

# ネットワーク仮想化技術の研究開発 (ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発)

Research and Development of Network Virtualization Technology  
(Research and Development of Network Virtualization Fundamental Technology)

## 研究代表者

西原 基夫 日本電気株式会社  
Motoo Nishihara NEC Corporation

## 研究分担者

福井 将樹<sup>†</sup> 佐藤 陽一<sup>††</sup> 林 瑞泰<sup>†††</sup> 坂本 健一<sup>††††</sup>  
Masaki Fukui<sup>†</sup> Yoichi Sato<sup>††</sup> Mizuyasu Hayashi<sup>†††</sup> Kenichi Sakamoto  
<sup>†</sup>日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所 <sup>††</sup>エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社  
<sup>†††</sup>富士通株式会社 <sup>††††</sup>株式会社日立製作所  
<sup>†</sup>NTT Network Innovation Laboratories <sup>††</sup>NTT Communications Corporation <sup>†††</sup>Fujitsu  
Limited <sup>††††</sup>Hitachi, Limited

研究期間 平成 25 年度

## 概要

クラウドサービスの拡大やスマートフォンの普及などにより、ネットワーク（以降、NW）サービスへのニーズが多様化している。また、データセンター（以降、DC）間の NW や DC とユーザを接続する NW という広域 NW においても、ユーザに対するサービス品質を保証しつつ、サービス提供のリードタイムを短縮したいという要求が増えている。しかしながら、広域 NW を介した NW サービスは光 NW や無線 NW など多種類の NW に跨るため、様々なサービス要件を満たす NW を構築し、迅速にサービスを開始することはこれまで困難であった。本プロジェクトでは、広域 NW に対して SDN (Software-Defined Networking) 技術を適用することにより、その解決を目指す。具体的には、個々の NW をオブジェクト指向のデータモデルで抽象化表現し、NW オブジェクトを管理・操作する NW 統合制御基盤を中心に、①ネットワーク管理制御プラットフォーム技術、②ネットワーク連携制御技術、③仮想ネットワーク対応ノード技術の 3 課題に対する研究開発を行なった。本プロジェクトの成果を利用することにより、アプリケーションに特化したソフトウェアを用いて短時間で最適な NW を構築し、サービスを提供することが可能となる。

## 1. まえがき

クラウドサービスの拡大により、NW を利用するアプリケーションが増加し、またスマートフォンの普及による利用者数の急増に伴い、NW サービスへのニーズが多様化している。クラウドサービスを提供する DC では、サービスが変化するスピードに対して、NW の構築や変更に必要な時間を如何に短縮するかが課題となっている。このため、DC 内・DC 間の NW を対象に SDN を導入し、NW の構築や変更を柔軟かつ迅速化することで、サービス提供までのリードタイムを短縮しようとする動きが強まっている。さらに今後、企業における事業継続基盤の強化やグローバル化が一層進むことにより、世界中に分散する DC とユーザとの連携も広範囲かつより深化されたものになる。その結果、DC 間の NW や DC とユーザを接続する NW などの広域 NW においても、ユーザに対するサービス品質を保証しつつ、サービス提供のリードタイムを短縮したいという要求が増え、広域 NW に SDN を適用する機運が高まるものと考えられる。

しかしながら、一般的に広域 NW を介した NW サービスは、光 NW や無線 NW など多種類の NW に跨る通信サービスより構成されるため、サービスの設計・構築・運用を NW 毎に個別に行なわざるを得ない。その結果、これまでは様々なサービス要件(NW の性能要件、プロトコル要件、処理要件など)を満たす NW を構築し、迅速にサービスを開始することが困難であった。また、既存の広域 NW では、NW 種別(レイヤ)毎に NW 装置と運用管理システムが存在し、かつ各レイヤで別々に運用管理が行なわ

れてきた。これにより、下位レイヤで障害が発生した場合など、上位レイヤの運用管理者が、実際の障害箇所を迅速に特定して対処することは困難だった。同様に、サービスに対して NW 資源を割り当てる場合なども、全てのレイヤを通じて低コストかつ高性能な資源を組み合わせるサービス構築コストを最適化することは困難であった。

上記の課題を解決するためには、NW 資源を共有する複数の通信事業者やサービスプロバイダが、それぞれの目的に合わせて自由に NW を設計、構築、運用管理できる機能を備えることが望ましい。そこで我々は、広域 NW に対して、NW を構成する要素(通信機器など)をソフトウェアによって集中的に制御し、NW の構造や構成、設定などを柔軟かつ動的に変更できる SDN 技術の適用を目指している。広域 NW を対象とした SDN では、広域 NW を構成する多様な NW の相違を吸収する必要がある。本プロジェクトでは、個々の NW をオブジェクト指向のデータモデルで抽象化表現し、オブジェクトを処理するオペレータ機能をユーザの特性に合わせて拡張することで対応した。これにより、きめ細かなキャリア向け NW からアプリケーションプロバイダがタイムリーに利用する手軽な NW まで、柔軟かつ動的な NW 制御・運用管理が可能な基盤技術を実現できる。

以下、本プロジェクトでは、NW オブジェクトを管理・操作する NW 統合制御基盤を中心に、下記に挙げる 3 課題の研究開発を行なった(図 1)。

- ① ネットワーク管理制御プラットフォーム技術
- ② ネットワーク連携制御技術

③ 仮想ネットワーク対応ノード技術  
 次章にて、各研究開発内容およびその成果を報告する。

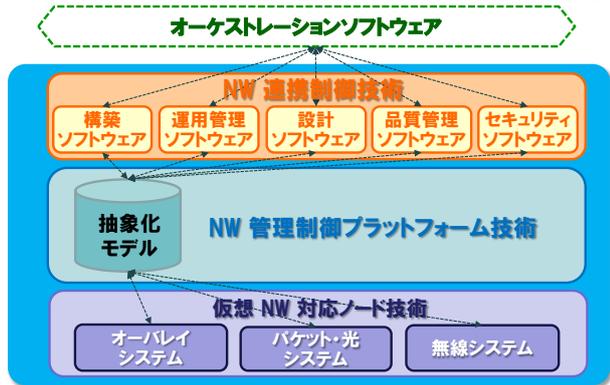


図1 研究開発全体像

## 2. 研究開発内容及び成果

### 2.1. ネットワーク管理制御プラットフォーム技術

#### 2.1.1. SDN 設計技術

キャリアの NW は高信頼、大容量、長距離通信を実現する光伝送技術と、多様な要求に対応するために即応性・柔軟性を実現する技術が必要である。後者に対しては SDN 技術が期待されており、それをベースにした NW の実現（技術開発、設計、運用手法等）が重要な課題となっている。

