ネットワークインフラの最新技術動向

Latest Technology Trend of Network Infrastructure

寺　嶋　浩　信

要　約　ユーザーが利用する端末が多様化しデータトラフィックが増加する中，快適な利用環境を支えるべく，ネットワークインフラは新しい技術を実装して進化してきた．通信事業者を初めとするサービスプロバイダーは昨今のモバイルの高速化やクラウドサービスの高度化，今後の IoT/M2M 等，ユーザーから求められる様々な要求に追随していかなければならない．実際にはネットワークの高速化/大容量化技術に対応しながら，構築や運用に関わる投資コストを低減するために，ネットワークの仮想化をサービスインフラに実装する検討を始めており，次世代基盤に向けて大きな技術変革となっている．これにより，機器の固定構成となっている静的なネットワークは仮想化された機能の組み合わせや集中制御が可能となる動的なネットワークに変わることになる．本稿ではサービスインフラ向けのネットワーク技術の最新動向を中心にエンドユーザーにおける利用技術のトピックスも合わせて紹介する．

Abstract　While user's devices become diversified and data traffic continues to increase, Network infrastructure has been evolving by implementing new technologies to provide comfortable IT environment for users. Service providers including telecommunication carriers have to meet various needs of users, such as recent high-speed mobile communications and advanced cloud services, future services for IoT/M2M and so on. Actually they have already started to consider their next-generation service infrastructure using not only high-speed, high-capacity transport technologies but also new network virtualization technologies to reduce the investment cost and operating expense of service infrastructures. And this trend leads to the drastic technological change. As the result, static network configured by each fixed equipment changes to dynamic network realized by combination of virtual network functions and centralized control. In this article, recent network technology trend of service infrastructure is mainly described and topics of utilization technologies for end users are also described.

1. は　じ　め　に

2020 年の東京オリンピックを 5 年後に控える現在，モバイルやクラウド，そしてこれからの IoT（Internet of Things）や M2M（Machine to Machine）等によるデータトラフィックの増加に応えるために，通信事業者のネットワークは大きな変革の時期を迎えようとしている．一般的にネットワークは利用者からは見えていない部分が多く存在し，企業や個人の PC やスマートフォンを初めとする様々なデバイスの利用の裏側では通信事業者の巨大なネットワークインフラがその利用を支えている．多種多様な技術の組み合わせであるネットワークインフラは技術の進化や変化を取り入れて，時代に即した機能を実現してきた．直近ではネットワークの大容量化やネットワークの仮想化/オープン化に向けて各種標準化団体主導の下，通信事業者や各種メーカー，研究機関が参画しながら実現に向けて検討が続いており，より利便性の高いサービスや多彩なサービスを提供することを目指している．ネットワーク技術は，そ

の普及の流れとして，通信事業者から企業ユーザーに展開されるケースも多く，中長期的にはネットワークの構築や利用面で大きな変革が起きることが予想される．企業としてもデータセンターへのリソース集約やクラウド化の流れは変わらず，そうした環境下で求められる基盤形態や適用技術も出てきている．本稿では通信事業者やデータセンターのネットワークインフラを中心に各技術要素のこれまでの変遷をふまえて，最新の技術動向に関するトピックスを紹介する．2章で通信事業者の伝送基盤を構成する技術の概要と動向について，3章でネットワーク仮想化の技術要素について，4章でデータセンターにおけるネットワーク技術の進化について，そして最後の5章でエンドユーザー環境でのネットワークに関連する利用技術について述べる．尚，IoT/M2M やビッグデータのシステム基盤やモバイルコア制御基盤に関するネットワークの解説は対象外とする．

2. 通信事業者の伝送基盤の変遷と進化

本章では，通信事業者の様々な回線サービスを提供するための伝送基盤である光伝送ネットワーク（Wavelength Division Multiplexing〈WDM〉や Synchronous Optical Network/ Synchronous Digital Hierarchy〈SONET/SDH〉等），パケット伝送ネットワーク，IP 伝送ネットワークについて述べる．これらは図1に示す3階層で構成されている．各レイヤーで実装されている技術は異なり，上位のインターフェースをそのまま下位レイヤーの伝送方式でデータ搬送することをベースに，サービス間での相互接続性が必要とされる部分については仕様に取り入れて実装されている．通信事業者にて提供するサービスの高速化や種類の追加のニーズに合わせて，伝送基盤は運用保守性（信頼面）を維持/改善しながら大容量化の実現に向けて新しい技術の標準化/実装を目指している．現在の通信事業者のネットワークは固定一般ユーザー向け（家庭向け回線等），固定法人向け，および移動体（モバイル）向けの3種類となっているが，個々に配備されている伝送基盤に対しては新しい技術を活用して統合/簡素化するべく，設備投資を抑制しながら更改する動きが高まっている．

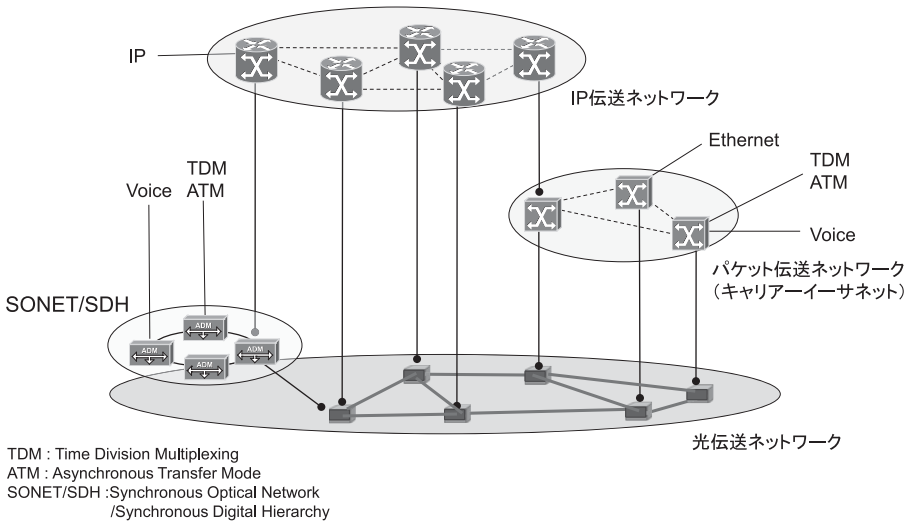

図1　ネットワーク階層イメージ

2.1　光伝送ネットワークの技術動向

全国に敷設されている光ファイバーを利用した光伝送ネットワークは全ての通信システムの基盤となる（モバイル/ワイヤレス通信区間やメタル線の伝送区間を除く）．常に求められる技術要素は大容量/高速伝送であり，伝送品質（実用距離）の維持や集約することでの投資対効果が通信システム導入の判断基準となっている．構成としてはロングホール（長距離伝送），メトロ（エリア内伝送），アクセス（拠点収容）の三つからなり（図 2），ロングホールでは光波長を多重し中継する技術，メトロでは光波長を多重しながら収容機器への伝送の部分切り出し/組み入れする技術，アクセスでは光分岐を利用したピンポン伝送技術が各々大容量/高速化に向けて技術進化を続けている．現在，データセンター間のイーサネット回線接続のニーズは 1Gbps あるいは 10Gbps が主となっているが，近い将来には 100Gbps の伝送が多く求められることになり，対応した光伝送基盤も必須となる．

