SDN に対する通信事業者の取組みと今後の期待

Carrier's Activities and Expectations for SDN Technologies

佐藤陽一
Yoichi Sato

NTT コミュニケーションズ株式会社
NTT Communications Corporation

Abstract

本稿では現在クラウドサービスを中心としてデータセンタ内ネットワークへの適用が検討されている SDN 技術に関して、商用サービスに対する導入の検討について述べるとともに、自前コントローラの検討状況について述べる。また、キャリアネットワークへ展開していく上で、中継網、アクセス網、構内網まで視野に入れた課題と、それに対する OpenFlow/SDN を適用した場合の期待について述べる。

キーワード

OpenFlow、SDN、NFV、OAM、自動化、データセンタ、クラウド

1. まえがき

クラウド時代と言われるようになってからインターネットのトラヒックの流れが変化している。以前は PC 相互間においてファイル交換ソフトウェア等による Peer-to-Peer トラヒックの増大が課題だったのに対し、最近は情報資源がネットワーク内のクラウドコンピューティング内に蓄積され、スマートフォン、タブレット端末がネットワークを介して情報資源にアクセスする Cloud-to-End の通信に変わってきている。典型的な例としては YouTube 等による映像コンテンツ配信がある。また最近では企業内の業務システムを仮想サーバ環境で動作させるだけでなくサービスとして提供されるクラウド上の仮想サーバで動作させる事例が一般化しつつある。このようにクラウド上の情報資源がネットワークを介して端末に流れることになる。通信事業者としては、トラヒックの大容量化への対応と、変化の速いクラウド時代のトラヒックへの対応の両立を迫られている。

Software-Defined Networking (SDN)は当初 OpenFlow[1]を中核とするネットワーク技術全体を表現する為に使われ始めたが、現在は SDN が拡大解釈され多様な意味合いで用いられている。今後のキャリアネットワークを検討する上で、SDN 技術は柔軟性や即応性の観点からサービスの差異化やコスト削減などが期待されている有効な手段と考えられる。現在は、適応領域として、データセンターネットワークを中心に議論されているが、今後はバックボーンネットワークも含めた適用に対する検討が進んでいくと考えられる。また、SDN 技術を適用した場合でも現在のネットワークサービス同様、お客様に対して安定的なサービスを提供する上では、ネットワーク運用管理の検討が重要である。本稿では NTT コミュニケーションズ（NTT Com）における SDN の取組状況と SDN 技術に対する期待について述べる。

2. キャリアネットワークの課題

SDN 技術のキャリアネットワークへの適用を検討する上で、考慮すべきネットワークモデルを図 1 に示す。

データセンタ（DC）には IaaS（Infrastructure as a Service）をはじめとするクラウドサービス、またメール、Web 等のサービスが存在する。DC 内に NW を構築し、DC 内の通信や外部との接続を行うのがデータセンタ内ネットワークである。中継網はマルチサービス、マルチカスタマの多様なトラヒックを多重化し、大容量で広帯域な NW である。コアの部分は PTN（Packet Transport Network）や OTN/光のネットワークで構成される。アクセス網は有線と無線の両方を考慮する必要がある。 また、構内網に関してはキャリア直接扱う領域ではないが、企業通信網のエンドーエンド監視という観点では統一的な運用、管理が望ましい。以下に各領域の課題を示す。

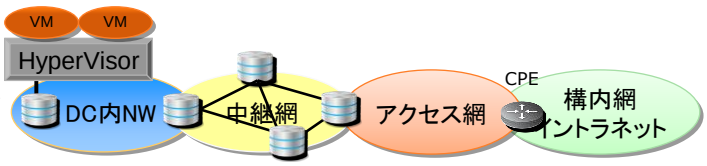

図 1 ネットワークモデルの例

（1）データセンタ内ネットワーク

クラウド DC 内 NW は多数のハイパーバイザを収容し、その上に VM（Virtual Machine）が構成される。サーバ負荷の平準化やサーバメンテナンス時にサーバを孤立させる為に VM の移行が行われる。VM 移行においては IP アドレスが引き継がれるため、移行後のコネクティビティ確保の為には NW 上の物理的位置が異なっても同一 IP アドレスでの通信確保が必要となる。その為にイーサネットにより DC 内 NW を構成することが一般的になっている。