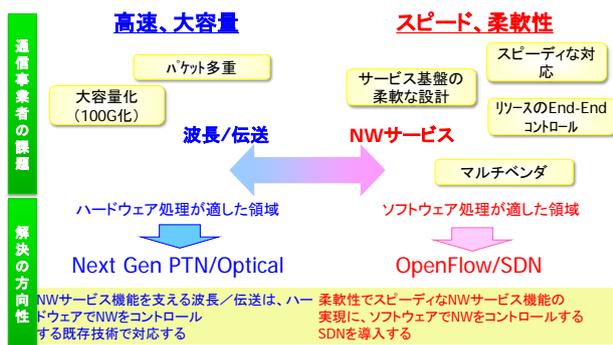


図2 キャリアネットワークの方向性

SDN 網を設計・構築・運用するうえで、NW をモデル化し、そのモデルに基づいて SDN 設計・構築・運用手法を確立することがポイントである。本研究では設計手法に主眼を置いている。マルチレイヤ、マルチサービス、マルチドメインのキャリア NW を SDN 化するという観点で、図3に示すような NW モデルを仮定する。

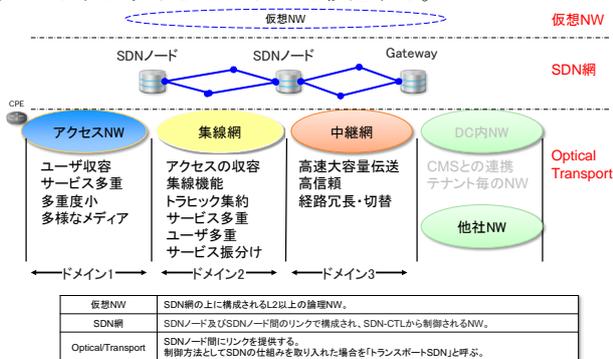


図3 ネットワークモデルの例

SDN 網を設計するうえで、OpenFlow スイッチのような SDN ノードの機能、性能を評価する手法について検討

した。図4にその基本構成を示す。基本的には機能試験のアプリケーションを独自に作成し、OpenFlow Controller を介して、試験対象スイッチの機能試験を行うものである。

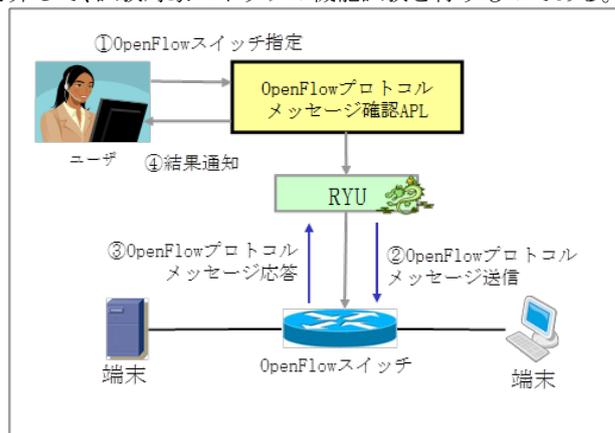


図4 スイッチ機能試験構成例

本研究ではソフトウェアスイッチ、ハードウェアスイッチをいくつか評価し、試験手法の確認を行った。

#### 2.1.2. OpenFlow ネットワーク資源制御技術及び共通制御フレームワーク技術

DC 網から広域網なども含めたマルチベンダ、マルチレイヤ構成のヘテロジニアスな NW の統合制御を実現する場合、これまでは、まず対象とするレイヤや制御方式を決め、それに特化した制御システムを構築する、という手法がとられてきた。そのため、制御対象レイヤの追加や制御方式の変更の度に、制御システム全体の改造を含む開発が必要となる場合が多く、サービス要求の進化に合わせて最適な統合制御システムを開発することが困難であった。

この問題を解決するため、ヘテロジニアスな NW に対する統合制御システムを容易に構築できる統合制御基盤を開発した。図5に統合制御基盤の概要を示す。

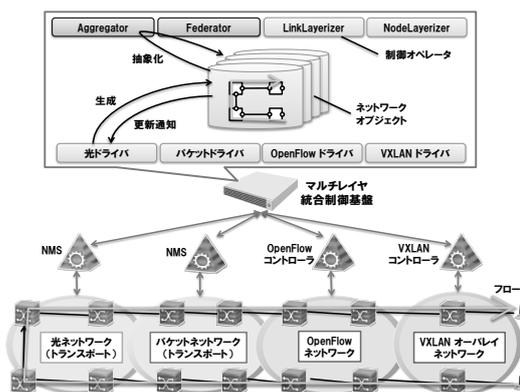


図5 統合制御基盤の概要

この統合制御基盤は、OdenOS プラットフォームをベースにしている。OdenOS では、様々な NW をトポロジー（ノード、ポート、リンク）とフロー（エンド・ツー・エンドの通信）に抽象化したモデルで表現し、NW 毎の特有の情報はそれらに付随する属性として表現する。実際の物理 NW の抽象化はドライバが行い、上記のモデルに従って、ドライバが NW のオブジェクトを生成する。この NW のオブジェクトに対して操作を行うと、それを検知したドライバによって物理 NW が制御される。また、NW のオブジェクトに対して Federator や Aggregator などの