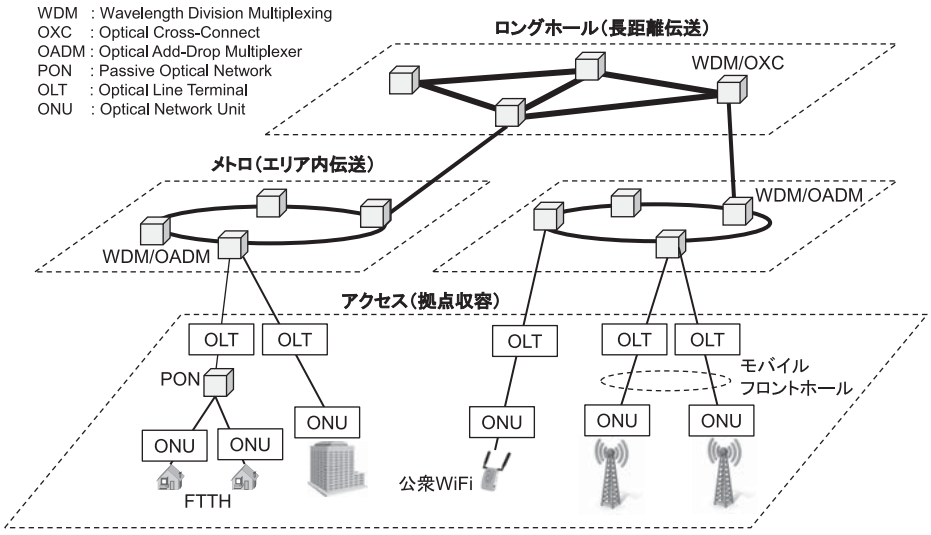

図 2　光伝送ネットワークの接続構成概要

2.1.1　光波長多重による大容量化

ロングホールやメトロでの光伝送ネットワークではイーサネットスイッチやルーター，従来の SONET/SDH 等のサービス用の機器を収容し，WDM という光波長を多重する機器にて拠点間の各収容機器からの伝送信号を異なる光波長（周波数帯）にのせて大容量通信を実現する．特に多く（数十～数百）の光波長を多重できる機器を DWDM（Dense WDM）といい，通信事業者では局舎に配備されている．光伝送では長距離になればなるほど光は減衰し波形劣化や雑音付加により実用に耐える伝送品質を維持することが難しく，中継アンプによる光増幅や WDM にて波長分散を補償する等の対処が必要となる．これまでの 10Gbps の光波長多重ではデータ値を光の明滅（オンオフキーイング）で直接検波して伝達する強度変調方式が採用されてきた．しかしながら，100Gbps の光波長多重においては強度変調では伝送品質の維持が難しく，ITU-T[*1] で規定されている波長間隔（周波数グリッド）にもおさまらないため，新たにデジタルコヒーレント技術が登場している．この技術では光の位相変調方式を利用して独自の受

信系の仕組みにて検波し，更に直行する二つの偏波面（水平偏波，垂直偏波）を多重利用（図3）して，40Gbps ～ 100Gbps のデータ伝送を実現している．使用されている変調方式はQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）や DP-QPSK（Dual Polarization - QPSK）方式で光スペクトルの利用効率や光波長分散耐性面が向上されており，現在通信事業者での商用展開が進んでいる．更に光伝送機器メーカー各社は既に次のステップである 400Gbps の光波長多重の開発を進めており，実用検証フェーズに入っている．

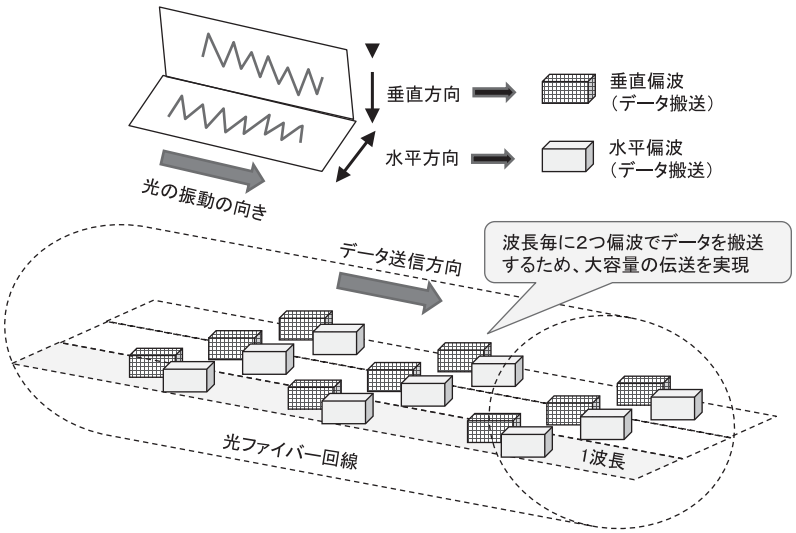

図3　偏波多重の概説

2. 1. 2　光伝送効率向上の動き

光伝送の大容量化が進む一方で，光波長多重技術では光信号の波長間隔（周波数グリッド）は等間隔で規定されている（ITU-T G.694.1）ため，実際には空き帯域が存在している実態がある．光スペクトラム資源を有効に利用するために容量や距離が異なる光信号に対して帯域変調方式を利用して柔軟なグリッド（12.5 GHz の任意の倍数）を割り付けできるエラスティック光パスネットワーク技術に期待が集まっている（図 4）．WDM には多重化された信号の中から任意の光波長を切り出したり，逆に組み入れたりできる OADM（Optical Add-Drop Multiplexer）機能や多重化された光波長の切り出し/組み換えを行う光クロスコネクト機能が実装されていて，現在商用ネットワークで使用されているが，今後エラスティック光パスネットワーク技術に対応することでカラーレス（波長は任意)/ディレクションレス（方路は任意)/コンテンションレス（衝突が発生しない）を実現する柔軟な光伝送ネットワークが提供可能となる．