しかしながら、DC 内 NW が大規模になるにつれて、様々な課題が生じている。

（a）VLAN ID が 4K に制約される

（b）VM の MAC アドレスはハイパーバイザから設定可能なため重複が生じうる

（c）企業毎にプライベート IP アドレスの管理は独立なため、複数プライベートユーザを収容する場合、IP アドレス重複の可能性が排除できない。

（d）ループが方式上許容できない為、トポロジ設計に制約が生じる。

（e）NW を構成するスイッチの MAC テーブル、Apr テーブルの枯渇が懸念される

（f）人為ミス、設計ミス等の要因によりループが生じることがある。

（g）　安価なイーサネット SW の場合、実装されている OAM 機能が十分ではない。

上記の課題は主に方式上のスケーラビリティに起因する課題、ハードウェアのテーブル数制約に起因する課題、NW の安定性や運用性に関わる課題に大別できる。

これらの課題に対して、DC 内の各種サービス個別に構築している NW を SDN で統合し、サービス毎にスライスを構築することで、コスト削減、短納期が可能となる。

（2）中継網

既存の中継ネットワークとして IP バックボーンが既にあり、最初の段階ではそれを前提とした網構成から検討を始めることが SDN 技術導入の初期段階には重要である。将来的にはオプティカルレイヤ、トランスポートレイヤも含めた SDN による網制御の検討が必要になると考えられる。既存網から SDN ベースの NW への移行においては設備の投資サイクルを考慮してマイグレーション計画を立てることが重要である。また、中継網は地理的に広がった構成であるため、集中制御型の SDN の導入に関してはスケーラビリティを考慮する必要がある。以下にバックボーンネットワークを設計する上での課題を示す。

・L2/L3 網の統一的実現

・DC 内のテナント NW と VPN 網との自動化された接続

・レイヤ 1 から 3（将来的には 4 以上）を考慮した NW 資源の利用効率の向上

・広域災害等を考慮した対災害性の高い網構成

・広域に広がる設備の運用、保守の容易性、スケーラビリティの確保

・他社網との SDN を介した相互接続

（3）アクセス網

アクセス網は POP（Point of Presence）ビルからユーザ宅内までが該当する。海外におけるサービス提供を想定するとアクセス網を全て自前設備で構築することは容易ではなく、他社のサービスを利用する場合がある。そのためアクセス網の検討においては、有線、無線、インターネット等の多様な通信手段との相互接続が前提となる。現状、サービス申込書（SO）ベースで接続をしており、キャリア相互間で SDN 技術による自動化が実現できれば運用コストの低減および早期のサービス提供が期待できる。また、多様化する端末とアクセス手段への対応（スマートフォン、3G/LTE、WiFi 等）も行う為には端末への OpenFlow/SDN による制御機構を考える必要がある。以下にアクセスネットワークを設計する上での課題を示す。

・多様なアクセス回線（有線、無線、インタネット等）との相互接続

・限定された NW 資源という状況での QOS/QOE の確保

・多様化する端末への対応

・CPE のシンプル化によるコスト削減

（4）構内網

構内網はキャリアが直接扱う NW ではないが、企業通信網において構内網と広域網の統一的な運用・管理を行うという観点で構内網に存在する機器の監視、トラヒックの監視が必要である。また、企業通信網において課題となる人の属性変化（人事異動等）に応じて所属する NW、IT 資源への動的な関連付けを SDN によりどのように自動化するかが課題となる。

3. SDN に対する取組み

3.1 クラウドサービスに対する適用

NTT Com は 2012 年 6 月から提供開始したクラウドサービスに OpenFlow を用いたネットワークを利用している[2]。このサービスにおいてはカスタマポータルからのユーザの操作で、VM 生成と必要なネットワークの設定も自動で行える仕組みを提供している。

セルフプロビジョニングを可能にする仕組みの概念を図 2 に示す。OpenFlow は OpenFlow スイッチを制御する為に用いられているが、NW アプライアンス等は OpenFlow では制御できない為、CLI 等の手段を併用する。クラウド管理システムとその上にオーケストレーション層を設け、クラウド資源と NW 資源の両方を連携制御する。更にカスタマポータルを設けることでセルフプロビジョンニングを可能としている。この経験から得られた知見は OpenFlow/SDN が自動化に寄与している部分は一部のみであるということである。この自動化の効果として NW 設計から設定までの時間が大幅に短縮され、さらに人為ミスが激減した。

