

### 3.1.1 ネットワーク研究本部 ネットワークシステム総合研究室

室長 西永 望 ほか13名

#### 2020年頃の新世代ネットワークの実現を目指して

##### 【概要】

ネットワーク研究本部ネットワークシステム総合研究室の第3期中長期計画における目標は、新世代ネットワークの実現に向けた、光、ワイヤレス、セキュリティ分野の各要素技術の有機的な融合等によるシステム構成技術と、多様なネットワークサービスを収容するプラットフォーム構成技術の実現である。そして、それら技術の実証をテストベッド等を活用して進めることにより、災害発生時等の情報トラフィックの変化や情報通信インフラの一部機能不全に対してネットワーク構成を柔軟に再構築できる、ロバスト性を有する新世代ネットワーク基盤技術を確立することも目標とした。

平成27年度は、3.1 ネットワーク研究本部の図1(下)に示した6つの技術分野に関する新世代ネットワーク戦略プロジェクトによって、研究開発を推進した。以下では各技術分野の目標と平成27年度成果を述べる。

##### 【平成27年度の成果】

#### (1) 情報(コンテンツ)指向ネットワーク技術

##### 【目的】

オリジナルな情報(コンテンツ)を保有するサーバからだけでなく受信者の持つキャッシュあるいは転送しているルータから情報を直接取得する「情報(コンテンツ)指向ネットワーク(ICN/CCN)技術」を実現する。

##### 【成果概要】

情報(コンテンツ)指向ネットワーク(Information Centric Networking/Content Centric Networking、以下ICN)を用いた広帯域リアルタイムストリーミング技術の1つとして、Content Name-based Real-time Streaming(NRTS)を開発し、米国で現在開発中のCCNxバージョン0.8の2倍程度の最大ストリーミング帯域が実現できることを実証し、IEEE ComSocが主催する一般消費者向け通信及びネットワークに関する会議であるCCNC 2016にて発表した。また、コンテンツ名管理と経路制御を統合したAggregatable Name-Based Routing(ANBR)を提案し、論文誌IEEE Accessにて発表した。平成27年度より開発してきたICNテストベッド(平成26年度IEEE Networkに掲載)の機能拡張を行い、平成27年度末時点で、国内外の16機関が接続を完了した(図1)。

日欧共同研究であるGreenICNプロジェクトを推進し、ACMが主催するICNに関する国際会議ACM ICN 2015でIdentity-Based Aggregate Signatures(IBAS)を用いた軽量なユーザ認証の仕組みを発表した。標準化活動として、IRTF ICNRGにおいて、災害時に貢献できるICN通信に関するドラフト提案を行った。

日欧共同研究であるGreenICNプロジェクトを推進し、ACMが主催するICNに関する国際会議ACM ICN 2015でIdentity-Based Aggregate Signatures(IBAS)を用いた軽量なユーザ認証の仕組みを発表した。標準化活動として、IRTF ICNRGにおいて、災害時に貢献できるICN通信に関するドラフト提案を行った。

#### (2) 光パケット・光パス統合ネットワーク技術

##### 【目的】

サービスからの品質や帯域等の要求により、パケット方式とパス方式を切替え可能な光パケット・光パス統合ネットワークの基本アーキテクチャ構成技術について、先端的な光システムを検証するとともに同時に研究開発テストベッドにも導入し、それらの技術を確立する。

