

**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)

代表研究責任者 高瀬 晶彦 株式会社 日立製作所 通信ネットワーク事業部
研究開発期間 平成 22 年度～平成 24 年度

【Abstract】

A project for the “R&D on signaling technology of network configuration for sustainable environment” has been conducted for three years since FY2010. In the project, two activities for R&Ds on 1) network resource management and 2) signaling for cooperation between network- and sever-resources have been conducted. More specifically, power-saving scheme for core- and metro-networks is addressed in the former R&D activity. In addition, power-saving schemes for i) access networks and data centers (DCs) and ii) application services are tackled in the latter R&D activity.

To verify effectiveness of developed technologies, a large scale cloud system that is composed of simulated three DCs (those are distributed in three prefecture such as Miyagi, Tokyo, and Kanagawa) was constructed. The evaluation results shows that the developed technologies are useful to save power consumption in cloud systems by between 20% and 30% while service quality is maintained.

With regard to standardization activities, the results to make networks energy efficient have been contributed to international standards bodies such as ITU-T and IETF and some of them are published as standards.

1 研究開発体制

- **代表研究責任者** 高瀬 晶彦 (株式会社 日立製作所 通信ネットワーク事業部)
- **研究分担者** 宮田 英之† (富士通株式会社 ネットワークソリューション事業本部†)
山中 直明†† (慶應義塾大学 理工学部情報工学科††)
- **研究開発期間** 平成 22 年度～平成 24 年度
- **研究開発予算** 総額 1,294 百万円

(内訳)

平成 22 年度	平成 23 年度	平成 23 年度補正
400 百万円	382 百万円	512 百万円

2 研究開発課題の目的および意義

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ヒ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（通信トラヒックの急増）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。

3 研究開発成果

3. 1 リソースマネジメント技術

電気通信事業者内のネットワークを想定し、対象ネットワーク内のすべてのネットワーク機器に本技術を適用した際、ネットワーク機器の消費電力の総量を従来と比較して約 2 割から 3 割削減できるようにすることを目標とする。

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ヒ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、トラヒ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、設計通りにトラヒ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、トラヒックの増加・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。

3. 1. 1 課題 1-A) : 省電力リソース設計技術

メトロコアネットワークにおいて、通信品質を保証しつつ、省電力となるネットワーク構成を得る、省電力リソース設計技術を確立し、設計と制御を組み合わせると従来と比較し、約 2 割から 3 割の電力

削減を可能とする。

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事前に想定されるトラフィックデマンド(拠点間の帯域)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、トラフィ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、トラフィック経路、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1)。

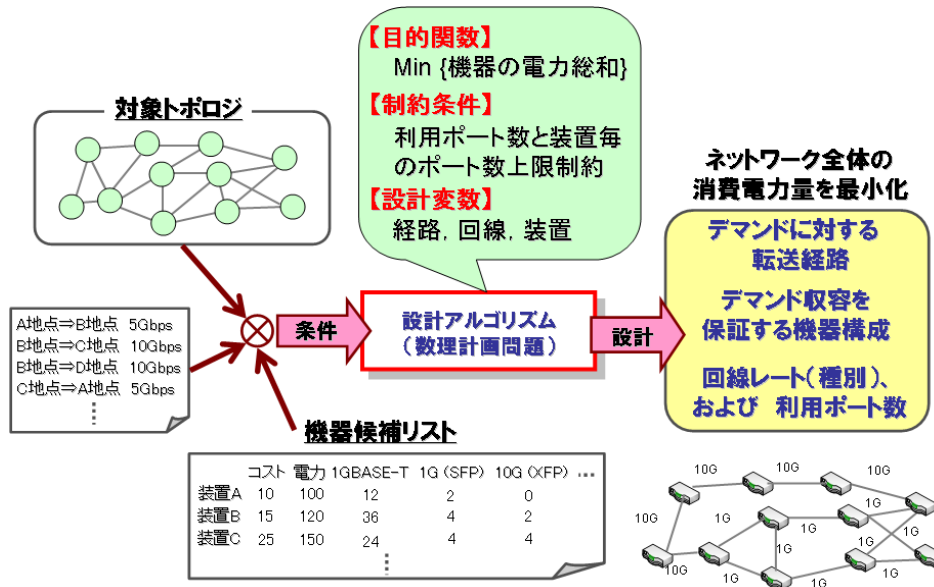


図 1 省電力リソース設計の概要

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。

3. 1. 2 課題 1-イ) : 適応型リソースマネジメント技術

メトロコアネットワークにおいて、トラフィ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、適応的リソースマネジメント技術を確立し、設計と制御を組み合わせることで従来と比較し、約 2 割から 3 割の電力削減を可能とする。

