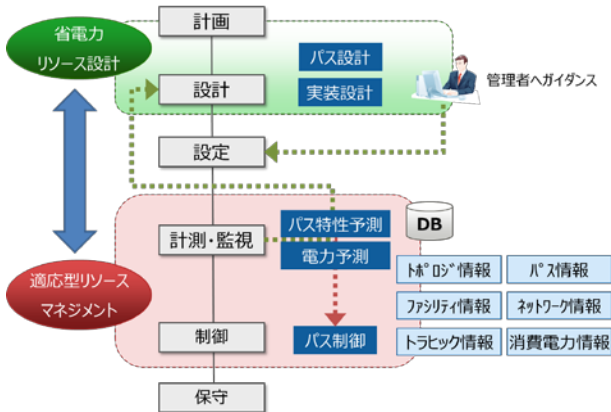


図2 リソースマネジメント技術の概要

### 2. 1. 1 課題1-ア)：省電力リソース設計技術

省電力リソース設計技術に関しては、ネットワーク構築時において事前に想定されるトラヒックデマンド(拠点間の要求帯域)の収容を保証し、ネットワーク全体の消費電力量が最小となる、ネットワーク機器配置設計技術を確立した。

本技術は、トラヒックデマンドの収容を保証する機器・回線の選定問題として、トラヒック経路、回線レート、利用ポート数の関係と、機器毎に搭載されるポート数上限の制約条件を定式化し、各拠点に配置される機器の電力総和が最小となるネットワーク構成を、数理計画問題に帰着して自動設計する技術である（図3）。

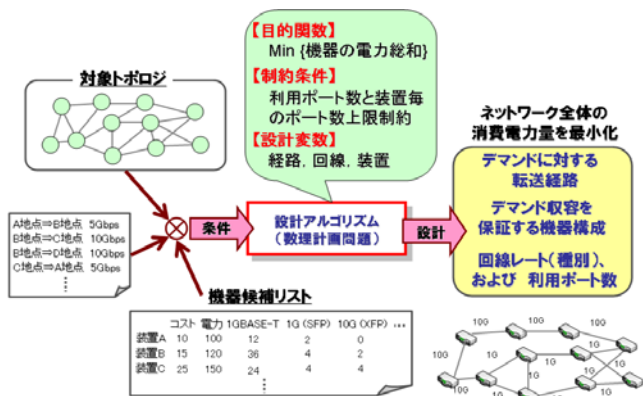


図3 省電力リソース設計の概要

本研究開発では、省電力ネットワーク設計を GUI ベースで簡易に統合設計できるソフトウェアを開発し、メトロコアネットワークを想定したモデル（24 拠点、電気と光のマルチレイヤネットワーク）で設計した結果、従来設計と比較した結果、約 3 割の電力削減効果が得られることを確認した。

### 2. 1. 2 課題1-イ)：適応型リソースマネジメント技術

適応的リソースマネジメント技術に関しては、トラヒック状態変化に応じたリアルタイムなネットワーク構成変更を実現するためのマルチレイヤネットワーク制御技術を確立した。

本技術は、論理トポロジと物理トポロジの両方を同時に表現する補助グラフと呼ばれるグラフ構造を作成し、その補助グラフ上の最小重み経路問題に帰着させることにより、消費電力増分値が最小となる光パスならびにそれを用いた経路を求めるものである（図4）。本アルゴリズムを用いることにより、オンデマンドなパス要求や急激なトラヒック変動にもリアルタイムで省電力な経路を計算できる。また、光パケット統合ネットワーク向けの光カッターを用いた省電力パス経路計算手法を評価するソフトウェアを開発し、メトロコアネットワークを想定したモデルでシミュレーションを行い、従来制御と比較した結果、約 1 割の電力削減効果が得られることを確認した。