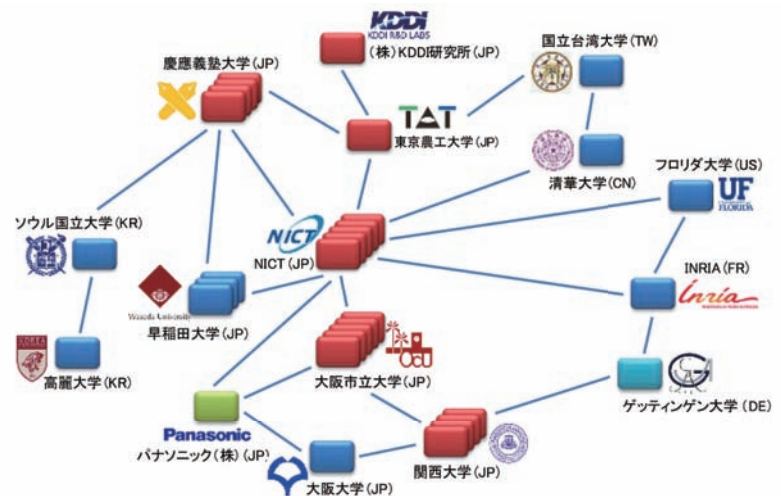


図1 Linux コンテナを用いたICNテストベッド構築と展開

### 【成果概要】

光パケット・光パス統合ネットワークを光メトロネットワークとして見立てた光コア・光メトロ・光アクセス及び OpenFlow スイッチを用いたトランスポート SDN 実験ネットワークを構築し、産学7者（通信事業者2者、通信機器製造事業者2者、大学、試験設備製造事業者2者）と NICT、さらには、総務省のネットワーク仮想化プロジェクト O3 との連携により、3箇所の SDN (Software Defined Networking) 制御ドメインをまたがって沖縄と東京をつなぐ複数 SDN コントローラの相互接続による仮想ネットワーク構築に成功した。

その成果を基に報道発表及び光と SDN に関する標準化関係者と産業界研究者を中心とした国際会議 iPOP2015 での動態デモを実施し（平成 27 年 4 月、図 2）、業界誌 OPTCOM や新聞（日経産業新聞 4 月 21 日等）等に掲載され注目された。一連の SDN の実験では、総務省が実施する戦略的情報通信研究開発推進事業（国際標準獲得型）のプロジェクトの1つである STRAUSS の成果の一部も活用することにより、技術の相互接続性を向上し、機構内外及び国際共同研究開発成果の統合を実現した。さらに、本成果は光ファイバ通信における世界最大の国際会議 OFC2016 の招待講演等で取り上げられた。

大規模光ネットワークへの適用のため、32 ビットの光アドレスを付与できる光パケットを構成可能な光パケットエッジシステムを開発し、光パケット・光パス統合システムに組み込み、統合化を実現した。

光パケット・光パス統合ネットワークの SDN 化に関し、高性能スイッチング技術分野に関する IEEE のフラッグシップ会議である HPSR2015（平成 27 年 7 月）、光通信に関するアジアのフラッグシップ国際会議 OECC2015（平成 27 年 7 月）や、米国 SPIE が主催する光技術に関する国際会議 Photonic West（平成 28 年 2 月）に招待され招待講演を実施した。

光パケット・光パス統合ネットワークを対象とし、サービス要求の変化とネットワークのパケット棄却率等の品質にあわせて、新規パスの設定や既存パケット回線へのサービス収容を動的に判断する機構を設計実装し、システム拡張を実施した。

これらの成果を踏まえ、成果の国際展開を進めた。全米科学財団 (NSF) の資金により推進されている将来インターネットアーキテクチャの研究に関するプロジェクト FIA の1つである ChoiceNet（ユーザが多種多様な複数サービス選択肢から個々のニーズに合うものを柔軟に選択可能とするアーキテクチャ）と連携し、ChoiceNet のコントローラからの要求に対して、仲介 SDN 装置を通じて、機構の開発する光パケット・光パス統合ネットワークのパス設定と動的資源調整制御を行う機構を開発した。この機構を用いて、NICT とノースカロライナ州立大学との間で VPN 環境を構築し、光統合ネットワークの制御プレーンと ChoiceNet 機器との相互接続制御実験に成功した。