また、OpenFlow のネットワークを DC 相互間にも構築し、帯域を自動で可変にできる機能を実現した。その機能を用いて、DC 間でデータのバックアップを可能とするサービスに適用している。

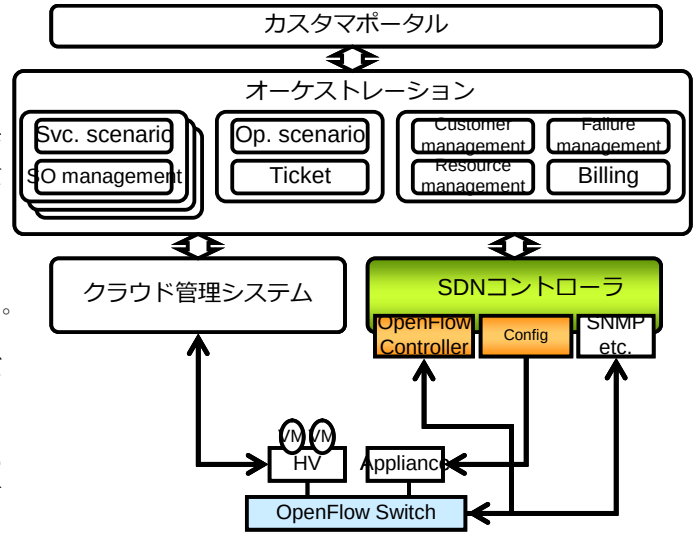

図 2 自動化の仕組みの例

3.2 自前コントローラの検討

SDN で期待される効果である NW 機能をソフトウェアでタイムリーに実現する事を可能にするためにはコントローラを自前で開発すべきである。自前コントローラを

中心に特徴のある NW アプリや価格競争力のあるスイッチを選択する状況を作りだすことが可能となる。

コントローラに関して、NTT i3、NTT 研究所と協力して、プロトタイプを構築した。図 3 にその構成を示す。

OpenFlow コントローラとして RYU[3]を用いており、それをベースに共通フレームワークを開発した。そのフレームワーク上で特徴のある NW アプリケーションの開発が可能となっている。ここで指摘しておきたいのは OpenFlow コントローラや共通フレームワーク自体には、共通的に利用可能な機能をモジュールとして用意し、NW アプリから利用可能である。共通フレームワークについてはオープンソース化し、大勢の企業、研究機関が NW アプリの開発を同じ土壌で出来るようにすべきと考えている。既に RYU[4]はオープンソースとして公開されている。

スイッチに関してはソフトウェアスイッチの代表として OVS[5]があるが、OVS は、OpenFlow プロトコルを実装したユーザ空間のデーモンと、転送を高速化するためのカーネル空間のパケットマッチキャッシュから構成される設計になっているため、

- ファーストパケットをトリガにキャッシュを設定するが、その間に次パケットが到着すると順序逆転する可能性がある。
- Bonding で冗長を組む場合等で、フロールールがベンダ拡張機能に依存する場合がある。
- 設計が複雑な為、機能追加の難易度が高く、かつ Linux カーネルへの変更が必要な為、OS ベンダからのサポートが得られなくなる。
- 最新の OpenFlow プロトコル仕様になっていない。
- 様々なパケットが含まれるような、キャッシュのヒット率が低いトラヒックパターンの場合、キャッシュ管理、カーネル・ユーザ空間通信などのオーバヘッドにより性能が低下する。

このような観点から、新しい設計のオープンソースのスイッチが必要である。Intel 社が提案している汎用サーバで転送高速化が可能な DPDK 技術[6]と、ユーザ空間のみを使ったシンプルな設計のソフトウエアスイッチの組合せが有望であると考えている。このような実装形態の場合、サーバ上で種々のアプリケーションを実装することで様々な機能の実現が可能となると考えている。例えば、TCP に対する高速化機能や、VoIP 網で用いられる SBC（Session Border Controller）、または DDOS 検知等への応用が可能と思われる。

一方、ハードウェアスイッチの課題に関しては、ハードウェアで実装されているマッチングとアクションしか使えない。さらにフローエントリ数も限界があると考えられる。現状の市販スイッチ LSI は上記の制約があるため、今後開発される LSI に期待するところが大きい。