制御オペレータを適用すれば、用途に合わせて抽象化された NW オブジェクトを得られるため、制御オペレータを組み合わせることで、容易に管理・制御機能を実装できる。

本技術の適用例として、統合 NW 可視化機能の例を図 6 に示す。本機能では、光・パケットトランスポート網、OpenFlow 網、VXLAN 網が統合されたマルチレイヤ NW において、全体のトポロジやレイヤ毎の個別のトポロジ、また、それらのトポロジ上に設定されたユーザの通信フローを可視化することができる。さらに、ポートや通信フローの障害情報も表示できるようになっており、ポート障害の影響を受けたユーザの通信フローを特定したり、逆に、通信フローの障害から物理トポロジ上のポート障害を追跡したりできるようになっている。

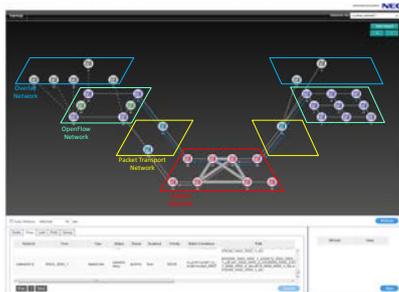


図 6 統合ネットワーク可視化

### 2.1.3. パケットトランスポートネットワーク資源管理技術

本研究では、NW 仮想化技術を早期に公衆網へ適用する基盤技術を確認するため、公衆網のうち、コア網及びアクセス網への適用を優先し研究開発を行う。具体的には、パケットトランスポートで構成される NW を対象として、制御・管理することを可能とする技術の研究開発に取り組む。パケットトランスポート NW 資源管理技術として、コア網及びアクセス網を想定した、1,000 台規模のパケット (IP、非 IP) 機器により構成される NW 環境において、100 以上の種別が異なる通信を論理多重化した仮想 NW のパケット NW に関する資源管理情報を共通管理モデルに従って保持し、資源管理情報に対する参照・更新を 10 分程度で完了することを目標とした。まず、仮想リソース管理機能を技術開発し、物理的なパケットトランスポート NW を仮想的なパケットトランスポート NW として管理制御可能とし、複数のシステムへ仮想リソースを提供可能とするシステムを確立した。このことにより、複数の他連携システムへ仮想的なパケットトランスポート NW の資源を提供可能となり、マルチレイヤにおけるパケットトランスポート層の連携制御を確立した。

また、物理アプライアンス制御技術を開発し、物理的なパケットトランスポート NW を抽象的に管理制御することが可能となるシステムを確立した。このことにより、一つの物理的なパケットトランスポート NW を複数のリソースとして分割利用することが可能となり、通信事業者規模の公衆網レベルでのパケットトランスポート NW の共有利用技術を確立した。

さらに、サーバ制御技術を開発し、複数の利用者に対するユーザ管理を実現可能なシステムを確立した。このことにより、仮想的なパケットトランスポート NW の資源をユーザ毎に、分割利用可能となり、既存では物理的なパケットトランスポート NW の所有者のみが利用可能であった通信事業者規模の公衆網を物理的な NW を保有していない、事業者に対しても利用可能とする技術を確立した。

最終的には、固定コア網及びアクセス網を想定した、1000 台規模での運用管理が可能であることを確認するため、管理リソース機能の性能評価を実施し、各オブジェクトの登録数が目標に規定された固定コア網及びアクセス網を想定した、1000 台規模の登録操作となった場合においても、10 分以内で操作完了することが達成されていることを確認した。この結果より、共通管理モデルに従って保持した 100 以上の NW について、それぞれの NW の構築が 10 分以内で完了することを確認した。

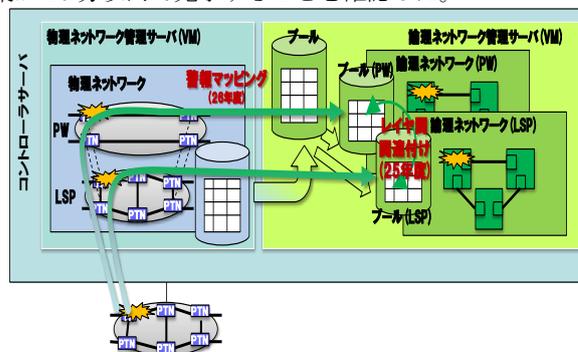


図 7 パケットトランスポートネットワーク資源管理の全体概要

### 2.1.4. 光コアネットワーク資源管理機能

光コア NW 資源において、物理装置依存の情報を抽象化し、論理的に表現するにあたり ONF (Open Networking Forum) の OTWG (Optical Transport Working Group) で検討している Information Model を参考に検討し、モデル化した。今回機能実装した NW 管理制御プラットフォーム上で光コア NW 資源は、ノード、ポート、リンクおよびパス (フロー) として表現する。検討した主な光コア NW 資源について以下に示す。

- (1) 光コアノード : パケットトランスポート装置を接続可能なクライアントポートを備え、入力するクライアント信号を光波長資源に割り当て、別の光コアノードに伝送する。1 波長あたりの帯域が広帯域のため、光コアノードでは OTN (Optical Transport Network) 伝送規格を備えることを想定する。
- (2) ODU パス : 2 つの粒度の ODU パス (LO ODU (Low Order Optical Data Unit)、及び HO ODU (High Order ODU)) を取り扱う。波長資源より粒度の小さい LO ODU パスをクライアント信号に割り当てることで、複数のクライアント信号を同一の光波長パスで伝送可能となる。
- (3)  $\lambda$  パス : WDM (Wavelength Division Multiplexing) を想定し、複数の LO ODU パスを収容する HO ODU パスと  $\lambda$  パスが 1 対 1 に対応する。

光コア NW をノード、ポート、リンクで表現し、下位レイヤ ( $\lambda$  NW) のフローを上位レイヤ (OTN NW) のリンクとする。例えば、下位レイヤのリンク (=ファイバー) の中にはフロー (=波長パス) が設定され、それは上位レイヤにはリンクとして見える。上位レイヤではリンク (=波長) の中にはフロー (=ODU パス) が設定される。これを再帰的に重ねることで、マルチレイヤ NW を表現する。

下位レイヤのフローを、上位のレイヤのリンクとして仮想化



図 8 マルチレイヤ仮想化手法

事前準備として、装置設定が完了しており割当制御を実施するだけで使える状態になる光コア NW 資源を NW 管理制御プラットフォームにプール化する。プール化の意義は、装置のインストールや設定はある程度まとめて行うが、実際に設定された資源全てをすぐに使うわけではない前提において、未使用資源を SDN によって有効に活用可能とすることである。プールされた光コア NW 資源を動的に提供するため NW 管理制御プラットフォームでは、次の 2 種類の制御方式を備えた。