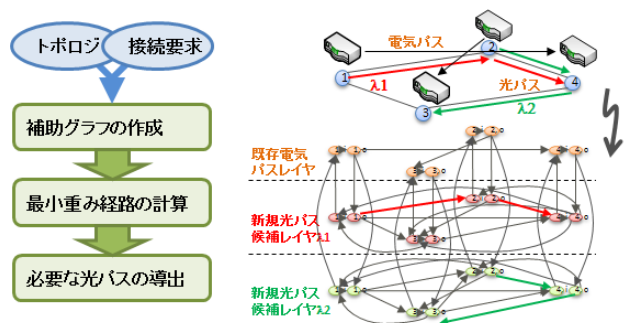


図4 補助グラフを用いた経路計算方式例

また、ネットワークを制御するコントローラに関し、その拡張性、耐障害性の実現には、ネットワーク制御コントローラの物理的な分散化が必要である一方、マルチレイヤの省電力ネットワーク制御など複雑な制御を行う際には、集中的なネットワーク制御が望ましい。両者のメリットを取るために、複数の制御コントローラから構成されるが、論理的には単一の制御部からなる制御技術を確立し、検証用ソフトウェアの開発を行った。また、その作成した検証用ソフトウェアを用いて、検証用ソフトウェアの評価を行い、提案アーキテクチャの有効性を示した。

まとめとして、上記「省電力リソース設計技術」及び「適応的リソースマネジメント技術」を用いた設計及び制御システムを用いることにより、ネットワーク全体で約 2 割から 3 割の消費電力を削減できることを示すことができた。また、本技術を搭載したプロトタイプシステム機を開発し、実ネットワーク（JGN-X）において評価検証を行い、その有効性を確認した。

## 2. 2 リソース連携シグナリング技術

これまでの省電力化では、ネットワークにおける制御とサーバ処理における省電力化制御が個別の判断で行われており、それぞれの管理システムでは、互いの状態や制御

の状況を把握していない。そのため、サーバリソース制御とネットワークリソース制御を連携した、全体としての省電力化制御が実施されていない。また、一方のリソース、例えばサーバ側のリソースにおける過度な稼働サーバ集約による省電力化制御を行った場合、ネットワーク側のリソース不足が発生、或いは逆の場合によるサーバ側リソース不足が発生といったように、提供するサービス品質を劣化することのない省電力化は実施されてきていない。そのため、トラヒック状況及び複数の地点に配置されるサーバの処理状況を一元的に管理し、それらの状況に追従してネットワーク及びサーバを制御し、サービス品質を劣化することなくネットワーク及びサーバ全体が消費する電力量を削減する技術が求められている。

そこで、リソース連携シグナリング技術の研究開発では、ノード（ネットワーク及びサーバ）レベルとしてのアクセス網と複数データセンタにおける統合リソース管理を実現するための「リソース管理方式」、サービス品質を維持した省電力化を実現するための「負荷変動対応モニタリング・制御技術」及び消費電力の総量を約2割から3割削減可能とするための「リソース配置適正化技術」の研究開発を実施した。また、アプリケーションレベルとしての省電力なサービス機能を提供するための「省電力処理のためのサービスルーティング技術」及び省電力なサーバにてサービス提供を行うための「SLAを保証した省電力サーバ動的配置基盤」の研究開発を実施した。

### 2.2.1 課題2-ア)：リソース管理方式

リソース管理方式に関しては、図5に示したように階層的な管理サーバ構造により、ネットワーク・サーバリソースを、スケーラブルに管理する技術を確立した。

具体的には、親管理サーバ（全体管理）、子管理サーバ（モニタリング/判断）の役割を規定するとともに、管理データ、管理サーバ間インタフェースを定義した。システム管理のスケーラビリティの確保、大規模システムにおける迅速な制御を実現するため、基本的に親管理サーバが全体の管理を行い、子管理サーバが個々のデータセンタにおけるモニタリング・配置判断を実行する。計測データの収集管理においては、子管理サーバにより各アクセスノード、サーバから処理量や消費電力を表す計測データの収集を行い、サマリデータのみ親管理サーバに報告する技術を確立した。構成変更においては、親管理サーバが大域的なリソース配置に必要な制約条件等の設定パラメータを計算し、子管理サーバでリソース配置への詳細化を行った上でリソース配置指示を各アクセスノード、計算サーバに対して実行する技術を確立した。さらに、確立した技術をプロトタイプに実装し、動作確認を行った。