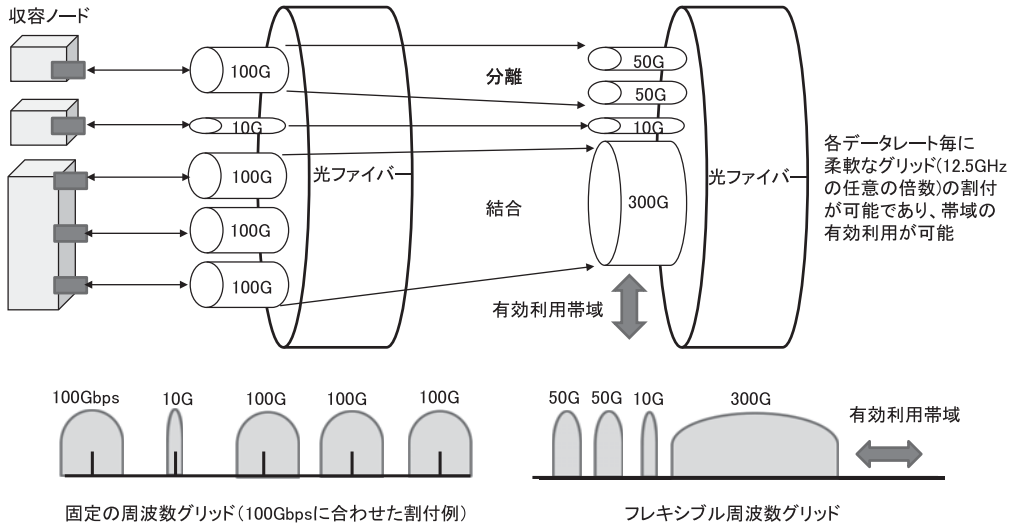

図4　エラスティック光パスネットワークにおけるフレキシブル周波数グリッド

2. 1. 3　光アクセスの効率的な収容，高速化

通信事業者の局舎とユーザー拠点を接続するアクセス構成は，拠点間を直接光ファイバーで接続するシングルスター方式と，光分岐による PON（Passive Optical Network）システムを利用したツリー構造をとるパッシブダブルスター方式の二つからなる．前者は企業ユーザー等でイーサネット回線を直収するケースで利用されており，メディアコンバーターにてインターフェースを変換して接続している．後者は通信事業者の一般ユーザー向けの固定アクセスサービスで多用されており，多数のユーザー拠点を効率よく収容するのに向いている．PON システムは 1 対多の通信となるため，上り（Optical Network Unit〈ONU〉→ Optical Line Terminal〈OLT〉）のデータ衝突を防ぐために OLT から ONU に対する送出のタイミングを制御する機能が実装されており，ONU-OLT 間の距離は個々異なるため予め伝送距離を測定してタイミングを制御している．また，帯域を有効利用するために OLT が ONU から要求された帯域を動的に割り当てる機能も実装されている．現在は 1 ギガビットベースの PON システムが主流になっているが，IEEE[*2] や ITU-T で 10 ギガビットベースの PON システムの標準化は既に完了しており，更には WDM 機能を取り入れた 40 ギガビットクラスの PON システム（Next Generation PON2〈NG-PON2〉）の標準化が ITU-T で進められている．大容量化することで一般ユーザーだけでなく，企業ユーザーやモバイルユーザーの収容も想定されている．

2. 1. 4　4G LTE（LTE-Advanced）に伴うモバイルフロントホールの進化

2015 年から提供開始されている 4G LTE（LTE-Advanced）サービスのモバイルフロントホール（基地局－収容局間）基盤では，これまでの基地局側に設備を集約する D-RAN（Distributed - Radio Area Network）という形態とは異なり，C-RAN（Centralized - RAN）というネットワーク構成を利用して基地局設備を無線制御部（Base Band Unit〈BBU〉）と無線送受信部（Remote Radio Head〈RRH〉）に分離している（図 5）．BBU を設置する収容局と RRH を設置する基地局間は光ファイバーを用いた CPRI（Common Public Radio Interface）と呼ばれるインターフェースにて接続している．4G LTE ではマルチキャリアーをアグリゲー

ションして高速通信を実現しているが，各キャリアー向けの RRH 毎に必要となる CPRI を多重して 1 本の光ファイバーに集約でき，且つ CPRI の信号を圧縮/伸長する技術を利用して課題である使用帯域を抑制することが可能となっている．実際には PON システムや WDM システムに機能として組み込まれている．昨今のスマートフォンのトラフィック急増に対して，通信事業者各社は基地局のセル（電波の届く範囲）を小さくして多数配備することで許容力を強化している．基地局を多く配備することで干渉エリアは増えるが，C-RAN にて複数の基地局を集中制御して CoMP（Coordinated Multi-Point）技術にて基地局間の相互干渉を減らすことが可能であり，収容局での BBU の効果的な利用や消費電力の抑制も実現できている．

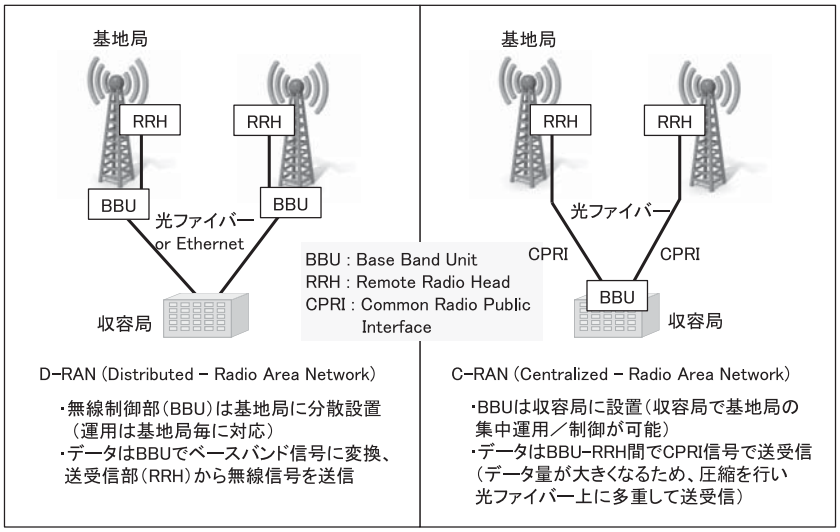

図 5　モバイルフロントホール基盤の構成比較

2. 2　パケット伝送ネットワークによる基盤変革

従来の伝送ネットワークは SONET/SDH といわれるリングネットワークで主として構築されていた．SONET/SDH は様々な回線交換設備やパケット交換設備をポイント－ポイントでトランスペアレントに収容でき，且つ通信事業者のネットワークに必須である保守運用性や障害時の高速切換（50 ミリ秒未満）を実現できるプロテクション機能を備えている．IP データ通信が急速に増加し，伝送設備の老朽化が課題となる中でイーサネット技術を利用した効率の良いパケット伝送方式が登場した．一般的にはキャリアーイーサネット技術と呼ばれており，MPLS-TP（Multi-Protocol Label Switching - Transport Profile）が代表的な通信方式となっている．企業で利用しているイーサネットとは異なり，OAM（Operations, Administration, Maintenance）機能やプロテクション機能がプロトコル実装されていて，且つスードワイヤ技術により収容する機器間にトランスペアレントに接続する回線をエミュレートすることが可能となる．SONET/SDH の機器に比べて安価なスイッチで構成できるため，通信事業者の投資低減に大きなメリットもある．