適応的リソースマネジメント技術に関しては、トラフィ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2)。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フィ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トスル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。

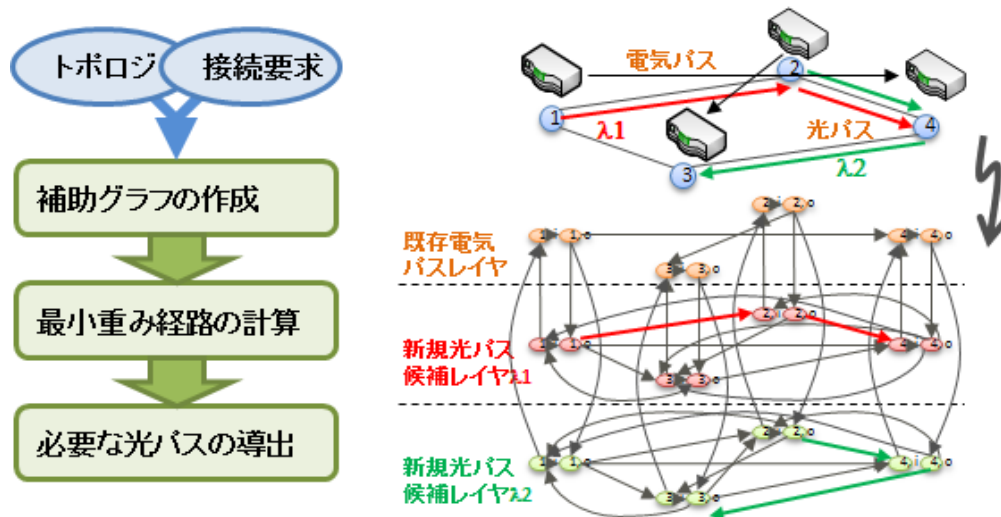


図 2 補助グラフを用いた経路計算方式例

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認し、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」および「適応的リソースマネジメント技術」を用いた設計およ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。

3. 2 リソース連携シグナリング技術

電気通信事業者内のネットワークを想定し、対象ネットワーク内のすべてのネットワーク機器及びサーバに本技術を適用した際、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 割削減できるようにすることを目標とする。

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いない。そのため、トラフィ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「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。

3. 2. 1 課題 2-ア) : リソース管理方式

全アクセス網ノード（サービス提供サーバやネットワークノード）において、リソースをスケラブルに管理するための技術を確立し、他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の総量を約 2 割から 3 割削減可能とする。