(a) 下位レイヤの資源管理者が上位レイヤ（ユーザ）に払い出すパス資源を決定すると、ユーザに新たなリンクとして抽象化された資源が提供される。

(b) ユーザが新たに要求するリンクを NW 管理制御プラットフォームに登録すると、下位レイヤの資源管理機能が適切なパス資源の割り当て制御を実施し、ユーザによって登録されたリンクを実際に利用可能にする。

(b) の方式により、ユーザは所望のタイミングで所望の NW 資源を利用することが可能となる。なおユーザに対しあらかじめ光コアリソースプール量を見せるかどうかは、ポリシーに依存する。すべて見せれば、残量が少ない場合に価格を上げるといった需要と供給バランスに依存した価格設定の可能性もでてくる。

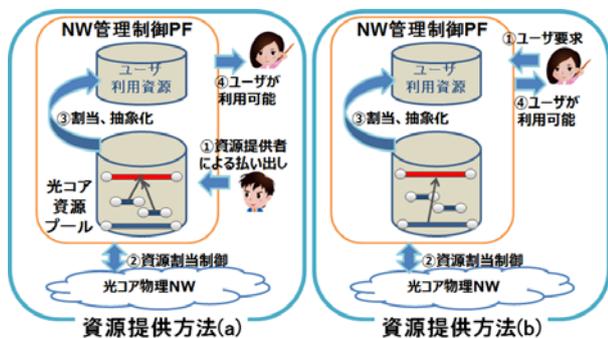


図 9 光コア NW 資源提供方式

## 2.2. ネットワーク連携制御技術

### 2.2.1. パケットトランスポートネットワーク管理制御技術

これまでの NW 設定では、個別の packet 転送レイヤ毎に必要なとする NW の設定をオフラインで作成検証し、策定した設定を個々の装置にアクセスし、それぞれ制御設定をしており、設定完了まで数時間から数日を要していた。サービスとしてのアプリケーションが必要とするリソース量等を、アプリケーション側から要求すると、統合的に管理している複数レイヤの NW 資源の中から最適な NW 資源を、動的に確保、及び提供する NW 管理システムが必要である。

本技術開発では、MPLS-TP NW レイヤ及び IP NW を統合的に管理し、サービスを提供するユーザからの要求に応じて、MPLS-TP NW 内から最適な NW 資源を動的に確保し、IP NW のトラヒックに割り当てる、パケットトランスポート NW 管理制御技術を開発した。具体的には、MPLS-TP NW 内から最適な NW 資源を動的に確保する MPLS-TP NW 制御機能、確保した資源を IP NW のトラヒックに割り当てる IP NW 制御機能を備えたパケットトランスポート NW 管理制御システム、及びパケットトランスポート NW 管理制御システムへのユーザのインタフェースとなる管理アプリケーションを開発した。

開発したパケットトランスポート NW 管理制御技術をテストベッドで評価したところ、MPLS-TP NW 内の 1 資源を IP NW のトラヒックに割り当てる処理に要する時間は 20 秒以下であった。1,000 台規模のノードで構成され

る通信環境において、MPLS-TP NW 内の資源を IP NW のトラヒックにシリアルに割り当てていったとしても、目標値である 10 分では、40 資源程度までの処理が可能であることが確認できた。

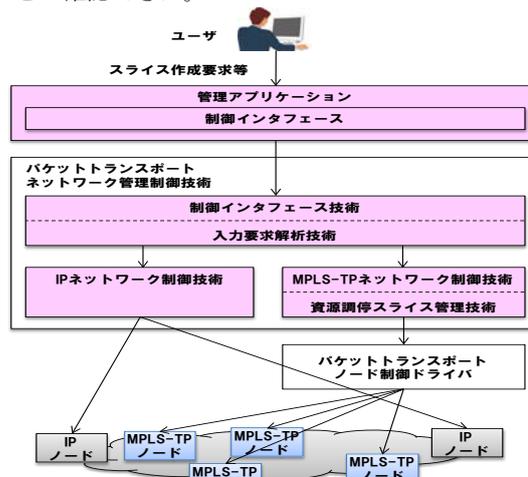


図 10 パケットトランスポートネットワーク管理制御の全体概要

### 2.2.2. 光コアネットワーク管理制御技術

図 11 にパケットトランスポート NW と連携するための光コア NW 管理制御の概要を示す。

光コアの物理 NW は、光コア NW 管理制御機能によって抽象モデル化され、光コア NW 資源管理機能に渡され、図中の円柱で示されるように NW オブジェクトとして管理される。OTN を想定した光コア NW の場合、2.1.4 で述べたように LO ODU および HO ODU を、それぞれ仮想化された資源として管理する。

NW 管理制御プラットフォームの共通機能の 1 つであるレイヤ仮想化機能によって、L0 NW のフローである HO ODU を、L01 NW のリンクとして仮想化した L01 NW が生成される。同様に、L01 NW のフローである LO ODU は、上位レイヤである L012 NW が使用するリンクとして仮想化され、L012 NW が生成される。

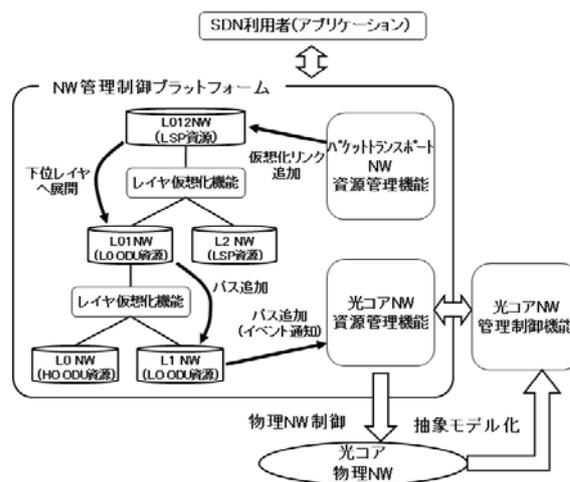


図 11 光コアネットワーク管理制御の概要

以下に、上位レイヤでリンク追加要求が発生したときの管理制御の流れを示す。

#### (1) 光コアネットワーク資源の要求

ユーザのトラフィックをパケットトランスポート NW における LSP に收容する場合に、パケットトランスポート NW の資源管理機能が新たな LSP を生成するためにリンクの追加が必要と判断すると、下位の光コア NW にお