また、ソフトウェアとハードウェア実装の中間的な解としてネットワークプロセッサ（NP）を利用したスイッチが考えられる。NP のマイクロコードを書き換えることで柔軟な機能改変が可能であるため、LSI の設計をやり直すより遥かに機能追加が容易である。NP の実装形態として、サーバの PCIx 拡張カードが考えられる。複雑な処理をサーバ上のソフトウェアと併用することで、高速性と複雑性の両立が可能となる。しかし、パケット処理能力に制約が生じる為、ポート数や IF 速度に制限が生じる。

当面の間、ユースケースに応じたスイッチの使い分けを強いられることになると考えている。

3.3 NW アプリの開発事例

前述した RYU の上にいくつかの NW アプリを開発したので紹介する。

一つは BGP Speaker と呼んでいるアプリケーションで、BGP のプロトコル処理をサーバ上で実現する。この機能を用いて以下のプロトタイプを開発している。

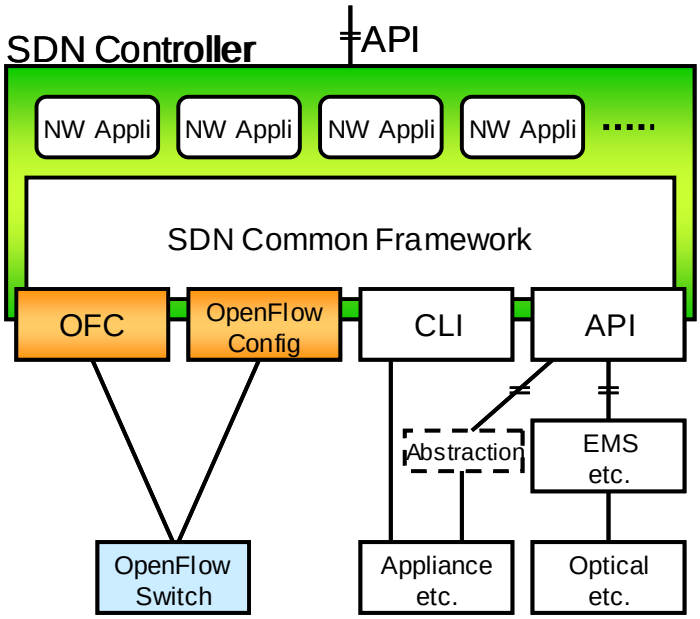

図 3 コントローラ構成例

（1）BGP Free Edge

従来 BGP Free Core の考え方があるが、エッジルータが持つ機能をサーバ上で集中配備することで、OpenFlow スイッチで構成されるネットワークを外部からあたかも IP-VPN のように見せかけることが可能となる。安価なスイッチで MPLS ルータが代用できるため、構築費用が大幅に削減できると考えられる。この proof of concept は 2012 年の Interop Tokyo で実機動作を公開している。

（2）クラウド NW と VPN の接続自動化

クラウド DC 内に構築したテナント NW をそのテナントが属する MPLS-VPN と接続する場合、SO ベースとして相互接続を行うと、時間を要するという課題がある。それに対し SDN を応用して接続の自動化を検討している。DC 内の L2 で構成されるテナント NW と MPLS-VPN を接続するためには、同じテナントに属する VLAN-ID と LSP の情報管理が必要となる。VLAN-ID はクラウドサービスのカスタマポータルから取得できる。一方、LSP に関する情報は BGP を用いて MPLS-VPN から自動的に取得する。コントローラ上の

アプリケーションは両者の情報を突合することで VLAN-ID と LSP のマッピングを行うことが可能となる。さらにその情報を OpenFlow プロトコルによりゲート SW に相当する OpenFlow スイッチのフローテーブルとして設定することで所望のデータプレーンの振舞いを実現する。手動で行ってきた二つの NW の接続を自動化することで接続に要する時間の短縮だけでなく運用コストの削減や人為ミスの低減も期待できる。