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なることを検証した。

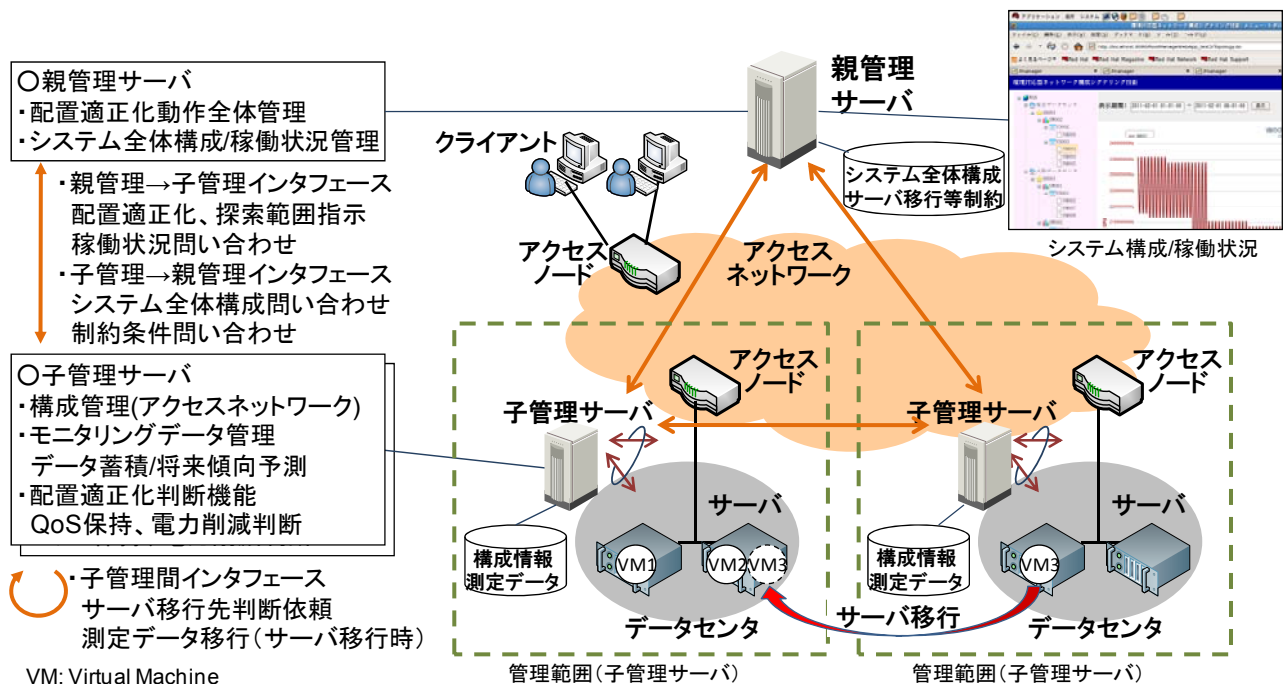


図 3 リソース管理システム構成

3. 2. 2 課題2-イ)：負荷変動対応モニタリング・制御技術

全アクセス網において、サービス品質を維持した省電力化を実現するため、ノードにおける負荷量の変動に動的に対応するモニタリング技術を確立し、他課題開発技術と組み合わせることにより、従来と比較して全アクセス網ノードにおける消費電力の総量を約2割から3割削減可能とする。

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。

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割削減可能なことを検証した。

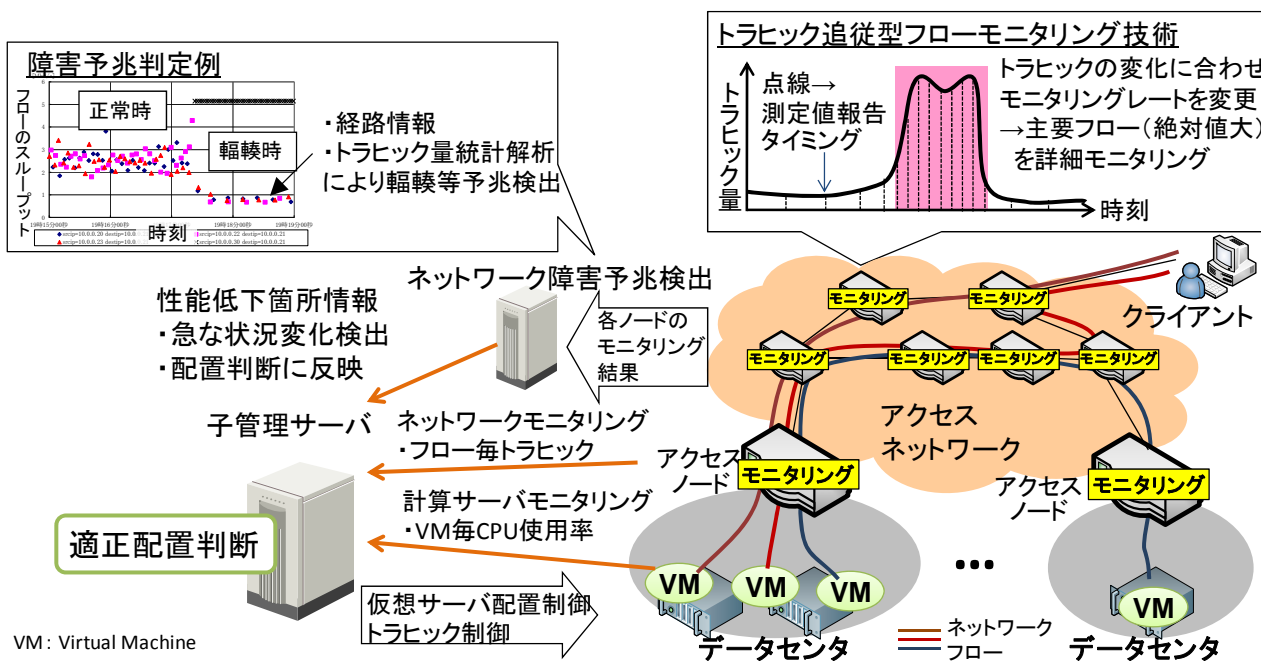


図 4 負荷変動対応モニタリング・制御技術構成

3. 2. 3 課題2-ウ)：リソース配置適正化技術

全アクセス網ノード（サービス提供サーバやネットワークノード）において、サービス品質を維持した省電力化を達成するためのリソース配置適正化技術を確立し、他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の総量を約2割から3割削減可能とする。

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) や稼動するネットワークノードの集約を行い、不要なサーバ等の稼動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、30% 程度の消費稼動を実行する構成とすることにより、28% 前後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り、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、稼動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 (2016 点) から 8 時間分の将来負荷データ (96 点) 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 (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 5 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-X¹ 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) および課題 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。