また、光・電気融合ネットワークにおいて、トラヒック変動や故障に耐久性を維持しながらアプリケーションの品質を最大化する動的帯域制御方式の設計と基本実装を行い、JGN-X、SINET4、Internet2 にまたがったネットワークを構築し日米連携での実証実験を実施した。その成果が認められ、IEEE ComSoc が主催する通信分野の先進成果が発表されるフラッグシップ国際会議 IEEE Globecom2015 で、「An Analytical Model of Spectrum Fragmentation in a Two-Service Elastic Optical Link」と題した理論モデルの研究が Best Paper Award を受賞した。そのほか、国際会議 ICTON2015 (International Conference on Transparent Optical Networks、欧州委員会の実施する FP7/HORIZON2020 プログラム参加の研究者が多く参加する欧州で開催の国際会議で招待講演を実施した。

### (3) 超大規模情報流通ネットワーク技術

#### 【目的】

広域に散在する兆単位のセンサーやデバイスが発生するデータを活用するサービスを実現可能な、ネットワークサービス基盤技術を確立する。

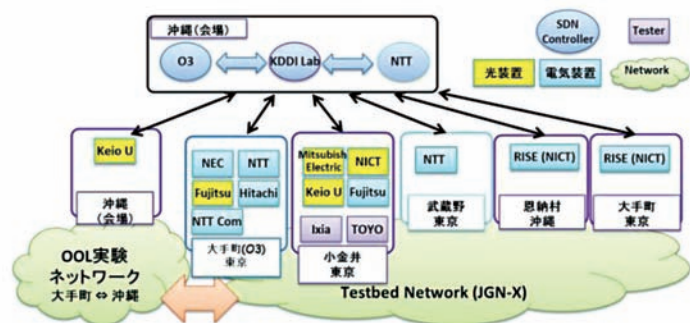


図 2 O3 プロジェクトも含めた複数ドメイン間 SDN 相互接続実験 (iPOP2015)

## 【成果概要】

平成 26 年度までに開発した、利用者ごとに異なるリソース要求（ネットワーク帯域、ストレージ、演算能力等）をモバイルワイヤレステストベッド上で動的に確保し、利用者専用の実験環境として提供する大規模スマート ICT サービス基盤テストベッド (JOSE: Japan-wide Orchestrated Smart/Sensor Environment) (図 3) を、年間を通じて安定的に運用した。JOSE は、多数のセンサー、2 万个単位の仮想マシンを収容する分散型クラウドシステム、連携ネットワークを含む動的なネットワークを、SDN によって制御可能なテストベッドであり、平成 26 年度に開発した“仮想ネットワーク・仮想マシンの統合管理システム”を導入し、運用システムの一部に組み込んだ。本統合管理システムにより、200 の仮想マシンを用いる実験環境の構築時間が、およそ 1/40 に短縮可能となった。本統合管理システムについては、Interop Tokyo 2015、NICT オープンハウス等にて展示した。JOSE 上で、平成 26 年度に引き続き、委託研究、日欧共同研究、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) の先進的通信アプリケーション開発型、JST 戦略的イノベーション創造プログラムなど、27 ユーザが実証実験を実施した。中でも地方自治体との連携事業として、協力協定を締結している長野県千曲市では、河川に設置した水位センサーを用いた河川水害対策の実証実験によって取得されたデータのオープンデータ化がなされ、市民が閲覧可能となるなど、社会還元がなされた。

また、平成 25 年度までに開発した、センサーデータを効率的に検索、収集可能とするための、自律分散型の構造化オーバーレイネットワークミドルウェア (P2P Interactive Agent eXtensions: PIAX) に基づいた広域センサーネットワークプラットフォームについて JOSE 上で性能検証を実施、10,000 個のセンサーネットワークを想定した検索処理が、1 秒以内で実行可能となることを確認した。このプラットフォームを用いて、JOSE 上で複数のセンサーネットワークを相互接続し、データを横断的に利用可能とする実証環境を構築し、細粒度気象予測アプリケーション等によるフィールド実証実験を行った。また、開発成果となる広域センサーネットワークプラットフォームは PIAX 3.0 として平成 27 年 6 月にオープンソース公開した。