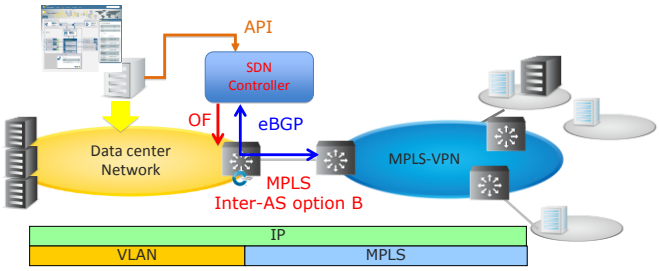

図 4 DC 内 NW と VPN の接続

(3) クラウド NW と VPN の一体化

クラウド内 NW を L2 で構成する代わりに MPLS でクラウド NW を構成する。上記(2)では LSP は DC 内 NW と MPLS-VPN の境界まで対応していたが、この例ではハイパーバイザ内の Software SW まで延長することになる。一方、テナントに対する接続情報の管理は同じ仕組みが適用できる。OpenFlow を用いてハイパーバイザ内の Software SW に対して、VM と LSP の接続に関する情報をフローテーブルとして書き込むことになる。VLAN を用いない為、4k を超える収容が可能となるメリットがある。

もう一つはキャリアネットワークでは不可欠な OAM（Operation Administration and Maintenance）機能の検討である。ネットワークの大規模化・広域化により重要度が増すネットワーク運用管理を行う上で、OAM 機能が必須である。OAM の機能としては以下の内容が考えられる

・サービス／通信の正常性を確認する仕組み（開通時、運用時）

・「物理故障個所」と「サービス（論理 NW）」の影響を特定

・異常検知、異常個所切り分け、冗長構成切り替えの仕組み、等

キャリアネットワークに OpenFlow/SDN を適用した場合、柔軟に設定変更・制御ができる反面、トラブル発生時の原因解析作業が複雑になっている。一方で、コントローラ上にソフトウェアで機能を実装することで、必要な OAM 機能だけを簡単に実装することが可能である。

図 5 に OpenFlow も利用して簡易な OAM 機能を実装する例を示す。宅内にある CPE(Customer Premises Equipment) あるいはネットワーク内の OFS（OpenFlow Switch）にオペレータから試験パケットをコントローラが生成し、OFC（OpenFlow Controller）からのパケットインによって正常性を確認する。

この仕組みは既存の NW レイヤの OAM 機能として L3 では Ping、L2 では EtherOAM （LB、CC）を利用する。しかし、OpenFlow ならではのフローベースのパケットフォワーディングを行う場合は、これまでのネットワーク技術よりもさらに粒度の細かいフローテーブルに関する正常性をする必要があり、Ping や EtherOAM では不十分である。

そこで、OpenFlow ネットワークに適した OAM 機能を検討し、設計・試験システムのプロトタイプ（VOLT）を開発した（図 6）。このシステムの特徴は、OpenFlow の実ネットワークの構成や経路情報を基にしたフローテーブルを丸ごと複製したテスト環境をシステム上に作成し、実環境と同じ条件下で新たなネットワークを設計・試験することが可能である。また、テスト環境でネットワークの構成や経路情報を基にしたフローテーブルの組み合わせが正しいかチェックする機能や、実データを流して正常性をチェックする機能を提供する。この機能は、設計段階でのトラブルの原因解析だけではなく、運用中のネットワークにおける故障発生時の原因解析にも利用できる。