¹独立行政法人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

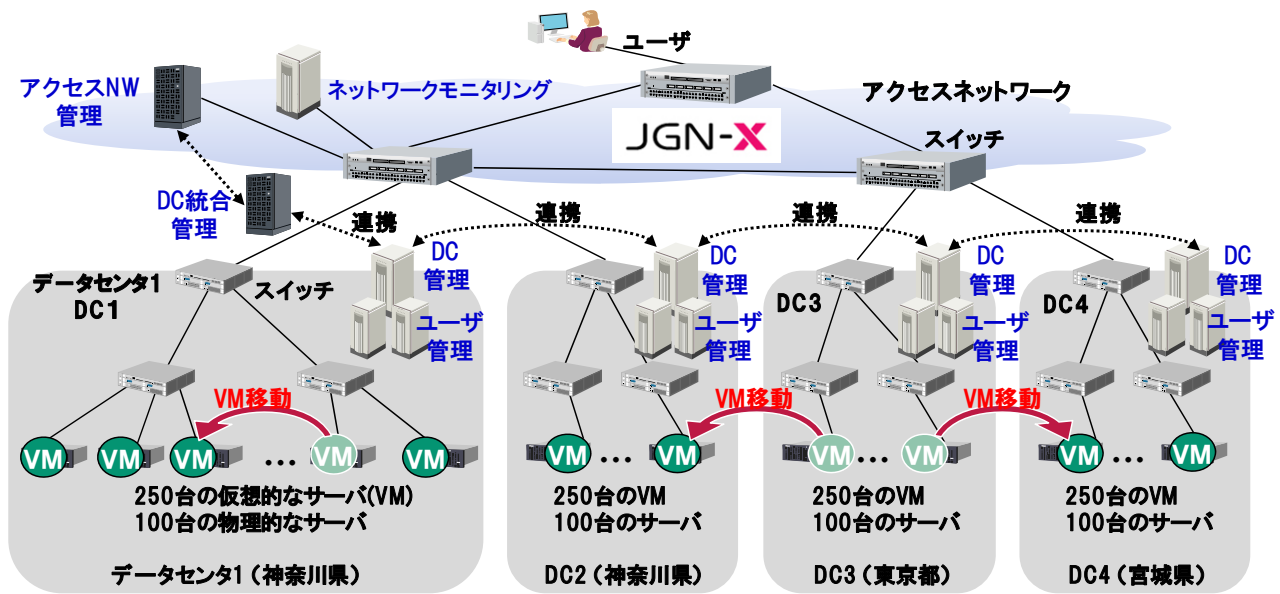


図 5 大規模実証実験システム構成

3. 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

マッシュアップサービスの省電力サービスルーティング技術を確立し、従来と比較してネットワークとサーバの消費電力の総量を約 2 割から 3 割削減可能とする。

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。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少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選択することができないため、サービスレイヤで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。そこで、サービスパーツをノードとして扱い 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 5 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。

3. 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(Service Level Agreement)を保証した省電力サーバ動的配置基盤技術を確立し、他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割削減可能とする。

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。

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、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、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5に示す、宮城県およ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。

3. 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う活動を行い、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、およ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 EXP02012 および 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、経済産業省側のプロジェクト担当である日本アイ・ビー・エム株式会社と議論を行い、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極めて的確な研究開発分担になっており、優れた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。

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。

4 研究開発成果の社会展開のための計画

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。

5 査読付き誌上発表リスト

- [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 (2010/12/10) :
- [2]S.shimizu, S.Imai, A.Yamada, “Auxiliary Graph Based Approach for Impairment Aware Green Lightpath Provisioning”、 Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2011) (2011/10/2-5) :
- [3]T.Kurita, “Framework of energy saving for Future Networks - Recommendation ITU-T Y.3021 -”、 OSIA (Open Standards and Internet Association) Standards & Technology Review Journal 、 March 2012 (2012/3/31)
- [4]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), (2012/3/06) :
- [5]J.Marukawa, Y.Nomura, S.Yamada, M.Terasawa, S.Okamoto, N.Yamanaka, “Scalable Multi-Path Discovery Technique for Parallel Data Transmission in Next Generation Wide Area Layer-2 Network”、 1st International Symposium on Access Spaces (IEEE-ISAS 2011), No. GS5-A-1, pp. 208-212, (2011/6/19) :
- [6]S.Tonosaki, H.Yamada, K.Kono, “Efficiently Synchronizing Virtual Machines in Cloud Computing Environments”、 2011 Third IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, pp.154-162 (2011/12/1) :
- [7]I.Shimokawa and T.Tarui 、 “ Network-monitoring Method based on Self-learning and Multi-dimensional Analysis”、 The Second International Conference on Advances in Information Mining and Management (IMMM2012) (2012/10/22) :
- [8]T.Suzuki et al.、 “A Large Scale Power-saving Cloud System composing of multiple Data Centers”、 The Third International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware Technologies (Energy2013) (2013/3/27) :
- [9]H.Shirayanagi, H.Yamada, K.Kono, “A VM Migration-aware Network Topology for Saving Energy Consumption in Data Center Networks”、 2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), pp.460-467 (2012/7/3) :
- [10]H.Horie, M.Asahara, H.Yamada, K.Kono, “Inter-Datacenter Elastic Key-value Storage”、 Proc. The 10th International Conference on Optical Internet (COIN2012), WC.3, pp.71-72 Yokohama, Japan (2012/5/30) :
- [11]T.Sakamoto, H.Yamada, H.Horie, K.Kono, “Energy-Price-Driven Request Dispatching for Cloud Data Centers”、 2012 IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing(CLOUD '12), CLOUD2012-3135, pp.974-976 (2012/6/24) :