以上開発した技術を、課題2-ウ)：リソース配置適正化技術の実証実験システムに統合実装し、大規模クラウドにおいて、アクセス網内の全ノードに対する消費電力量を約2割から3割削減するための制御が可能であることを検証した。

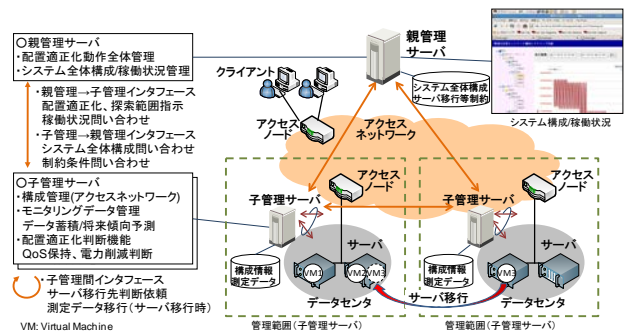


図5 リソース管理システム構成

### 2.2.2 課題2-イ)：負荷変動対応モニタリング・制御技術

負荷変動対応モニタリング・制御技術に関しては、トラヒックの変化に対応可能なモニタリング制御方式及び同方式によりネットワーク障害の予兆を検出し制御機能に通知する高負荷の動的集中監視技術を確立した（図6）。

具体的には、モニタリングレートをトラヒックの変化に合わせて動的に変更することにより、測定データの肥大化を抑制しつつ、トラヒック変化に追従してサービス毎にトラヒックを測定する技術を開発した。さらに、輻輳等の予期できない事象に起因するネットワーク性能劣化を回避するために、リアルタイムに性能劣化の原因となるネットワーク機器を特定し、仮想サーバの再配置を行う管理サーバへと通知する技術を開発した。リアルタイムモニタリングデータに基づき、ボトルネックになるルータ及びサーバを素早く特定する、マハラノビスの距離を用いた自己学習型多次元解析方法を提案した。さらに、確立した技術をプロトタイプに実装し、動作確認を行った。

以上開発した技術を、課題2-ウ)：リソース配置適正化技術の実証実験システムに統合実装し、大規模クラウドにおいて、リアルタイムモニタリングデータに基づき、アクセス網内の全ノードに対する消費電力量を約2割から3割削減可能であることを検証した。

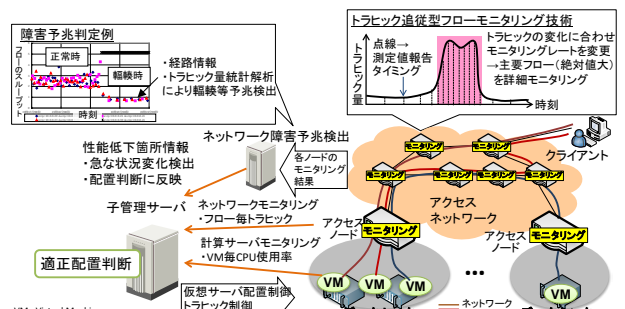


図6 負荷変動対応モニタリング・制御技術構成

### 2.2.3 課題2-ウ)：リソース配置適正化技術

リソース配置適正化技術に関しては、サービス品質を維持した省電力化を達成するための、ノード（サーバ及びネットワークノード）による消費リソースの配置適正化技術を確立した。