ける資源の動的な割当を要求するため、リンクの端点および属性情報（帯域、遅延等）を、NW 管理制御プラットフォーム上の L012 NW の資源情報として仮想リンクを追加する。

### (2) レイヤ間での制御要求の伝達

L012 NW に対するリンク要求は、レイヤ仮想化機能により、下位となる L01 NW に対するフロー(LO ODU)の生成要求にレイヤ変換され、光コア NW の資源管理機能にイベントが通知されることで、光コア NW 資源の動的割当の実行がトリガされる。

### (3) 光コアネットワーク資源の割当およびノード設定

光コア NW 資源管理機能は、生成すべき LO ODU の端点と属性に基づき、光コア NW 制御管理機能に問い合わせ、LO ODU の経路、即ち経由する光コアノード情報と、ノード間での伝送に使用する HO ODU の割当情報をもたらす。今回は、HO ODU の生成自体は予め行っておき、LO ODU の生成要求が行われた時点で使用する HO ODU とその Tributary Slot (TS)、Tributary Port Number (TPN) を動的に割り当てる制御を実現した。

また、光コアノードに対して LO ODU と HO ODU をマッピングするための設定を、OpenFlow プロトコルのフロー変更メッセージを一部拡張し、マッチおよびアクションにおいて ODU の種別、TS、TPN を指定する方式を実証した。

## 2.2.3. ネットワーク間相互連携管理制御技術

既存 NW との相互接続を実現する NW 間相互連携管理制御方式を検討し、その実装および評価を行った。

広域網に適用可能な NW 仮想化技術の実現に伴い、広域網をより多種多様な用途で用いることが可能となっている。このような広域網における重要な用途の一つとして、広域に分散した NW 間の相互接続が挙げられる。例えば、企業 NW において、東京の本社 NW と全国各地に存在する支店 NW の接続に広域網を用いる場合などである。しかしながら、収容する各 NW が、必ずしも SDN に対応しているとは限らない。そのため、広域網上に構築される仮想 NW は、既存の方式で実現された NW と相互接続できる必要がある。特に、多くの既存 NW は IP 技術を用いて構築されているため、仮想 NW には IP 技術との相互接続が求められる。仮想 NW が、IP 技術で構築された既存 NW と相互接続するためには、既存 NW との間で経路情報の交換を行う必要がある。広域な経路情報の交換には、一般に BGP (Border Gateway Protocol) が広く用いられている。そこで、我々は、SDN 技術を用いて広域網上に構築された仮想 NW が、BGP を用いて経路情報の交換を行うことで、既存 NW との間で相互連携を実現する NW 間相互連携管理制御方式を実現した。

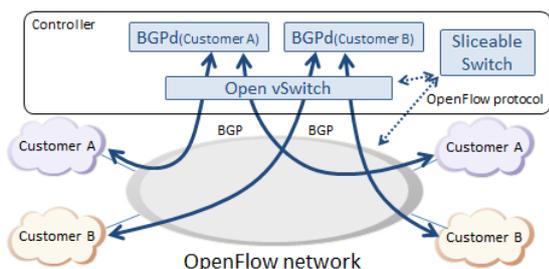


図 12 BGP パケット転送用パスの作成

本方式では、BGP の処理機能(BGPd)をコントローラ上

に配置するため、顧客拠点側ルータから送られた BGP パケットをコントローラ上の BGPd まで転送する必要がある。相互接続する既存 NW の種類に応じて個別に BGP パケットを転送するため、OpenFlow コントローラアプリケーションである Trema Sliceable Switch を用いて、OpenFlow NW 上に複数の L2 NW を作成した(図 13)。

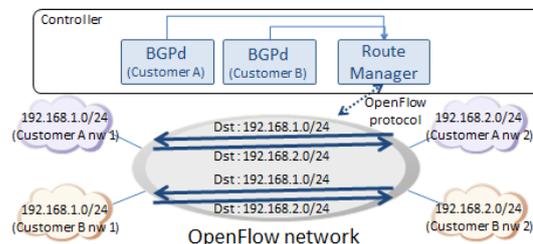


図 13 トラフィック転送用パスの作成

また、BGP を用いて収集した経路情報を元に、既存 NW のトラフィック転送用パスを形成する機能として、Route Manager を実装した(図 13)。Route Manager は、顧客側 NW で使用しているアドレスに基づいたトラフィック転送用のパスを構成する。

本技術を、2.1.2 節で述べた共通制御フレームワーク上に実装し、仮想 NW 作成時間について評価を行った。その結果、1000 ノード規模の NW 上において 100 個の仮想 NW を 10 分以内に作成可能であることを確認した。

## 2.2.4. ネットワーク移行管理技術

既存の NW からより新規 NW への従来 NW 移行では、現状の NW の変更を最小限に留めることを主眼としたオーバーレイモデルが主流であった。しかしながら、従来の単純なオーバーレイモデルでは、遅延や帯域に厳しい品質を要求するレガシー通信に支障が出る可能性が高い。また、パケット通信装置においても、物理的な接続が変化しない場合においても、制御信号の論理的な接続先や接続数が増加するため、既存の通信装置に対する制御のスケラビリティ等に課題がある。

そこで、既存のレガシーNW から段階的に、サービスを停止することなく、新規サービスを提供可能な仮想 NW へ移行 (マイグレーション) する技術として、従来の様々な制御アーキテクチャによる NW (IP、MPLS、広域イーサネット、SDH 等) から、インテリジェントな制御設定を実現する仮想 NW への円滑な移行を実現する新たな技術として、仮想 NW を 1 台ないし複数のルータとしてエミュレーションすることにより、既存の NW 管理体系である IP NW から仮想 NW (MPLS-TP NW) へ、段階的に移行するための技術を確立した。