6 その他の誌上発表リスト

- [1]矢崎武己, “スイッチ/ルータの省電力化講座 (第三回)”、日経ネットワーク 2011 年 9 月号 pp74-77 (2011/8/28) :

7 口頭発表リスト

- [1]今井悟史・山田亜紀子・掛水光明、“省電力設計に基づくネットワーク構成の最適化”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（沖縄県 宜野湾市）（2011/3/3）
- [2]掛水光明・今井悟史・山田亜紀子、“ネットワーク省電力化を実現する運用管理技術”、電子情報通信学会 総合大会（東京都 世田谷区）（2011/3/14）
- [3]宮本啓生・垂井俊明・下川功・青木秀貴・西村信治、“クラウドコンピューティングを支える運用管理技術”、電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会（福岡県 福岡市）（2010/11/18）
- [4]西村信治、“実世界リアルタイム情報処理に向けたクラウドネットワーキング”、情報処理学会 連続セミナー2010 第6回「次世代クラウドコンピューティングに向けて」（東京都千代田区）（2010/12/06）
- [5]西村信治、“スマート&グリーン ICT を実現するためのネットワーク技術” 第27回ネットワークシステム・情報ネットワーク研究ワークショップ「スマート&グリーン ICT」（沖縄県宜野湾市）（2011/3/3）
- [6]下川功・垂井俊明・宮本啓生・馬場智宏、“AFM を用いたネットワーク障害検知方法の検討”、電子情報通信学会 ディペンダブルコンピューティング研究会（沖縄県 宮古島）（2011/3/18）
- [7]垂井俊明、“Cloud Networking Technologies for Internet of Things”、9th Tsinghua/Hitachi Ubiquitous IT Forum（中国、北京）（2010/10/20）
- [8]金田泰・垂井俊明、“A “Network-Paging” Based Method for Wide-Area Live-Migration of VMs”、International Conference on Information Networking (ICOIN 2011)（マレーシア、クアラルンプール）（2011/1/28）
- [9]中原健太・菊田洸・山田翔太・石井大介・岡本聡・山中直明、“ユビキタスネットワーキング環境(uGrid)におけるスケーラブルなサービス提供の実現へ向けたルーティングプロトコルの拡張”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（宮城県 仙台市）（2010/9/2）
- [10]堀江光・浅原理人・山田浩史・河野健二、“MashCache: Flash Crowds 耐性を持つマッシュアップサービス実現手法”、情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会（福岡県 福岡市）（2011/1/24）
- [11]清水翔・今井悟史・山田亜紀子、“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”、電子情報通信学会 フォトニックネットワーク研究会（和歌山県 和歌山市）（2011/6/24）
- [12]今井悟史・清水翔・山田亜紀子・宗宮利夫、“省電力ネットワーク設計技術 (ESNet 設計) -数理計画モデルに帰着したネットワーク設計方法-”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会（北海道 札幌市）（2011/9/14）
- [13]清水翔・今井悟史・山田亜紀子・宗宮利夫、“省電力ネットワーク制御技術 (ESNet 制御) -光ネットワークにおける省電力光パスルーティングの検討-”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会（北海道 札幌市）（2011/9/14）
- [14]今井悟史、“ネットワーク省電力化を実現する運用管理技術の研究開発”、九州インターネットプロジェクト（福岡県 福岡市）（2011/10/29）
- [15]栗田敏彦、“将来網のための省エネフレームワーク- ITU-T 勧告 Y.3021 -”、将来網に関する ITU-T 勧告化の状況報告セミナー (TTC NGN&FN 専門委員会活動報告)（東京都 港区）（2012/1/23）
- [16]清水翔・今井悟史・宗宮利夫、“光ネットワークにおける補助グラフに基づく省電力ルーティングの実験的評価”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（宮城県 宮崎市）（2012/3/9）
- [17]今井悟史・清水翔・宗宮利夫、“数理計画法に基づく省電力ネットワーク設計方法大域的最適化問題の