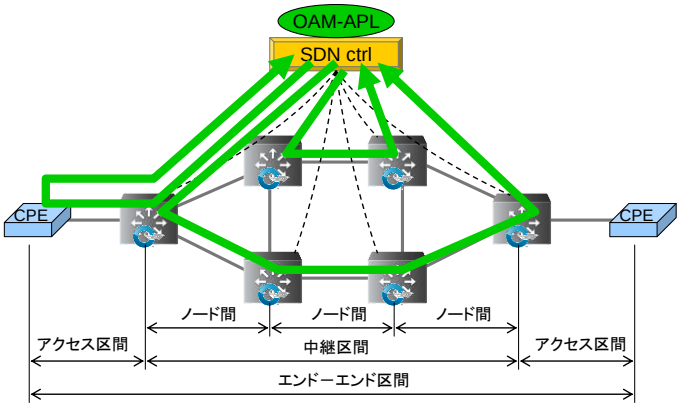

図 5 OAM 機能の実現例

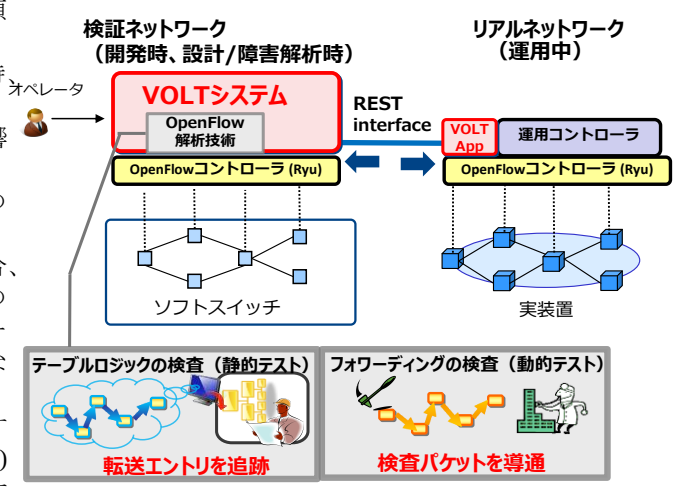

図 6 OpenFlow の汎用解析手法

4. キャリアネットワークへの SDN の適用

SDN はスイッチ、コントローラ、NW アプリケーション等の要素技術を組合せて構成される複合技術である。あるユースケースを実現するために、どの要素技術をどのように組合せばよいかを評価する為の手法が必要である。また、机上での検討だけでなく実証実験を通して期待される効果の評価、運用性、品質、コスト等の観点方や実導入に対する課題を洗い出していく必要がある。さらに SDN の普及のためには SDN 技術をベースとしたネットワークの設計・構築・運用に関するガイドラインが重要と考えている。

SDN はソフトウェアでデータプレーンの振舞いを制御するものであるが、ソフトウェアでネットワーク機能を実現する動きとして ETSI により NVF（Network Functions Virtualization）の検討が活発化している。SDN と NFV を組合せることで、さらに柔軟で効率的なキャリアネットワークの実現が可能と考えられる。

図 7 にキャリアネットワークに SDN と NFV を導入したネットワークの例を示す。

中継網に関しては、トランスポート網とのマルチレイヤの SDN での連携による最適化の他、高価なルータを用いずに L3 網や L2 網をエミュレートする技術、さらに観測ベースのトラヒックエンジニアリング技術として、(1) 遅延最少、(2)コスト最小、(3) 空きリソース最大等の選択ロジックで経路指定が動的できる期待がある。また、切替冗長経路に対しても、平常時には負荷分散的にトラヒックを流し、片系故障時にはトラヒックを片寄せするといった、トラヒック制御が期待される。また、経路切り替えに関しても、故障時に高速に経路を切り替える機能の他に、支障移転等で計画的に経路を切り替える場合、パケットロスなしに切り替えられる機能が期待される。アクセス網に関しては多様なアクセス手段に対しオーバレイ的に仮想ネットワークを構成し、開通の迅速化や中継網とのシームレスな運用の実現が期待される。

NFV に関しては OpenStack 等のクラウド技術と連携し、VM 上でオンデマンドにソフトウェアアプライアンスが起動できる仕組みが必要である。さらに OpenFlow スイッチによりトラヒックを NFV に自在に曲げる（Traffic Steering）ことにより各種ネットワーク機能を継ぎ足していくことが可能になると期待される。

NFV のもう一つの期待としては、宅内の CPE の機能を、仮想的にサーバに集中実装することで、CPE の実装を軽減し低コスト化が期待できる。

これらの機能を実現し、制御する仕組みとして、図 7 においては SDN コントローラの他にクラウドコントローラ、および NFV の仮想アプライアンスのインストール、コンフィグを制御するための NFV コントローラを想定している。さらにそれらのコントローラを連携するためのオーケストレータが必要と考えている。

サービスに関しては今後例えばネットワーク機能単独でサービスを提供するというよりもクラウドリソースや NFV 機能を組合わせてオンデマンドに提供する形態に移行すると考えている。そのためにオーケストレータ上のサービスを制御するためのアプリケーションを配備することで、各リソースを連携させたサービス提供が可能となると考えている。