本技術は、全アクセス網内に存在するノードが消費する電力の総量を、省電力化制御の前後において提供するサービス品質を劣化することなく、従来と比較して約2割から3割削減を可能とするため、ノードの処理負荷が低下する深夜や早朝の時間帯において、サービスを提供する処理を実行する仮想マシン（VM）や稼働するネットワークノード



ドの集約を行い、不要なサーバ等の稼働を停止することで省電力化を達成している。

具体的には、評価する期間の 40% 程度の時間帯において、省電力稼働を実行する構成とすることにより、約 2 割から 3 割の省電力化を達成する方針とした。そのため、24 時間で評価する場合、VM 集約による省電力配置時間を 10 時間程度継続することが条件となり、達成のためには、非省電力配置から省電力配置へ 1 時間以内に遷移する必要がある、VM の移動 (マイグレーション) 時間を考慮すると、約 10 分程度で VM の省電力配置を決定する必要があり、これを要求条件として規定した。

上記目標を達成するため、本研究では、ネットワークの通信量を考慮するとともに、省電力効果の高い VM の片寄せ先のサーバを、膨大なパターンの中から効率的に決定するための技術を開発した。具体的には、1) サービス品質を維持した VM の省電力配置を決定するための、稼働する全ノードの将来負荷予測方式、2) 膨大なパターンの中から省電力な VM の配置を高速に決定する方式を開発した。

開発した将来負荷予測方式では、各ノードにおける CPU 負荷、メモリ負荷、送信データ負荷、受信データ負荷といった各資源に対し、5 分間隔に取得した 7 日間の平均負荷データから 8 時間分の将来負荷データを予測する処理をコンポーネント化することにより、各ノードに対する計算を並列化、さらに VM の省電力配置を決定するプロセスと重複しない時間帯に実行することで、1000 個の資源に対する将来負荷予測を 3.5 分で完了する、高速な予測技術を開発した。また、省電力な VM 配置計算では、マスターとなるデータセンター (DC) の管理サーバとスレーブとなる他の複数の DC 管理サーバとが並列で省電力な配置を探索し、且つ DC 間を接続するネットワーク側の負荷予測を条件とすることにより、広域に分散した 400 サーバ上の 1000VM (1 ユーザあたりの最大 VM 数の想定) における省電力な配置を 10 分以内で決定する高速な判定技術を開発した。

また図 7 に示したように、神奈川県、東京都、宮城県内に模擬的に構成配備した DC とそれらを JGN-X で接続した大規模な実証実験システムを構築し、課題 2-ア) のリソース管理技術 (DC 統合管理/DC 管理/ユーザ管理による階層管理) 及び課題 2-イ) の負荷変動対応モニタリング・制御技術 (高負荷の動的集中監視) と、本課題における開発技術であるリソース配置適正化技術を統合実装した。その結果として、各ユーザが保有する 1000VM 程度に対して並列な省電力化制御を実現するとともに、省電力化制御の前後において提供するサービス品質を劣化することなく、全 VM の省電力な配置を 10 分以内に決定可能であり、アクセス網内の全ノードに対する消費電力量を約 2 割から 3 割削減可能なことを検証した。

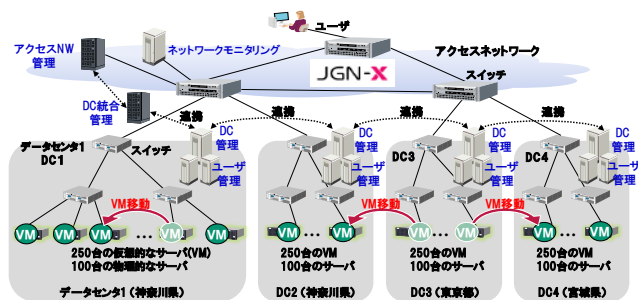


図 7 大規模実証実験システム構成

## 2. 2. 4 課題 2-エ) : 省電力処理のためのサービスルーティング技術

省電力処理のためのサービスルーティング技術に関しては、マッシュアップサービス提供時、ネットワーク及びサービスパーツ (サーバ) の消費電力の総和が最小となるルートを選択する技術を確認した。マッシュアップサービスとは、ネットワークに接続した機能ブロック (サーバ内の処理プログラム、コンテンツ、ストレージ等) をサービスパーツと呼び、サービスパーツを順次接続していくことで新たなサービスパーツを創造することを言う。本技術は、ネットワークとサービスパーツの消費電力の総和が最小となるようルートを選択することにより、省電力化を実現している。