2. 2. 1　MPLS-TP のネットワークアーキテクチャー

MPLS-TP は 2005 年から検討が開始され，7 年間に渡る国際標準化紛争（ITU-T 方式 vs

IETF[*3] 方式，各国主張の対立）を経て 2012 年に標準化が確立された通信方式である．MPLS-TP は先に IETF にて標準化されていた IP/MPLS という通信方式のサブセットの位置づけとなるが，コアネットワークにおいてはレイヤー 3 の IP-VPN である IP/MPLS 網との NNI（Network Network Interface）網間接続によりエンド－エンドで信頼性や保守運用性の高い伝送ネットワークを実現している（Label Switched Path〈LSP〉と呼ばれるパスによる伝送路を明示的に指定する）．ネットワークアーキテクチャーとしては，Data-Plane，Management-Plane，および Control-Plane の 3 種類のプレーンから構成される（図 6）．Data-Plane はユーザーデータの伝送を行うチャネルであり，OAM やプロテクション機能が実装されている．Management-Plane は管理用チャネルで直接パス・コネクションの設定ができる．Control-Plane は制御用信号の伝送を行うチャネルであり，Data-Plane とは分離されていて，ITU-T G.8080 ASON（Automatically Switched Optical Network）を利用して，Control-Plane での障害発生時に Data Plane に影響を与えず，信頼性の高いサービスを提供することができる．

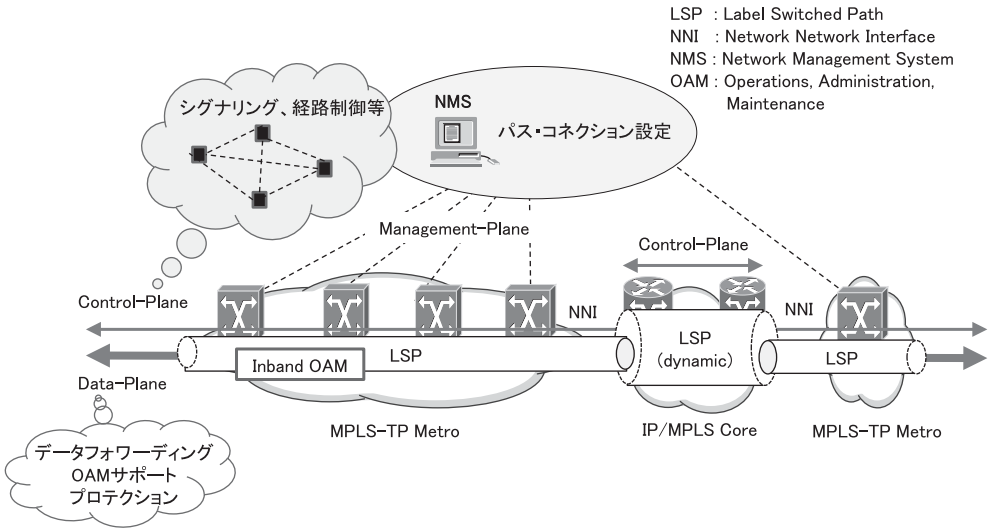

図 6　MPLS-TP アーキテクチャーの概要

2. 2. 2　イーサネットによる高品質通信の実現

元々イーサネット OAM は通信事業者がイーサネット網を保守運用する目的で実装され，具体的には SNMP でリモートの機器が管理できなくなった時に問題の原因が IP レイヤーにあるかイーサネットにあるかを切り分けるために利用されてきた．従来の標準規格としては IEEE802.1ag や ITU-T Y.1731 があげられるが，SONET/SDH と同等の信頼性を維持するために障害管理や性能管理，診断，OAM 階層化（機器間のコネクションを階層化して階層毎に障害管理や性能管理を実施）が機能実装の焦点となっていた．MPLS-TP ではクライアントレイヤー（収容する SONET/SDH やイーサネット，ATM），MPLS-TP レイヤー（スードワイヤや LSP），ネットワーク上位接続レイヤー（イーサネットや SONET/SDH）に対して各々 OAM 機能が提供されている．障害管理と性能管理の二つを初め，保守運用性は充足されており，障害管理では疎通性の確認，障害検知時の警報通知/抑制，クライアント異常時のリモートへの伝達，等の機能が規定され，性能管理ではコネクションにおけるパケットロス監視測定

や遅延測定に関する機能が規定されている．MPLS-TP OAM は ITU-T G.8113.1/G.8113.2 の 2 方式を選択できる形にて標準化されている．

2. 2. 3　統合基盤としての発展

SONET/SDH ネットワークはかつて（3G までの移動通信システム）のモバイルバックホールの伝送基盤としても利用されていた．LTE 以降は全ての情報は IP 化されたにもかかわらず，バックホール基盤にはそれまで同様の厳しい品質基準が求められており，トラフィックの種類毎の QoS（Quality of Service）や遅延/ジッター/パケットロス，基地局間の同期にて一定の基準のクリアが必須となる．パケット伝送ネットワークは基準を満たした上でモバイル技術の進化による伝送基盤の高速化にも追随できる最適な方式といえる．また，パケット伝送ネットワーク機器にはイーサネットサービス機能も実装されており，ネットワークトポロジーとしてポイント－ポイント接続だけでなく，ポイント－マルチポイント接続やマルチポイント－マルチポイント（LAN）接続の構成が可能である．現在企業にて多用されている広域イーサネットサービス（レイヤー 2VPN）の伝送基盤としても利用されている．ユニアデックス株式会社（以降，ユニアデックス）もパケット伝送ネットワークの構築や運用に携わっている．パケット伝送ネットワークは，残存するレガシーな設備を収容換え（IP 化）しながら，将来に向けてのイーサネット高速化（100Gbps ～ 400Gbps）に対応しつつ，今後必要となるサービス（大容量ビデオオンデマンドや IoT/M2M 関連のアプリケーション等）も含めて統合伝送基盤の要として進化していくと考えられている（図 7）．