フィールド実証実験の 1 つとして、複数の映像センサーをネットワーク上で連動させることで大規模複合施設内の人の流れに関する情報を取得する実験を行った。平成 26・27 年度に大阪ステーションシティ内において夜間実験を合計 6 回実施、精度検証、性能検証及び大規模避難シミュレーションによる有効性検証を行い、効果を確認した。性能検証の成果は、情報処理関連国際会議の中でも難関の IEEE COMPSAC2016 (採択率 18%) に投稿し full paper に採択された。

日欧共同での新世代ネットワーク技術の研究開発第 1 弾として、IoT とクラウドの融合によるスマートシティ基盤の研究開発 (ClouT) を推進した。平成 27 年度は、IoT デバイス、レガシーデバイス、さらには SNS など様々な情報源からのデータを仮想化し、統一的な管理活用を可能にする基盤 (City-IaaS) 及びリアルタイムでの高信頼なアプリケーション処理のためのプラットフォーム (City-PaaS) の参照実装を完了し、日欧のパイロット都市 (藤沢、三鷹、サンタンデル、ジェノバ) において、実証実験を行った。また、第 2 弾として、日欧が連携する都市型スマートシティ実験環境の創出に関する研究開発 (FESTIVAL) を推進した。日欧それぞれのスマートシティのユースケースの洗い出し、基本アーキテクチャの設計を行い、日欧共同で日欧それぞれのテストベッド (JOSE, FIWARE) を相互接続した実験環境を構築した。また、いくつかのスマートシティアプリケーション提供技術の動作試験を行った。

## (4) 新世代モビリティ技術

### 【目的】

重要性や緊急性を有するサービスに対して優先的な接続を提供できるモバイルネットワークを実現するとともに、来る IoT 時代を支えるモバイルネットワークのアーキテクチャを検討する。



図 3 大規模スマート ICT サービス基盤テストベッド (JOSE)

## 【成果概要】

スマートフォン等を用いたクラウドサービスの利用の際に問題となるサービス応答時間の安定化を図るため、ユーザのスマートフォンが接続している Wi-Fi ネットワークから外部クラウドサービスまでの End-to-End (E2E) を完全に仮想化できるように、国際間のマルチドメインでの仮想網接続技術を開発し、国際間仮想ネットワークを動的構成できることを世界で初めて実証し、応答時間の安定化を実現した。具体的には、平成 26 年度に日本国内でのプロトタイプ実証を完了した仮想化 Wi-Fi 基地局による無線アクセス仮想ネットワークと、JGN-X 上の VNode による有線仮想ネットワーク及び米国 GENI テストベッド上の ProtoGENI による有線仮想ネットワークを用いて、E2E 仮想ネットワークを構成するためのマルチドメイン仮想網相互接続機構を実現した。東京大学、日立、KDDI 研究所（以上、VNode 及び SEP (Slice Exchanging Point) を担当）、ユタ大学（クラウド基盤 ProtoGENI を担当）と共同で「Wi-Fi とクラウドを複数のネットワークを介してつなぐマルチドメイン仮想ネットワーク」の動的構成を日米間のテストベッド上で実証し、その結果を合同で報道発表した（平成 28 年 3 月、新聞記事として 3 件掲載）。結果はソフトウェア定義通信基盤のオーケストレーションに関する世界で最初の国際会議 O4SDI に採録された（2016 年 5 月開催）。

また、米国ラトガース大学 WINLAB と共同で、NICT が平成 26 年度に開発した仮想基地局移動技術に基づく仮想化 Wi-Fi システムと、米国 NSF が推進するプロジェクトで開発された MobilityFirst システムに、ネットワーク仮想化機能及びアプリケーション固有経路制御機能を新たに追加し、両システムを接続し仮想モバイルクラウドネットワーク (vMCN) 実証システムを実現した（図 4）。そのシステムの上で共同実験を実施し、WiFi が輻輳しかつクラウドサーバの負荷が変動する環境において、サイバーフィジカルシステムのアプリケーションにおける 100 ms 応答時間違反率が 76% から 36% に、半減以下にできることを実証した（成果は国内学会、国際会議で発表）。