- モデル化とデマンド分割問題 - 大域的最適化問題のモデル化とデマンド分割問題 -”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（宮崎県 宮崎市）（2012/3/8）
- [18]清水翔・今井悟史・山田亜紀子、“補助グラフを用いた省電力光パス経路選択アルゴリズムの検討”、フォトニックネットワーク研究会（長崎県 五島市）（2012/3/12）
- [19]Toshihiko Kurita, “Framework of energy saving for Future Networks- ITU-T Recommendation Y.3021 -”、Global Future Internet Week 2011（韓国、ソウル）（2011/11/5）
- [20]西村信治、“クラウドコンピューティングを支えるネットワークへの取り組み”、第20期第1回テレコムチャンスフォーラム（大阪府 大阪市）（2011/6/8）
- [21]矢崎武己、“Networking Architecture and its Technologies for Next Generation Cloud Computing”、18th APT Standardization Program Forum (ASTAP-18)（タイ、バンコク）（2011/5/25）
- [22]三木和穂、“日立のネットワーク R&D の取り組み”、KT ‘s DAY（韓国、ソウル）（2011/10/19）
- [23]白柳広樹・山田浩史・吉田哲也・河野健二、“ネットワークトポロジを考慮した仮想マシンの移送によるデータセンタの省電力化手法”、第117回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会（沖縄県 那覇市）（2011/4/14）
- [24]渋谷直彦・中原健太・菊田洸・石井大介・岡本聡・大木英司・山中直明、“E³-DCN におけるネットワークおよびサービス資源最適化サービスコンポジションシステム”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（山口県 宇部市）（2011/12/16）
- [25]阿拉騰松布爾・張善明・中原健太・菊田洸・石井大介・栗本崇・岡本聡・山中直明、“uGrid を用いた映像配信システムにおける最大遅延とサービスパーツ利用効率を考慮したコンポジットサービスツリーの構築法”、電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会（北海道 旭川市）（2012/1/27）
- [26]岡本聡・渋谷直彦・張善明・石井大介・山中直明、“コンテンツ転送エネルギー最適化を目指す E³-DCN の提案”、2012年電子情報通信学会 総合大会（岡山県 岡山市）（2012/3/21）
- [27]K.Nakahara, “IP based Service Mash-up Provision by uGrid”、7th International Conference on IP+Optical Network(iPOP 2011)（神奈川県 川崎市）（2011/6/2）
- [28]K.Nakahara, K.Kikuta, D.Ishii, S.Okamoto, N.Yamanaka, “A Demonstration of IP based Multi-Service Cooperating Cloud Architectures and Technologies for Future Cloud Networking”、World Telecommunications Congress (WTC2012)（宮崎県 宮崎市）（2012/3/5,6）
- [29]N.Shibuta, K.Nakahara, K.Kikuta, D.Ishii, S.Okamoto, E.Oki, N.Yamanaka, “Service Composition System Optimizing Network and Service Resources in E³-DCN”、World Telecommunications Congress (WTC2012)（宮崎県 宮崎市）（2012/3/5,6）
- [30]H.Takahashi, D.Ishii, S.Okamoto, N.Yamanaka, “A Study on the Changeover Mechanism of Communication Path for Virtual Machine Live Migration between Data Centers”、World Telecommunications Congress (WTC2012)（宮崎県 宮崎市）（2012/3/5,6）
- [31]宗宮利夫・今井智史・清水翔・山田亜紀子、“メトロネットワークにおける省電力ネットワーク設計手法/制御技術”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会（富山県 富山市）（2012/9/13）
- [32]山田亜紀子・清水翔・今井悟史・宗宮利夫、“省電力経路選択アルゴリズムの SDN への適用に関する一検討”、電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会（滋賀県 長浜市）（2012/11/16）
- [33]今井悟史・山田亜紀子・宗宮利夫、“IP over WDM ネットワークにおける省電力な論理トポロジ設計に向けた一検討”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（沖縄県中頭郡読谷村）（2013/3/8）
- [34]清水翔・山田亜紀子・宗宮利夫、“SDN における分散型ネットワークコントローラの検討および性能評