具体的には、仮想 NW 上において既存サービスの継続を実現可能とするための、NW エミュレーション技術を確立した。これにより、仮想 NW 上に既存 NW をエミュレートし、既存サービスに変更を加えることなく、仮想 NW 上でのサービスの継続を実現可能とした。また、既存サービスを停止せずに新規 NW に移行する、NW サービス移行技術を確立した。これにより、仮想 NW 上に実現するエミュレーション NW 上への、既存サービスを停止させることのない移行を実現可能とした。さらに、NW 移行管理制御技術の、電気通信事業者の大規模な公衆網への適用を可能とする、スケラブル移行管理制御技術を確立した。

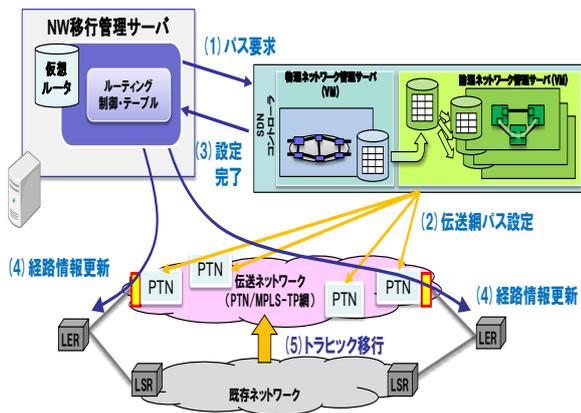


図 14 ネットワーク移行管理技術の全体概要

## 2.3. 仮想ネットワーク対応ノード技術

### 2.3.1. SDN ソフトウェア転送ノード構成技術とドライバ技術

今後のダイナミックなデータ流通を支える NW プラットフォームにおいて、特に広域 NW のコアエッジ転送ノードの汎用化とフレキシビリティの向上のために、汎用サーバ上で動作する SDN ソフトウェア転送ノード構成技術と SDN コントローラからノードを制御するためのドライバ技術の実現に取り組んできた。到達目標として、様々な NW 構成を持つ拠点を収容し、広域 NW への転送を可能にする 10Gbps を超える大容量トラフィック転送性能、及び 100 万フロー級の特性の異なるトラフィックを収容可能とするフロー処理技術、OpenFlow などのプロトコルを用いて適切な転送経路の設定をオンデマンドに行うことが可能な機構を具備した、広域 NW 向け SDN ソフトウェアスイッチ構成技術とそのドライバ技術を確立することとした。

本目標を実現するため、本 SDN ソフトウェアスイッチの構成として、Agent 層と Dataplane 層の 2 階層構造を採用し、Agent 層で柔軟な制御が可能なドライバ技術、Dataplane 層で 10Gbps のトラフィック転送や 100 万フローを収容可能にする性能の実現に取り組んできた。(図 15)

また、各機能部は可能な限り共通部品化を行い、それらの組み合わせで様々な付加機能、モジュールの実現を可能とし、柔軟性の高い SDN ソフトウェアスイッチの実装を行った。

ドライバ技術については、OpenFlow 1.3 に準拠した実装を行い、Conformance Test Specification for OpenFlow Switch Specification、及び Ryu Certification に基づいた機能評価を行い、広域 NW で用いられる MPLS や PBB 等のプロトコルの制御も含め仕様に対する高い準拠率を確認することができた。

性能面では、最新のマルチコア CPU や高速 I/O 処理の活用により、汎用サーバ上での高速なパケット処理が可能なアーキテクチャを検討し、実装を行った。この結果、広域 NW での利用例として DC と WAN を結ぶゲートウェイ、MPLS ルータ、Ethernet スイッチを想定した性能評価を行い、目標としていた 10Gbps を超えるトラフィックの転送性能(2 リンクを用いることにより 20Gbps を達成)や、100 万フローの収容ができることを実験により検証し、年次目標の達成を確認した。

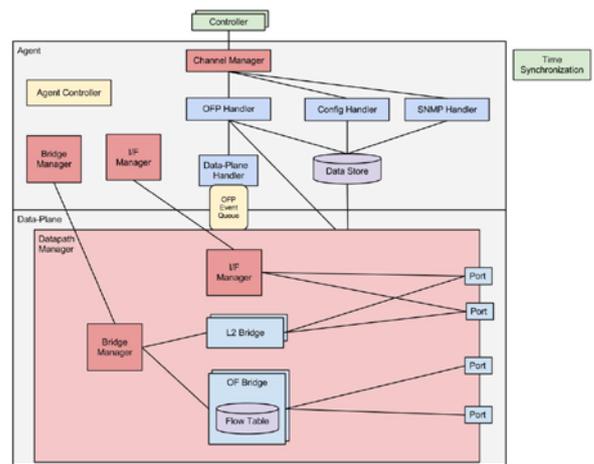


図 15 SDN ソフトウェア転送ノードの構成

### 2.3.2. SDN オーバレイスイッチ技術および制御技術

サーバ仮想化技術の進展と広域 NW 技術の普及により、計算資源を物理資源から独立させ、仮想マシンとして運用するクラウドサービスが登場している。クラウドサービスには、トンネルを用いた VPN で接続するのが一般的であり、様々な NW サービスのクラウド化に伴って柔軟にフローを管理・制御できる技術の実現が必要となる。本研究開発では、これらの課題に対し、フロー毎に適切な転送経路を設定する仮想 NW 制御ノード技術および、設定された経路に基づき分散した拠点間でパケットを転送する SDN オーバレイエッジスイッチ技術に取り組んだ。

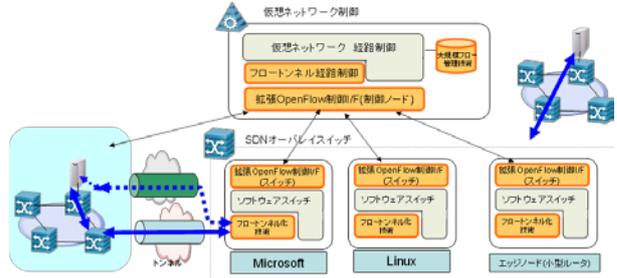


図 16 全体概要

その中核となる仮想 NW 制御ノードは、パケット転送区間を DC 内部と DC～拠点間の二種類に大別し、それぞれ異なるトンネル方式を適用する(例えば、DC 内部は VXLAN、DC～拠点間は NVGRE など)。また、仮想 NW 制御ノード～SDN オーバレイエッジスイッチ間のインターフェイスには、運用形態に合わせた OpenFlow / REST / CLI の 3 種類を用意した。