具体的には、現状のままではネットワークの消費電力とサービスパーツの消費電力の総和が最小となるルートを容易に選択することができないため、サービスレイヤのトポロジを生成し、IP ルーティング技術を応用する方針とした。具体的には、図 8 のサービスレイヤのトポロジ生成例に示すように、サービスパーツをノードと扱い IP アドレスを付与し、ネットワークレイヤのトポロジにサービスパーツをノードとして加え、サービスパーツの消費電力をリンクコストに反映したサービスレイヤのトポロジを生成する手法を開発した。また、サービスパーツへの IPv6 アドレスの割り当てについての仕様を策定した。

サービスレイヤのトポロジ上での省電力サービスルーティングアルゴリズムについては、3D ダイクストラ法 (ダイクストラ法を 3 次元に拡張)、サービスコピーによるエネルギー削減法、サービス開始時点でのサービス中のトラフィックの保留時間を考慮した動的経路選択手法等を開発し、提案アルゴリズムの有効性 (サービスルーティングの計算時間、最小消費電力) についてシミュレーションにより検証し、従来と比較してネットワークとサービスパーツの消費電力の総量を約 2 割から 3 割削減できることを確認した。

また、上記提案アルゴリズムの有効性について、各アルゴリズムに対応する実験システムを構築して検証した。更に、図 7 に示した、神奈川県、東京都、宮城県内に模擬的に構成配備したデータセンターのスイッチにサーバ 10 台を分散配置して実ネットワーク (JGN-X) における評価実験を行い、有効性を確認した。

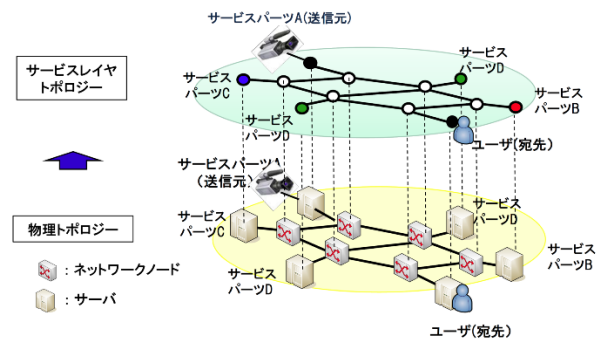


図 8 サービスレイヤのトポロジ生成例

## 2. 2. 5 課題 2-オ) : SLA を保証した省電力サーバ動的再配置基盤

SLA を保証した省電力サーバ動的配置基盤に関しては、自律分散制御によりサービス品質を保ちながら最適なサーバの動的配置を実現する技術を確認した。

本技術は、マッピングノード（データセンタを管理する代表サーバ）が、サービス品質を保ちながらクライアントからのサービス要求の転送量を制御することでサーバの配置を変更し、省電力化を実現している。

具体的には、図9の正常時のサービス提供例に示すように、マッピングノード群はオーバーレイネットワークを形成し、互いに各データセンタのサーバや各サービスのSLAに関する情報を共有し、サーバのリソース状況とSLAに基づき、受け付けたサービス要求を他のマッピングノードへ転送すべきか、自データセンタ内へ振り分けるべきか判断する。そして、リソース使用量に応じてサーバの数を自動で増減させるオートスケーリング機能を活用し、各マッピングノードはサーバ数を増やしたいデータセンタへは多くのサービス要求を、サーバ数を減らしたいデータセンタへはサービス要求の転送を少なくすることにより、自律分散でのサーバの動的再配置を実現する。また、マッピングノード群でオーバーレイネットワークを形成することにより、サービス要求が集中するホットスポットとなるノードの存在を避けることができ、かつ、データセンタ全体が停止するような障害が発生しても、マッピングノード間の接続変更によりサービスの継続が可能となる。