- 価ツールの開発”、電子情報通信学会 総合大会（岐阜県 岐阜市）（2013/3/21）
- [35]鈴木敏明・飯島智之・下川功・垂井俊明・馬場智宏、“ネットワーク・DC 連携によるクラウドシステム省電力化の一検討”、2012 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会（富山県 富山市）（2012/9/13）
- [36]下川功・垂井俊明・鈴木敏明、“省電力クラウドシステムにおける輻輳ポテンシャル評価の一検討”、電子情報通信学会 総合大会（岐阜県 岐阜市）（2013/3/19）
- [37]垂井俊明・鈴木敏明・下川功・飯島智之・馬場智宏、“ネットワーク・DC 連携クラウド省電力化向け配置判定方式の検討”、電子情報通信学会 総合大会（岐阜県 岐阜市）（2013/3/19）
- [38]T. Suzuki and T. Yazaki、“Cloud Use Cases with a Distributed Cloud Architecture”、MPLS 2012, SDN & Inter-Cloud Special Summit（米国、ワシントン D.C）（2012/11/1）
- [39] T. Suzuki、“Power-saving Control Scheme for Cloud Systems as a Software-defined Networking Application”、The 9th International Conference on IP+Optical Network (iPOP 2013)（東京都 千代田区）（2013/5/30）
- [40]堀江光・浅原理人・山田浩史・河野健二、“複数のデータセンタを跨ぐ伸縮性を備えたキーバリューストレージの実現手法”、情報処理学会 第 122 回 OS 研究会 (SWoPP 2012)（鳥取県 鳥取市）（2012/8/1）
- [41]張善明、“マッシュアップサービスの省電力サービスルーティング”、2012 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会（富山県 富山市）（2012/9/13）
- [42]渋谷直彦・張善明・竹下秀俊・岡本聡・大木英司・山中直明、“[奨励講演]E³-DCN におけるコンテンツ転送エネルギー最適化に向けた動的転送経路選択”、電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会（宮城県 仙台市）（2012/9/21）

8 出願特許リスト

- [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、（2010/2/23）
- [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、（2010/12/28）
- [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、およびその方法、PCT、（2011/03/03）
- [4]今井悟史、ネットワーク設計システム、日本、（2011/02/21）
- [5]今井悟史、経路決定装置、経路決定方法、管理プログラム及び管理装置、日本、（2011/07/19）
- [6]清水翔、ネットワーク管理装置および光パス設定方法、日本、（2011/11/25）
- [7]宗宮利夫、今井悟史、清水翔、ネットワーク制御装置、日本、（2012/3/29）
- [8]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、米国、（2011/2/18）
- [9]下川功・垂井俊明・鈴木敏明、計算機システム、仮想サーバ配置方法及び配置制御装置、日本、（2012/1/19）
- [10]鈴木敏明・垂井俊明・下川功・馬場智宏、管理計算機、転送経路管理方法及び計算機システム、日本、（2012/2/27）
- [11]清水翔、帯域幅制御装置、帯域幅制御方法、および、帯域幅制御プログラム、日本、（2012/07/27）
- [12]清水翔、集中管理型網制御システム、日本、（2013/01/16）
- [13]今井悟史、ネットワーク設計システム、米国、（2011/11/30）
- [14]清水翔、ネットワーク管理装置および光パス設定方法、米国、（2012/5/22）
- [15]今井悟史、経路決定装置、経路決定方法、管理プログラム及び管理装置、米国、（2012/7/16）
- [16] 宗宮利夫、今井悟史、清水翔、ネットワーク制御装置、米国、（2012/12/6）
- [17]飯島智之・鈴木敏明・垂井俊明、ネットワーク(NW)管理システム、NW 管理計算機及び NW の管理方

法、日本、(2012/8/8)

[18]鈴木敏明・垂井俊明・馬場智宏、計算機システム及びリソース管理装置並びにリソース管理方法、日本、(2013/2/8)

[19]飯島智之・鈴木敏明・垂井俊明、ネットワーク管理システム、管理計算機、及び管理方法、日本、(2013/3/21)

[20]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、およびその方法、米国、(2013/2/27)

[21]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、およびその方法、中国、(2013/3/1)

[22]下川功・垂井俊明・鈴木敏明、計算機システム、仮想サーバ配置方法及び配置制御装置、米国、(2013/1/16)

[23]飯島智之・鈴木敏明・垂井俊明、ネットワーク(NW)管理システム、NW 管理計算機及びNW の管理方法、米国、(出願手続き中)

9 取得特許リスト

10 国際標準提案リスト

[1]第6回 ITU-T FG-FN 会合、FG-FN C-96、Proposed section 8 template for FNvision document、(2010/9/6)

[2]第6回 ITU-T FG-FN 会合、FG-FN C-97、Proposed text regarding energy saving for section 7 and 8 of FNvision document、(2010/9/6)

[3]第6回 ITU-T FG-FN 会合、FG-FN C-98、Proposed additional text for candidate functions of FNenergy document、(2010/9/6)