一方、セルラー網において、複数 IoT 端末で通信回線を時分割利用する回線仮想化方式を提案し、IoT 端末を扱うために必要となる設備投資を 1/100 以下に削減可能であることを実証した（特許出願 3 件、国際会議発表 1 件 (GlobeCom 2015 5G Workshop)・採録決定 1 件 (IEEE ComSoc が主催する通信分野の先進成果が発表されるフラッグシップ国際会議 ICC 2016)、論文誌採録決定 1 件 (IEEE IoT Journal)）。

## (5) スマートネットワーク技術

## 【目的】

高可用性を実現する、ID・ロケータ分離アーキテクチャ HIMALIS と自動番号割当技術 HANA の運用、広域展開及び大規模検証を実施する。

## 【成果概要】

ICT サービスの迅速な提供のために必要となる、サービスネットワーク（データセンター内のサーバ間ネットワーク）構築の自動化・迅速化について、階層型自動アドレス構成機構 HANA と SDN を組み合わせることにより、複数の拠点に設置された LAN スイッチと端末のアドレス割当を SDN により一元管理することとし、自動的にサービスネットワークを構築する技術を開発した。NICT が運用している

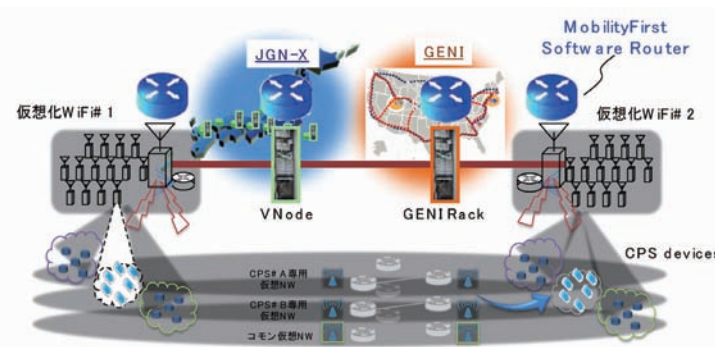


図 4 米国 MobilityFirst との国際共同実証実験のための仮想化対応 Wi-Fi ネットワークの国内・国際展開

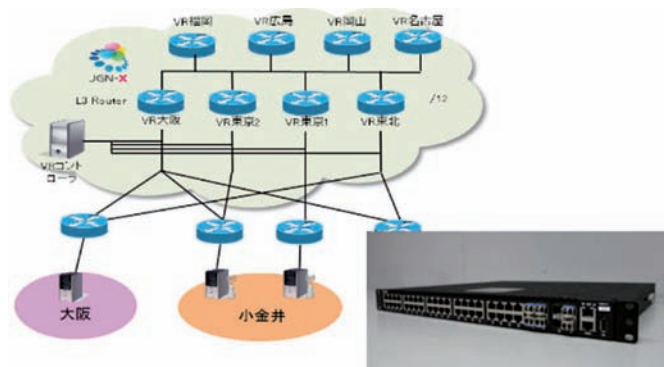


図 5 HANA on JGN-X と商用プロトタイプ L3SW

大規模スマート ICT サービス基盤テストベッド上の分散データセンターにあるサーバ群のネットワークと JGN の SDN テストベッド RISE を用い、100 台の仮想サーバを用いて、任意の場所、数の組合せのサービスネットワークを最大でも 80 秒以内の短時間で構築できるシステムを実現した (図 5、6)。

ID ベース通信 HIMALIS に関し、これまでインターネット上で遠隔で利用できるテストベッドを構築してきたが、研究者等のユーザが容易にスタンドアロンでテストベッド環境を構築できるソフトウェアパッケージを開発した。第 3 期中長期計画終了時、11 機関に導入された。ユーザサポートを行いつつソフトウェアパッケージをマイナーアップデートすることで安定性を向上させた。