従って、図9の障害発生時のサービス提供例に示すように、本機構を用いることにより、大規模災害発生時であっても、重要なサービスだけはできる限り継続的に維持するための基盤を提供することが可能である。各サービスにあらかじめその重要度を指定しておけば、データセンタの停止等により突発的に計算資源量が変動した時でも、重要度の高いサービスへ優先的に計算資源を割り当てることが可能となり、大規模災害発生時であっても災害情報の収集や広報といった重要なサービスを安定的に提供可能になると期待できる。

上記の機構の有効性について、クラウド環境を想定したエミュレータを用いた実験システムを構築して検証した。更に、図7に示す、宮城県及び神奈川県に構築したデータセンタの環境を用いて実証実験を行い、一方のデータセンタが停止しても他方のデータセンタを用いてサービスの継続が可能となることを確認した。また、他の課題開発技術と組み合わせることにより、従来と比較して消費電力を約2割から3割削減可能なことを検証した。

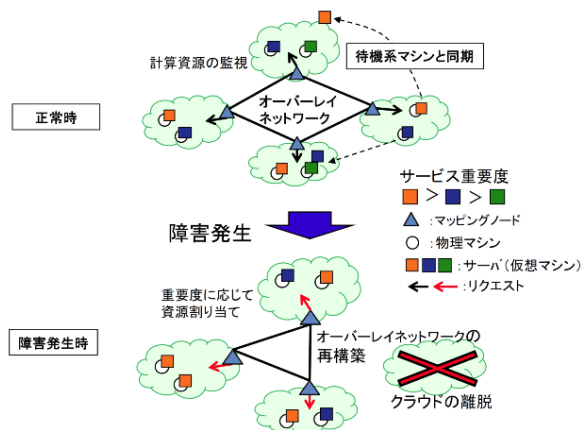


図9 障害発生時のサーバ動的再配置

## 2. 3 研究開発成果の社会展開のための活動実績

標準化活動について、ITU-T SG13（モバイルとNGNを含む将来網）において、2010年から開催されたFG-FN（Focus Group on Future Networks）において、将来網の枠組みの中で省電力ネットワーク技術の必要性を認識

してもらった活動を行い、将来網の全体コンセプトをまとめる「ビジョン文書」の省電力関連の章及び個別技術としての「ネットワーク省電力化文書」に対する寄書提案を中心に活動を行った。その結果、2011年に勧告 Y.3021（Framework of energy saving for Future Networks）として、これまでの提案を盛り込んだ形で勧告化された。IETF（Internet Engineering Task Force）においては、IRTF（Internet Research Task Force）内に EERG（Energy Efficient Research Group）設立を視野に入れた会合に参加し、開発技術に関して標準化推進の提案を行った。具体的には、「省電力クラウドシステム」の標準化に向け、仮想サーバより提供するサービスの品質を維持した省電力化制御の重要性を示す「プロブレムステートメント」を提案した。また開発した省電力なクラウドシステム仕様の標準化に向け、「Requirements for an Energy-Efficient Network System」について発表を行った。

公開デモンストレーションについて、ITpro EXPO2012及び Interop2012において、省電力ネットワーク設計手法を適用したネットワークマネージャの動態展示を行い、雑誌に取り上げられた。また2011年に、開発した省電力リソース設計技術について新聞一面にて報道発表を行った。省電力のためのサービスルーティング技術の提案方式の実装検証結果を、慶應テクノモール、クラウドネットワークシンポジウムで動態デモ展示した。更に、サービスルーティング技術について総合評価を実施し、実装検証結果を国際会議 iPOP2012、MPLS2012、慶應テクノモール2012、クラウドネットワークシンポジウム2013にて動態デモ展示した。