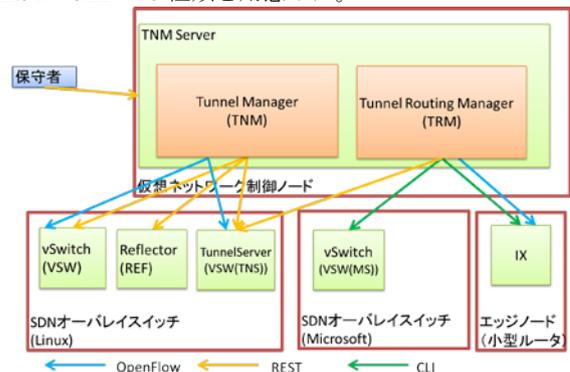


図 17: 仮想 NW 制御ノードの制御方式/対象

本研究開発成果については、東京(大手町)、札幌、福岡の3拠点を結ぶ広域NW上で評価を行ない、特性の異なるフローに応じた適切な経路選択や障害発生時における自動的な経路切替えの実現を確認した。

### 2.3.3. 光コアノード及びドライバ技術

広域NWにおいて迅速に新しいサービスを提供するためには、トランスポート機能を提供する光コアノードおよびそれを用いるNWの制御についてSDN対応が必要であると考えられる。約10Gbpsの packets 信号に対して、約1Gbps 粒度単位の回線信号への振り分けを行う評価ボードの試作・評価を通して技術を実証した。

今回、試作を行った評価ボードは4x10GbEthernet(10Gbps)インタフェースおよび1Gまたは10Gbpsの信号速度の回線信号(OTN LO ODU)インタフェースを持つ。後述するプロトコル拡張したOpenFlowによる制御に従って packets 信号を所望の回線信号へ振り分け可能なことを確認した。振り分け機能部単体の切り替え制御時間はmsオーダーで実現した。



図18 パケット・回線/光信号振り分け機能部評価ボード

OpenFlow プロトコルは、パケットのレイヤにおいてフローをMatch/Actionで表されるフローエントリとして抽象化することにより、NWのソフトウェア制御を容易にしている。今回、この考え方を回線交換のレイヤまで拡張し、光コアノードのSDN制御を実現した。OpenFlowプロトコルを、回線交換をベースとした光コアNWに拡張するには、以下のような拡張が必要である。

- 回線交換用のパラメータ(タイムスロット、波長など)に基づくMatchを可能とすること。
- 回線交換用のAction(タイムスロットの割り当て、クロスコネクタなど)を可能とすること。

このような拡張を行うことにより、回線交換のクロスコネクタをパケットのフロー同様にMatch/Actionによるフローエントリとして制御することができる。ODU回線のクロスコネクタ制御をOpenFlowを用いて実現するため、OpenFlowのMatchパラメータとしてOTNのODU type, TS, およびTPNを追加し、またActionとしてこれらのパラメータを設定できるようなプロトコル拡張を行った。このプロトコル拡張は、OpenFlowプロトコル仕様を策定しているONFに提案され、OpenFlow Version 1.5に取り入れられる予定となっている[1]。

また、既に配備済みの光コアノードに対してSDNによる制御を実現することも重要である。今回、このような既存の光コアノードに対してSDN制御を実現するため、拡張されたOpenFlowによる制御を既存の光コアノードで実行するTL1(Transaction Language 1)コマンドに変換するOpenFlow/TL1変換ソフトウェアを開発した。このソフトウェアを利用することにより、既に配備済みの光コ

アノードに対しても拡張されたOpenFlowを用いた制御の抽象化、およびSDNを用いたソフトウェア制御が可能になり、より広範な光コアNWのSDN制御を可能とした。

### 2.3.4. パケットトランスポートノード制御及びドライバ技術

本研究開発では、パケットトランスポート(MPLS-TP)NW管理・制御フレームワークから物理ノードへの要求品質を規定するためのインタフェース構造を研究開発する。これにより、MPLS-TPNW管理・制御フレームワークは、物理NWにNW設定を要求する際に、物理ノード特有の複雑な制御トランザクションを意識することなく、NW品質設定が可能となる。また、多物理ノードへのNW品質設定要求を効率的に物理パケットトランスポートノード制御に変換・展開する技術を研究開発する。一方で、多種・多様なNW品質を提供するため、ノード内の機能ブロックを有機的に連携させる多品質NW生成技術についても研究開発する。これは、多種多様な品質のNW要求に適した物理NW制御インタフェース構造に関する技術、物理NW制御の個別NWノード制御への変換技術、ノード内機能ブロック連携による多品質NW生成技術の3つの技術開発から構成される。

具体的な作業としては、パケットトランスポートノードを制御するための上記開発技術仕様を実装したソフトウェアを開発(コーディング)、及び開発した技術を検証するためのテストベッドを構築する。そして、本テストベッドを用いて開発ソフトウェアを実行し、収集した実行結果データを下に、目標とする(1)10種類以上のサービス品質条件を指定してデータ伝送可能なパケットトランスポートノードの実現、及び(2)NW設定を従来比1/10の時間(数分以内)で可能とする技術を確立する事を目標とした。

今年度の研究開発を通して、目標(1)は、論理NW仕様として要求された10種類以上のサービス品質の接続性を、要求に応じてパケットトランスポート中継部に予め確立しプール化してあるパスから適切なものを選択し、パケットトランスポートエッジ部を制御し収容するユーザのフローと該当パスとのマッピングをオンデマンドで実施することで実現できたことを確認した。また、目標(2)は、構築したテストベッドを用いて実施した実験結果から、目標としていた従来比1/10の時間を上回り、接続性提供では約252倍の0.102[Sec]で、接続性削除では約190倍の0.108[Sec]で各NW設定が可能であることを確認した。