研究開発成果の国際展開のため、経路制御を従来の位置指示子 (ロケータ) で行い、パケット内に含める識別子には複数のロケータを重畳した ID を用いる LORIF (LOcator based Routing and ID based Forwarding) 方式を米国の大学と共同で提唱した。ID は中継ノードで複数のロケータに分解され、経路表にのっとって転送処理が施されるが、その際、選択するロケータに優先順位をつけておくことで故障や負荷の状況に応じて転送方向を変えることができ、信頼性能向上が可能となることを示した。インターネットに新規事業者が接続する際のアドレス獲得とネットワーク設計の煩わしさを無くすため、可変長のネットワークアドレス構成について議論を重ね、可変長ネットワークアドレスの自動割当機構を開発した。可変長アドレスを既存の TCP/IP スタックに対応させる移動通信機構を設計した。以上の成果を IEEE、ACM、IEICE 等の国際会議で発表した。

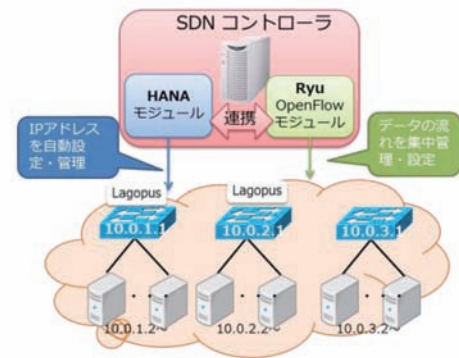


図 6 HANA を組込んだ SDN の構築

## (6) 価値を創造するネットワークサービス基盤技術

### 【目的】

ネットワーク上の様々な情報サービスの要求に連動してネットワーク機能を動的に制御する技術 (Service-Controlled Networking ミドルウェア) を新世代ネットワーク基盤上に開発する。この技術により、新世代ネットワークの機能を活用した情報サービス開発を容易にする。

### 【成果概要】

情報サービスによるネットワークの制御技術の研究開発について、これまでに開発した Service-Controlled Networking (SCN) 技術を応用し、JOSE 上で異分野センシングデータ収集解析の要求に連動してネットワークを自動設定できるようにするシステムを試験実装し、ノード発見や網内データ処理を行うアプリ専用データ収集オーバーレイの動的構成の検証を行った。また、実証実験に向け、降雨レーダーデータと合わせ、ゲリラ豪雨発生時に様々な分野の周辺データ (気象、交通、SNS 等) を収集統合するアプリを開発した (図 7)。

以上 6 つの技術分野に関する新世代ネットワーク戦略プロジェクトによる研究開発の推進に加えて、国際連携、国際標準化活動を推進した。具体的には、異なる戦略をとる米国、欧州のそれぞれに対して適切な手法を用いた戦略的国際推進の実施として、米国とは、NSF との共同研究プログラム JUNO の第 2 回 PI 級会合を平成 27 年 10 月に東京で開催し、研究報告プレゼンテーションを実施した。欧州との連携では、研究成果の国際展開を図るため、欧州委員会と「欧州との連携による情報指向ネットワークに関する実証的研究開発」を共同で進めることに合意し、平成 28 年度から開始される研究開発プロジェクトの公募を行った。

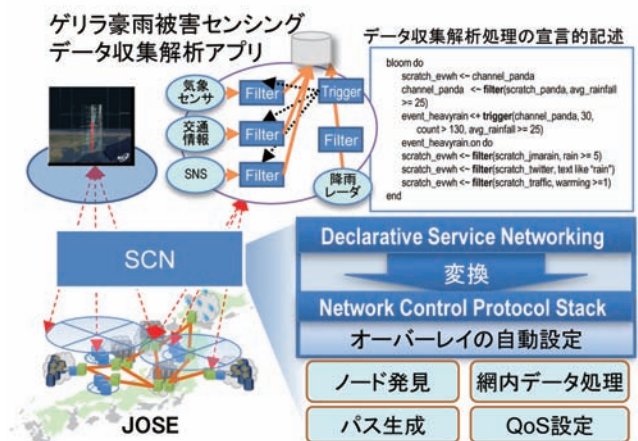


図 7 JOSE 上に実装された Service-Controlled Networking (SCN) 技術