経済産業省にて実施の「次世代高信頼・省エネ型IT基盤技術開発・実証事業プロジェクト」との間で相互に連携することにより、研究開発成果のさらなるエンハンスが期待されるため、経済産業省側の「省エネ型クラウドコンピューティングのためのクラウド上のセンサー管理基盤の研究開発」（[http://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/joho/cloud/2011/](http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/cloud/2011/)）の委託を受けた日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所と議論を行い、お互いのプロジェクトにおいて、ICTシステムの省電力化に対して、技術領域的に重複することなく、またそれぞれの機関が的確な研究開発分担になっており、確実な成果を出していることが確認できた。さらに開発技術のエンハンスや事業化推進の結果、それぞれの技術が有機的に連携するようなクラウドシステムの構築も期待できることを確認できた。今後としては、互いの研究成果を参考に、各機関が開発技術のエンハンスに努め、それぞれの機関において事業化を目指すという結論に至った。（参考：平成23年度次世代高信頼・省エネ型IT基盤技術開発事業報告書、[http://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/joho/cloud/2011/](http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/cloud/2011/)）

実用化の促進のため、1,000～10,000の仮想マシンによる大規模システムを想定した環境にて検証を実施し、本研究における開発技術の有効性を確認した。さらに実用化後の導入促進のため、実データセンタのリソースを組み込んだ3都県（宮城、東京、神奈川）にまたがる大規模な実証実験システムを構築し、開発技術の有効性を検証した。

## 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

国際標準化については、ITU-T SG13において議論されているY.FNsdnにおいて、Y.FNsdnのユースケースに対

するテンプレートに従って省電力ルーティングなどのユースケースを提案すると共に、テレコム SDN の要求条件やアーキテクチャなどの標準化へ貢献する予定である。IETF においては、IRTF 内に EERG 設立を視野に入れた会合に参加し標準化活動を継続していく予定である。

今後の製品化促進のため、開発した技術の一部を活用し、サービスと連動したネットワーク管理制御を実現するための研究開発を継続推進していく予定である。

#### 4. むすび

本研究開発では、大規模クラウドシステムにおいて、提供するサービスの品質を劣化することなくシステム全体の消費電力を削減する技術を開発した。

リソースマネジメント技術については、ネットワーク設計から制御までをトータルサポートする統合ネットワーク運用管理によって、メトロネットワーク全体の電力消費を削減するリソースマネジメント技術を確立した。

リソース管理方式に関しては、階層的な管理サーバ構造により、ネットワーク・サーバリソースを、スケーラブルに管理する技術を確立した。

負荷変動対応モニタリング・制御技術に関しては、トラヒックの変化に対応可能なモニタリング制御方式及び同方式によりネットワーク障害の予兆を検出し制御機能に通知する高負荷の動的集中監視技術を確立した。

リソース配置適正化技術に関しては、サービス品質を維持した省電力化を達成するための、ノード（サーバ及びネットワークノード）による消費リソースの配置適正化技術を確立した。

省電力処理のためのサービスルーティング技術に関しては、マッシュアップサービス提供時、ネットワーク及びサービスパーツ（サーバ）の消費電力の総和が最小となるルートを選択する技術を確立した。

SLA を保証した省電力サーバ動的配置基盤に関しては、自律分散制御によりサービス品質を保ちながら最適なサーバの動的配置を実現する技術を確立した。

これらの結果により、最終的な目標であるネットワーク及びサーバの消費電力の総量を従来と比較して約 2 割から 3 割削減できることを達成することが確認でき、「環境対応型ネットワーク構成シグナリング技術」確立をできたと考える。