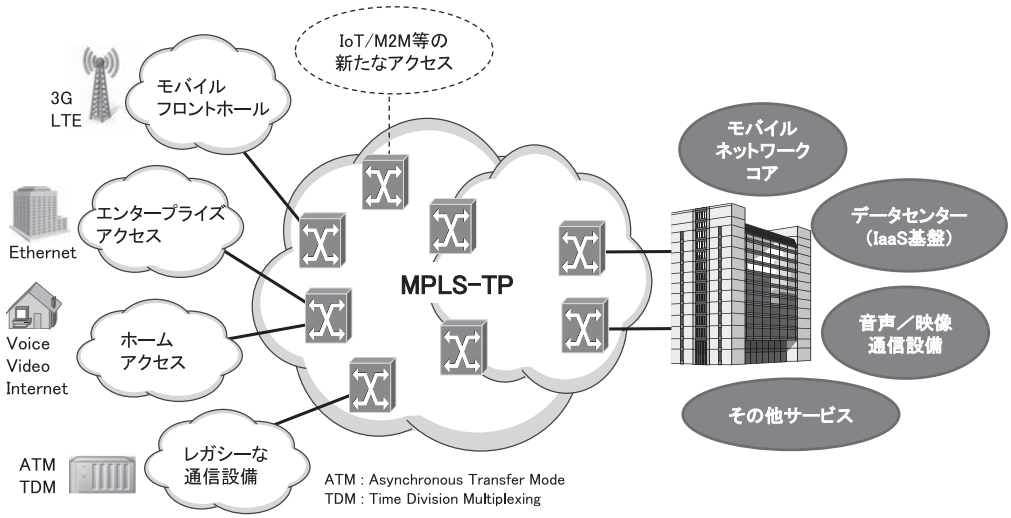

図 7　統合基盤の構成概要イメージ

3.　仮想化技術によるネットワークインフラ変革の動向

通信事業者のインフラはこれまで各機能要素向けの専用機器を組み合わせて構成されており，標準化技術の進展やサービスの多様化に合わせて専用機器を拡充/更改して技術に追従する形態をとっていた．設備に対する投資は電力消費や設置スペースを含めて膨大な規模になっており，費用削減が大命題となっている．その打開策として NFV（Network Functions Vir-

tualization）は 2012 年 12 月に設立した ETSI[*4] の NFV ISG（Industry Specification Group）にて次世代基盤の核として標準化が進められており，各種ネットワーク機能が汎用の仮想化基盤上にソフトウエアとして実装される形態となる．また，これまでのネットワークの繁雑な構成作成/変更や制御をソフトウエアベースで自在にできるようにしたいという要望から SDN（Software-Defined Network）技術が誕生している．SDN は特定の標準の技術を指す言葉ではなく，ネットワークを抽象化してソフトウエアにて制御できる環境を実現する技術全体（製品を含めて）を示す概念である．通信事業者やデータセンター事業者，クラウド事業者等で SDN の開発/適用を進めており，今後も適用範囲が拡がると考えられている．SDN も NFV も特定メーカーに縛られることなく基盤のオープン化に向けて様々なサプライヤーが参加できる形態（Open Source Software〈OSS〉提供，Application Interface〈API〉開示，相互接続インターフェースの標準化等）を目指している．本章では，SDN と NFV について説明する．

3. 1　SDN の技術動向

ネットワークを運用する中でもっとも煩雑なのは機器の増設や構成変更に合わせた設定の追加や変更であり，複数の機器に影響する場合も多く運用者の負荷が高かった．SDN を利用することで一元的な制御で自動化される部分も多く運用効率を大幅に向上できる．現在は通信事業者やデータセンター事業者のみならず企業ユーザーでも適用が始まっている．SDN の構成要素は制御するコントローラーと制御対象であるスイッチ等の製品（物理/仮想両方）の二つが中心となるが，SDN 製品を提供するメーカー各社のアプローチは様々である．OpenFlow プロトコルを使用したコントローラー集中制御モデルとメーカー独自の API によるコントローラー制御モデルが主流であり，リアルタイムなトラフィックフロー制御を可能としている．

3. 1. 1　SDN の標準化

OpenFlow は SDN を支える重要な通信プロトコルであり，2011 年に設立した標準化団体である ONF（Open Networking Foundation）にて標準化が進められている．現在は 2012 年 4 月にリリースされた OpenFlow1.3 ベースのソフトウエアが広く利用されている．OpenFlow はコントローラーとスイッチ，その間の通信プロトコルの三つの要素から構成され，コントローラーがスイッチに対して設定するフローテーブルに従ってデータ転送処理が行われる仕組みになっている．OpenFlow プロトコルでは，経路情報で構成されるデータ転送処理ルールや経路情報算出のためのデータ収集手順，フローテーブルに関する設定ルール/定義方法/設定情報をやり取りする通信手順，スイッチから収集するデータ情報等が定義されている．実際には OpenFlow プロトコルにはコントローラーの機能の詳細やネットワークの論理構成管理，上位システムとの接続仕様等の定義はなく，アプリケーションをどこまで実装するかはメーカー各社に委ねられているため，結果的には SDN のコントローラーは各社各様の機能実装状況になっている．ONF での OpenFlow の標準化に関しては，1.4，1.5 と新しいリリースが提供され機能拡張が続いているが，メーカー各社はリリース済みの基本的な機能を実装しつつ機能が不足する部分は独自に開発を加えるアプローチをとっている．

3. 1. 2　SDN の適用箇所

SDN は概念として活用できる適用箇所は多いが（図 8），求められる要件や機能は適用箇所

毎に異なる．大規模な仮想基盤の運用効率化や拡張性が求められるデータセンターでは運用コスト面からもニーズが明確であり，SDN の適用は先行している（4 章にて後述）．企業ネットワークにおいても運用の簡素化のメリットはあるものの，構築/運用手法が変わるためネットワーク更改に合わせて今後適用が検討されると考えられる．その際にユーザーフレンドリーな運用手法（管理用の GUI やツール等）を如何に提供できるかが鍵となる．また，2013 年に伝送ネットワークの SDN 化の研究開発を目的に設立された O3 プロジェクト（NTT，NTT コミュニケーションズ，NEC，富士通，日立の 5 社が中心）では光伝送，パケット伝送，無線通信システム，ソフトウエア通信機器の SDN 化の研究を進めている．光伝送とパケット伝送の SDN 化は各々のネットワーク資源を仮想化して定義することができ，管理システムを統合しマルチレイヤーを一元的に制御する仕組みとなっている．メリットの一例としてはエンド－エンドの通信で中継ルーター（MPLS ノード）を経由することなく，下位の光伝送レイヤーでカットスルー伝送することが可能となるため，低遅延通信や中継リソースの削減を実現できる．更に上位の IP ネットワークサービスに対しても要件に見合った MPLS-TP の最適なパスを動的に割り当てることが可能となる．現状はメーカー各社においても同様の研究が進められており，将来的には様々なサービス向けに各々独立した仮想化ネットワークリソース（スライスと呼ばれている）を提供できるようになることが期待されている．