[4]第7回 ITU-T FG-FN 会合、FG-FN C-120、Proposed text regarding energy saving for section 8.1 and 9.3 of FNvision document、(2010/10/26)

[5]第7回 ITU-T FG-FN 会合、FG-FN C-121、Proposal of revised additional text for candidate functions in FNenergy document、(2010/10/26)

[6]第8回 ITU-T FG-FN 会合、FG-FN C-134、Proposal to clean-up FNenergy document、(2010/11/29)

[7]第8回 ITU-T FG-FN 会合、Mini workshop、Overview of Energy Saving of Networks、(2010/11/29)

[8]ITU-T SG13 会合、C-710、Proposal for consenting FGFN deliverable on “Future Networks: Objectives and Design Goals”、(2011/1/17)

[9]ITU-T SG13 会合、C-902、Proposal for the title change of Y.FNenergy、(2011/5/9)

[10]ITU-T SG13 会合、C-903、Proposed additional text for impact analysis of energy-saving in Y.FNenergy、(2011/5/9)

[11]ITU-T SG13 会合、IN-001(Q21)、Proposal on modifications of Y.FNenergy for consistency and readability、(2011/6/29)

[12]ITU-T SG13 会合、IN-012(Q21)、Proposal on modifications of Y.FNenergy for consistency and readability (2)、(2011/8/29)

[13]ITU-T SG13 会合、C-954、Proposal on modifications of Y.FNenergy for consent、(2011/10/10)

[14]83rd IETF、draft-okita-ops-vnetmodel-06、Virtual Network Management Information Model、2012/3/12

[15]ITU-T SG13 会合、FN workshop、Environmental awareness - Recommendation ITU-T Y.3021 -、(2012/6/11)

- [16]ITU-T SG13 中間会合、IN-002、Proposal on a SDN use case of energy-based routing、(2012/11/14)
- [17]84th IETF、draft-okita-ops-vnetmodel-07、Virtual Network Management Information Model、2012/7/16
- [18]85th IETF、draft-suzuki-eens-requirements-00、Requirements for an Energy-Efficient Network System、2012/10/15

1 1 参加国際標準会議リスト

- [1]IETF、84th IETF、Vancouver, BC, Canada、(2012/7/30-8/2)
- [2]IETF、85th IETF、Atlanta, GA, USA、(2012/11/5-11/8)

1 2 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、フォトニックネットワーク研究会 フォ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

1 3 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

- [1] “米国ワシントン D.C.で開催される国際会議 MPLS2012 において、グリーンクラウドの公開実験デモを実施”、2012/10/12

(2) 報道掲載実績

- [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] “[ITpro EXPO 2012] OpenFlow を使わないもう 1 つの富士通の SDN、拠点間の仮想ネットを自動最適化”、日経コミュニケーション 2012 年 11 月、2012/10/12
- [4] “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

1 4 ホームページによる情報提供

- [1]<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2013/02/0220b.html>、「サービス品質を維持したまま不必要なサーバの電源を遮断する大規模クラウドシステムの省電力化技術を開発」に関するニュースリリース、ヒット数：不明（終了報告書作成時点）
- [2]http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2012/kr7a4300000b1yzh.htm、「米国ワシントン D.C.で開催される国際会議 MPLS2012 において、グリーンクラウドの公開実験デモを実施」に関するニュースリリース、ヒット数：不明（終了報告書作成時点）

研究開発による成果数

\	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	合計	(参考) 提案時目標数
査読付き誌上発表数	1 件 (1 件)	5 件 (5 件)	5 件 (5 件)	11 件 (11 件)	11 件 (1 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	—
口 頭 発 表 数	10 件 (2 件)	20 件 (6 件)	12 件 (2 件)	42 件 (10 件)	28 件 (8 件)
特 許 出 願 数	3 件 (1 件)	7 件 (1 件)	13 件 (8 件)	23 件 (10 件)	23 件 (8 件)
特 許 取 得 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	3 件 (0 件)
国 際 標 準 提 案 数	8 件 (8 件)	6 件 (6 件)	4 件 (4 件)	18 件 (18 件)	—
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	—
受 賞 数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (1 件)	2 件 (1 件)	—
報 道 発 表 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (0 件)	5 件 (0 件)
報 道 掲 載 数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	3 件 (0 件)	4 件 (0 件)	

注 1 : 各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2 : 「査読付き誌上発表数」には、論文誌や学会誌等、査読のある出版物に掲載された論文等を計上する。学会の大会や研究会、国際会議等の講演資料集、アブストラクト集、ダイジェスト集等、口頭発表のための資料集に掲載された論文等は、下記「口頭発表数」に分類する。

注 3 : 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等を計上する。

注 4 : PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分 1 件として記入。(何カ国への出願でも 1 件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。