今後、3 年間の研究開発により得られた知見や課題を基に、それぞれの技術について更なる改良・評価を行い、本技術を基にした事業化や成果の展開を図っていく予定である。

#### 【誌上発表リスト】

- [1]D.Ishii, K.Nakahara, S.Okamoto, N.Yamanaka, “A Novel IP Routing/Signaling Based Service Provisioning Concept for Ubiquitous Grid Networking Environment”, IEEE Globecom 2010 Workshop on Ubiquitous Computing and Networks (UbiCoNet2010), No. 4-3, pp.1808-1812, 2010 年 12 月 10 日.
- [2]Sho Shimizu, Satoshi Imai, Akiko Yamada, “Auxiliary Graph Based Approach for Impairment Aware Green Lightpath Provisioning”, The 17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2011), Tu-14-1, 2011 年 10 月 4 日.
- [3]T. Suzuki et al, “Power-saving ICT Platform that Guarantees Network Bandwidth for Cloud-service Systems,” TS-A4, Cloud Computing Technical Session,

World Telecommunications Congress (WTC2012), 2012 年 3 月 6 日

#### 【申請特許リスト】

- [1]今井悟史、経路決定装置、経路決定方法及び経路決定プログラム、日本、米国、2010 年 2 月 23 日
- [2]垂井俊明・宮本啓生・下川功・馬場智宏、仮想計算機の移動方法、仮想計算機システム及び管理サーバ、日本、2010 年 12 月 28 日
- [3]下川功・垂井俊明・宮本啓生・馬場智宏、障害解析装置、そのシステム及びその方法、PCT、2011 年 3 月 3 日

#### 【国際標準提案リスト】

- [1]ITU-T・SG13 会合、903、Proposed additional text for impact analysis of energy-saving in Y.FNenergy、2011 年 5 月 9 日.
- [2]ITU-T・SG13 会合、954、Proposal on modifications of Y.FNenergy for consent、2011 年 10 月 10 日.
- [3]85th IETF、draft-suzuki-eens-requirements-00、Requirements for an Energy-Efficient Network System、2012 年 10 月 15 日

#### 【参加国際標準会議リスト】

- [1]ITU-T、SG13 会合、Geneva, Switzerland、2010 年～2012 年.
- [2]IETF、84th IETF、Vancouver, BC, Canada、2012/7/30-8/2
- [3]IETF、85th IETF、Atlanta, GA, USA、2012/11/5-11/8

#### 【受賞リスト】

- [1]鈴木敏明・飯島智之・下川功・垂井俊明・桑原真一・高木秀典・馬場智宏、ENERGY 2013 Best Paper Award、“A Large-scale Power-saving Cloud System Composed of Multiple Data Centers”、2013/5/7
- [2]清水翔、今井悟史、山田亜紀子、フットニックネットワーク研究会 フットニックネットワーク研究賞、“補助グラフに基づく光再生中継器の存在を考慮した省電力ルーティング”、2012/3/12

#### 【報道掲載リスト】

- [1]“電力削減 20%を実現できるネットワークの自動設計技術を開発”、日刊工業新聞 2011 年 8 月 10 日朝刊 1 面・日経産業新聞 2011 年 8 月 11 日朝刊 12 面その他 Web 記事など、2011/8/10,2011/8/11
- [2]“[Interop 2012 レビュー] 富士通が“非 OpenFlow”の SDN を参考出展、IP 網上に専用線を設定”、日経コミュニケーション 2012 年 7 月号、2012/6/13
- [3]“日立、複数の DC 間でサーバを移動・集約させる負荷配置適正化技術”、日刊工業新聞 2013 年 3 月 20 日 25 面、2013/3/20

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1]<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2013/02/0220b.html>
- [2][http://www.keio.ac.jp/ja/press\\_release/2012/kr7a430000b1yzh.htm](http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2012/kr7a430000b1yzh.htm)