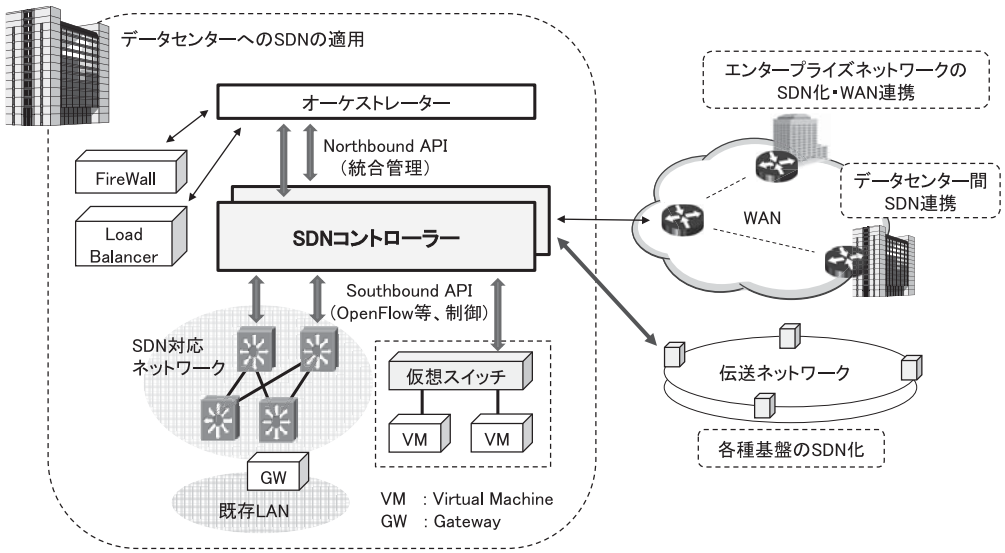

図 8　SDN の構成要素，適用箇所

3. 1. 3　OpenDaylight の取り組み

OpenDaylight は 2013 年 4 月に Linux ファウンデーションにてプロジェクトとして発足した．SDN を実現するコントローラーを初めとする多数のソフトウエアを OSS として提供し，SDN における標準的なフレームワークを提供することで誰でも SDN を利用したソリューションを容易に開発することができる標準プラットフォームの実現を目指している．OpenDaylight プラットフォームではネットワーク製品を操作するサービス抽象化レイヤー（Service Abstraction Layer〈SAL〉）が定義されており，上位のネットワークアプリケーションやオーケスト

レーション等との API 機能も実装されている．開発言語として Java が使用されており，SDN コントローラーの中核部分は拡張性の高いモジュール構造になっている．このプロジェクトに参加しているメーカー各社は開発担当分野が決まっており，技術運営委員会にて設計・開発レビュー，リリース時期，品質管理等が統制されている．2014 年 10 月に Helium プラットフォームがリリースされ，26 のプロジェクトが 256 のコントリビューターによって遂行された．尚，2015 年 8 月に最新のプラットフォームである Lithium がリリースされている（図 9）．

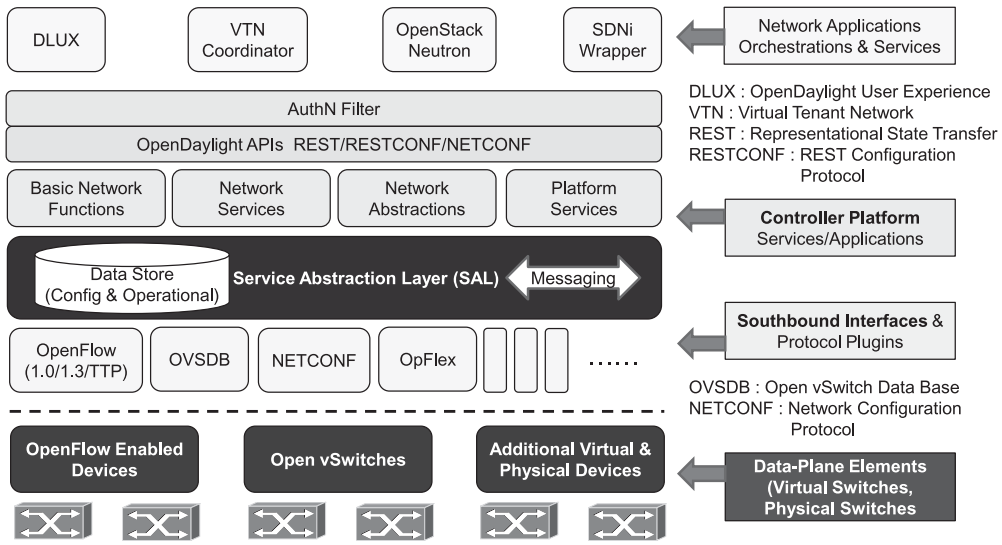

図 9　OpenDaylight Lithium プラットフォーム概要

3. 2　ネットワーク機能の仮想化の動向

NFV は一言で表現するとネットワーク機器のハードウエアとソフトウエアを分離して，汎用の仮想基盤上にネットワーク機能をソフトウエア実装するという概念であり，ETSI NFV ISG ではアーキテクチャー（仮想基盤のフレームワーク）やマネジメント/オーケストレーションのフレームワーク，SW 実装の要求条件，信頼性/可用性の要求条件，性能/可搬性やセキュリティー/マルチテナントでのリソース分離等に関して標準化の議論が進められている．他にも 2014 年 10 月に Linux ファウンデーションが通信業界関連各社と協調して OPNFV（Open Platform for NFV）というプロジェクトを設立し，可能な限りオープンソースコンポーネント（Linux，OpenStack，OpenDaylight，Open vSwitch 等）を NFV のアーキテクチャーで利用できるように ETSI と調整しながら，オープンな NFV リファレンスプラットフォームの確立を目指している．NFV ISG は既に 270 社を超える企業が参画するプロジェクトに拡大しており，2015 年 1 月にはフェーズ 1 の活動（NFV の要求条件とアーキテクチャーの検討）を完了してインフラストラクチャー概要等の公式文書が Web サイトに開示されている．現在はフェーズ 2 にて実際の設備面やサービス面でのインターワークの実装仕様の検討が始まっている．

3. 2. 1　NFV 適用のメリット

実際に通信事業者が NFV を適用することによるメリットは四つある（図 10）．一つ目は設

備コストの削減であり，異なるサービス毎に設備を用意する形ではなく設備を共用でき，且つサービス需要に応じた柔軟なスケールイン/スケールアウトが可能となる．二つ目は運用コストの削減であり，サービス設備はセンターサイトでのソフトウエア制御が主となるためオンサイト対応が減り，設定の追加変更も複雑な接続構成を意識することなく自動化できる部分が多くなる．三つ目は新しいサービスを追加する際に既存の同じフレームワークの中にネットワーク機能を追加することができるので，新たな設備投資が不要となり設備の運用や相互接続性の調整に関しても軽減される．更には新サービスのリリースの早期化や試行的なスモールスタートを容易に実現できるようになる．四つ目はサービス基盤の信頼性の向上である．仮想化によりネットワーク機能リソースをプールさせることが可能となり，災害時やトラフィック混雑時に基盤全体のリソースから局所的に需要に応じたリソースを割り当て通信の安定化を図ることが可能となる．移動体（モバイル）基盤を初め，次世代基盤に求められる高度な実装機能となる．