このような NW/クラウドリソース連携の制御を可能とする基盤も重要な技術と考えられる

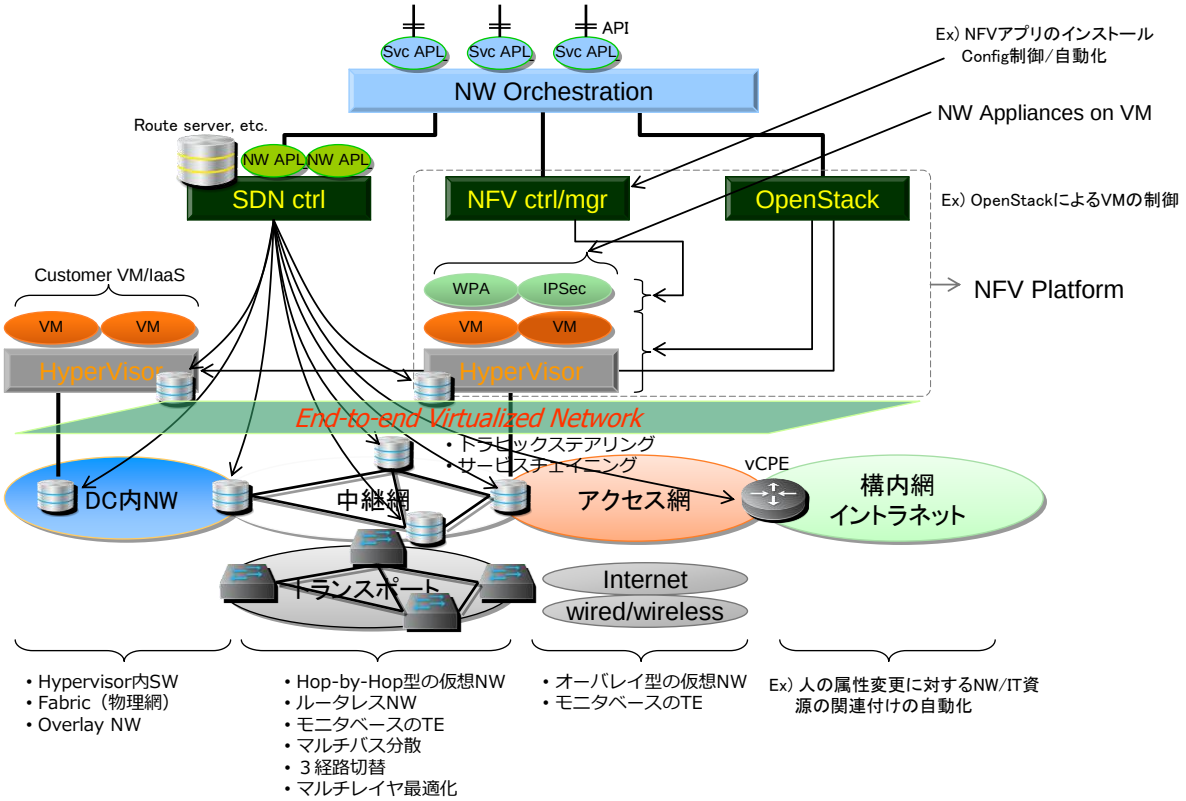

図 7 SDN を導入したキャリアネットワークの例

5. まとめ

OpenFlow/SDN はネットワーク技術を実装する為の手段であり、新しいネットワーク方式を実装し試してみることが比較的容易に実現できる。机上での方式検討は重要であるが、実機での動作確認を通して得られる知見も重要である。キャリアネットワークへの導入に関しては機能面、コスト面からの期待は高いものの、発展途上の技術である為、何が出来て、何が出来ないかを見極めるのが難しいのが現状である。商用設備への導入に関しては、今ある技術・設備の単なる置換えという観点ではなく、SDN ならではの実現機能によるサービス面、運用面へのインパクトが鍵となる。そのような観点から今後も OpenFlow/SDN の検討を推進する必要がある。

参考文献

[1] http://www.openflow.org/
[2] http://www.ntt.com/bhec/
[3] 藤田智成,“本当はこんな風に使いたい SDN：既存ネットワークと Ryu”, 情処学会 ComSys2012.
[4] http://osrg.github.com/ryu/
[5] http://openvswitch.org/
[6] http://www.intel.com/p/ja_JP/embedded/hwsw/technology/packet-processing