本研究開発で検証用に開発したテストベッドを用いて実施した実験の結果、指定した多様な品質のNWを確実に迅速に展開・設定可能であることを検証し、設定した目標を達成したことを確認した。

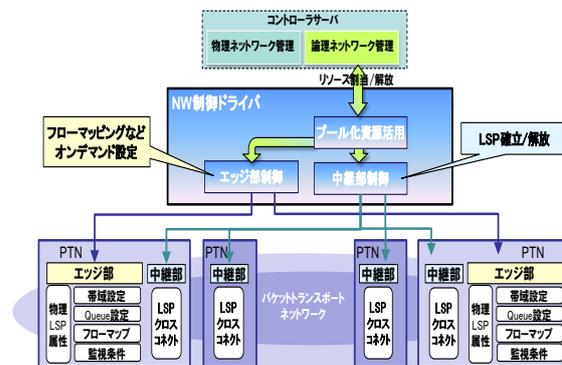


図19 パケットトランスポートノード制御及びドライバ技術の全体概要

### 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

本プロジェクトの成果は、今後、我々が継続して研究開発に取り組むNW仮想化統合技術の基本要素技術として、利用・展開していく予定である。また、オープンイノベーションによる成果のグローバル展開やNW仮想化技術を対象にした社会実装の加速化を念頭に、研究成果の一部を今年の7月からオープン化しているが、今後もオープン化することを考えている。さらに、現在のNW仮想化技術の領域ではSDN関連技術に対する国際標準化の動きが活気を帯びており、本研究開発成果の標準化獲得を通じた社会実装に係るイニシアティブの確立を狙い、ONF (Open Networking Foundation) や IETF (Internet Engineering Task Force) などの標準化団体において成果の標準化に向けて活動中である。

将来的に、本プロジェクトを含む関連技術が整備された後は、NWオーケストレーションがソフトウェア化・自動化され、コンピュータ(仮想マシン)並みの応用性や即時性を有するNWの登場が予想される(図20)。これにより、流通異業種間でのクラウドサービスの連携がソフトウェア流通や交換により即時に実現される世界、および世界で共通品質・性能を持つクラウドサービス基盤がソフトウェア配布により即時に実現される世界の実現が期待される(図21)。

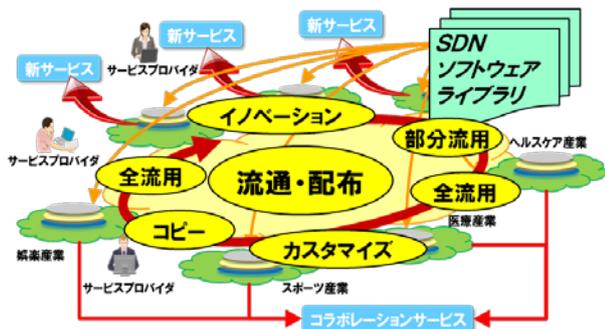


図20 将来展望イメージ(1)



図21 将来展望イメージ(2)

### 4. むすび

本プロジェクトでは、広域NWを対象に、要求に応じたNWを従来よりも短時間で臨機応変に設計・構築・変更できることを目指し、広域NWへSDN技術を適用するために必要な基本技術の研究開発を行なった。具体的には、広域NWを構成する多様なNWの相違に対して、個々のNWをオブジェクト指向のデータモデルで抽象化表現することにより吸収し、これらオブジェクトを処理するオペレータ機能を備えたNW統合制御基盤を中心に、

- ① ネットワーク管理制御プラットフォーム技術

- ② ネットワーク連携制御技術
- ③ 仮想ネットワーク対応ノード技術

の各課題に取り組んだ。

これらの成果を利用することにより、例えば、ビッグデータの活用、高品質放送、グローバル企業イントラネットといった様々なアプリケーションに特化したソフトウェアを用いることで短時間に最適なNWを構築し、サービスの利用が可能となる。今後は、本研究開発で実現した基本技術の完成度を高めると共に、得られた成果の一部をオープン化し、また国際標準化団体への積極的な提案によるグローバルな仲間作りなどを通じて、社会実装を展開していく予定である。

#### 【査読付発表論文リスト】

- [1] 鈴木一哉, 金子紘也, “運用省力化を実現するIP-VPN向けOpenFlowコントローラ”, NEC技報 Vol.66 No.2 pp48-51 (2013年10月31日)
- [2] K. Suzuki, H. Shimonishi, “A Survey on OpenFlow Technologies”, IEICE TRANSACTIONS on Communications Vol.E97-B No.2 pp.375-386 (February 1, 2014)
- [3] T. Iijima, T. Suzuki, K. Sakamoto, H. Inouchi, and A. Takase, "Applying a Resource-pooling Mechanism to MPLS-TP Networks to Achieve Service Agility," The Fifth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization (CLOUD COMPUTING 2014), pp. 31-36 (May, 2014)

#### 【取得特許リスト】

取得特許なし、現在出願中18件

#### 【国際標準提案・獲得リスト】

- [1] ONF、EXT-445, Extension to OFP to support Electrical connections, 2013年12月20日(提案日)、OF ver1.5採択予定(最終承認プロセス中)
- [2] Internet Engineering Task Force (IETF), draft-ijijima-resource-pool-multilayer-00, 2014年2月16日(提案日)

#### 【報道掲載リスト】

- [1] “広域ネットワークインフラのSDN化を目指す研究開発プロジェクト「Open Innovation over Network Platform」の設立について”, 日経産業新聞, 日刊工業新聞, 電波新聞, 2013年9月18日
- [2] “一世界最高性能を持つSDN対応ソフトウェアスイッチのプロトタイプ開発に成功—10Gbpsワイヤレートの高速度処理を実現”, 日経産業新聞, 日刊工業新聞, 2013年12月10日
- [3] “世界初、SDNにより柔軟な広域ネットワークを実現する基本技術を確立 ~ ネットワークの統一的管理に必要な基本技術を開発し、異種ネットワークの接続性や可視化を確認 ~”, 日刊工業新聞, 2014年3月10日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.o3project.org/>