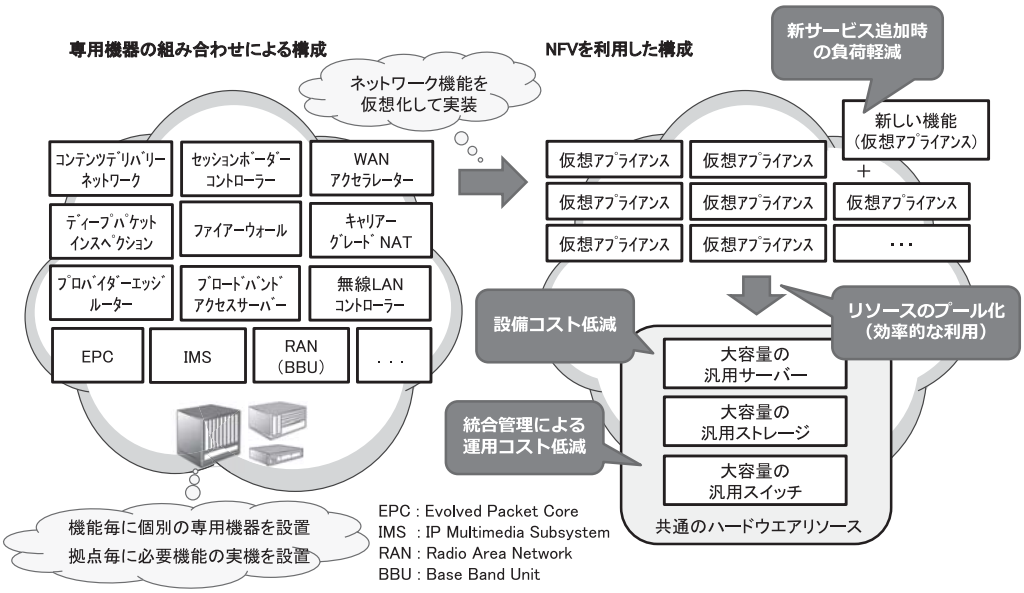

図 10　専用機器から NFV への変革イメージ

3. 2. 2　NFV アーキテクチャー仕様について

NFV ISG が定義している NFV のアーキテクチャーフレームワークは大きく三つのコンポーネントからなる（図 11）．一つ目は NFVI（NFV Infrastructure）でハードウエアリソースの基盤をベースにコンピューティングやストレージ，ネットワークの各要素をハイパーバイザーで仮想化されたリソースから構成される．二つ目のコンポーネントは NFVI 上で動作する仮想化されたネットワーク機能そのものである VNF（Virtual Network Function）で機能要素毎に VNF とその要素の管理機能を定義している．VNF とリソース基盤は独立していて VNF を複数のハードウエアリソースで実装したり，複数の VNF をひとつのハードウエアリソース上に実装したりすることは柔軟に対応できる．三つ目のコンポーネントが NFV Management and Orchestration（NFV-MANO）で NFV アーキテクチャーの要であり，NFVI や VNF 各々

を管理し相互連携に関して全体制御する仕組みとなっており，通信事業者の基幹システムであるOSS（Operation Support System）やBSS（Business Support System）とのインターフェースも用意されている．従来通信システム基盤は企業の業務システム基盤とは異なり様々なネットワーク機能の組み合わせでサービスを提供しているため，一連の機能の動作を連携して制御できることが必須の要件となる．NFV ISGではこの複数のVNFから成るエンド－エンドのネットワークサービスをVNFフォワーディンググラフとして例示している．

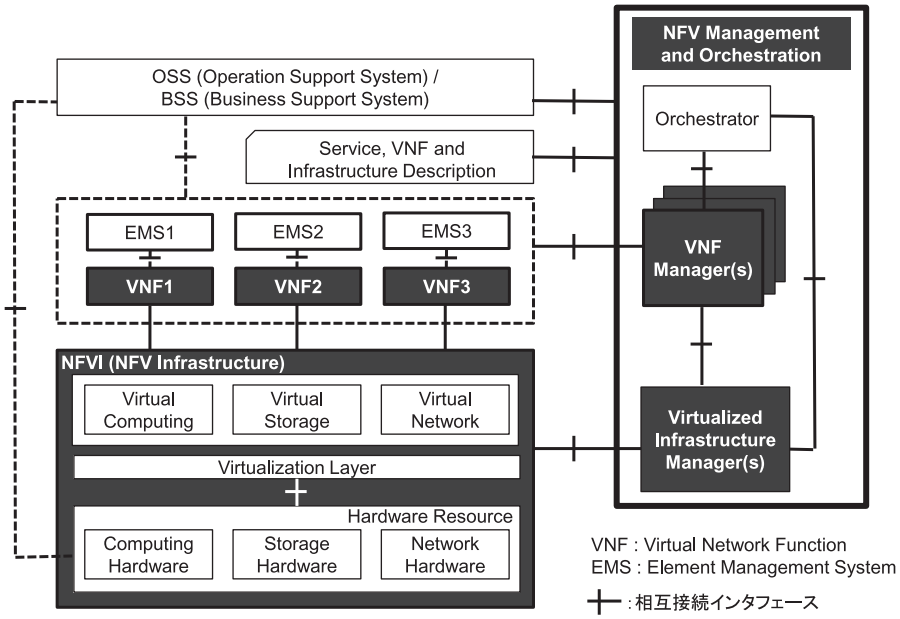

図11　NFVアーキテクチャーフレームワーク

3. 2. 3　NFVが利用される範囲とその適用例

実際のVNFには非常に幅広い範囲の機能が含まれる．基本的なルータースイッチ関連ではルーター機能，ブロードバンドアクセスサーバー，キャリアーグレードNAT（Network Address Translation）等，モバイルネットワーク関連ではコアの基盤であるEPC（Evolved Packet Core）の要素，IMS（IP Multimedia Subsystem）の要素，基地局の制御機能等，セキュリティー関連ではファイアーウォールや侵入検知システム等，アプリケーション最適化関連ではコンテンツデリバリーネットワーク，ロードバランサー等，他にも宅内配備装置やトラフィック分析，無線LANコントローラー，AAA（Authentication, Authorization, Accounting）サーバー等への適用例がETSIにて公開されている．企業ユーザー向けのユースケースとして，WANサービスでの付加価値機能提供が考えられる．従来企業側に設置していたルーターやVPN装置，ファイアーウォール，ロードバランサー，無線LANコントローラー等の機器を仮想化して通信事業者のネットワーク内で提供することができる．企業側には回線接続機器と端末を収容するスイッチと無線アクセスポイントのみが残ることになり，企業のネットワーク運用管理は大幅に簡素化される．また，個人向けユースケースとして，宅内配備されていたホームゲートウェー（Home Gateway〈HGW〉）を仮想化して通信事業者ネットワーク側に実装する仮想ホームゲートウェー（Virtual HGW〈vHGW〉）も検討されている（図12）．

宅内のレイヤー2ネットワークを延伸することで通信事業者ネットワークに用意された仮想化機能（ルーター，DHCP，NAT，ファイアーウォール等）を利用する形となる．宅内機器に影響なくvHGWへのアップグレードやサービス追加が可能となるため，通信事業者のコスト抑制とユーザーの利便性向上を両立させることができる．現在，モバイルコアネットワークの仮想化であるvEPC（Virtual EPC）の実証実験も通信事業者各社で進められており，NFVの基盤実装に向けて着実に進展している状況である．

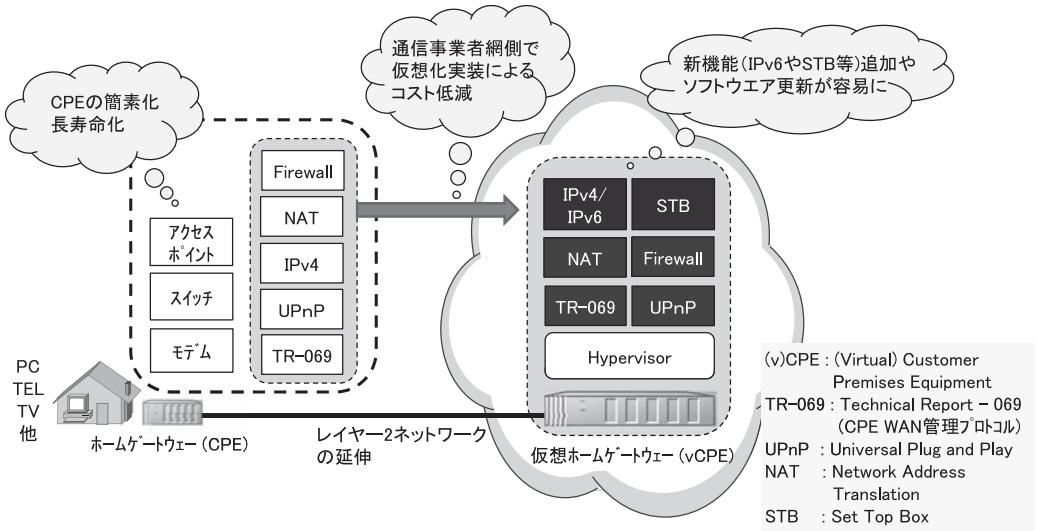

図12　仮想ホームゲートウェーの概念

4. データセンターネットワークの進化

データセンターのネットワークといえば，これまではコア，アグリゲーション，アクセスの3階層構成が定石であり，イーサネットの高速化に合わせて高性能化されたスイッチの組み合わせにより，普及している通信プロトコルを使用し運用している形態が主であった．データセンターはハウジング，ホスティング，およびクラウドサービス（SaaS，PaaS，IaaS）を利用者に提供しているが，特に昨今のクラウドコンピューティングの普及に伴い突発的なトラフィックの高負荷や日々変動する利用者の増減に対して，サービス向けのコンピューティングリソースを割り当てる柔軟性と障害時にサービスに影響を与えずに速やかに対処する信頼性が重要な要件となっている．実際にはデータセンターネットワークはスイッチだけではなく，ファイアーウォール，ロードバランサー，帯域制御装置等の機器を含めた多段の複雑な構成になっているためトラブルシューティングには苦慮しているのが実態であり，ネットワークの追加や設定変更に対しても物理的な許容，複数の個々の機器に対する設定の適用等，プロビジョニング面においても運用負荷が高い．サーバーの仮想化が進み，仮想環境の運用が柔軟に対応できている中でネットワークも連動して簡単に運用できる仕組みが求められている（障害面では仮想マシンの物理サーバー間のライブマイグレーションへの対応）．また，利用者毎にテナント分けする場合にリソースを共有化して効率よく利用できるマルチテナント機能や設備の拡大縮小を柔軟に対応できるスケーリング機能，トラフィックの可視化/分析等が必要となる．本章では，こうした課題を解決するためのイーサネットファブリックやネットワークオーバー

レイ，ネットワークやストレージの仮想化（SDN，SDS），オーケストレーションの技術について述べる．

4.1　イーサネットファブリックの普及

データセンター内のトラフィック増加やネットワークの複雑化に対してネットワーク運用をシンプルにするイーサネットファブリックが導入されることが多くなっており，具体的にはレイヤー2のマルチパス技術が実装されている．標準化技術としてはIETFのTRILL（Transparent Interconnection of Lots of Links），IEEEのSPB（Shortest Path Bridging）の二つがあり，各メーカーの製品の多くはいずれかをベースに機能実装されている．これまではレイヤー2での冗長化やレイヤー2ドメインの拡張にはSTP（Spanning Tree Protocol）を使用していたが，上位スイッチへのアップリンクは1本しか常時使用できず，冗長化の設計が複雑であり障害復旧も対応が難しく，ツリー構造のため拡張性に乏しいという課題を抱えていた．マルチパス技術を利用してスイッチ間をフルメッシュ接続することで複数のアップリンクの常時使用が可能となる．更に経路選択にリンクステートプロトコルであるIS-IS（Intermediate System to Intermediate System）を応用して経路制御を行うため，冗長化も必然的に実現され個々への設定なし（ゼロコンフィグ）で柔軟なデータセンターネットワークの構築が可能となる．収容サーバーや機器の追加に際して水平的にスイッチの拡張が可能であり設定の一元化も実現できるため導入の効果は大きい．

4.2　ネットワークオーバーレイ技術の活用

データセンター内のサーバー仮想化が普及する中で仮想マシンの通信はサーバー内の仮想スイッチや物理スイッチに設定されたVLANを利用してレイヤー2ネットワークに接続される．昨今企業のシステムがデータセンターに移行されリソースが集中してくることでデータセンターの大規模化が進み，利用可能なVLAN数の上限（約4000）がネットワーク構成上の制約になっていた．この課題を解決するために登場したのがネットワークのオーバーレイ技術であり，その代表的なものにVXLAN（Virtual eXtensible LAN）やNVGRE（Network Virtualization using Generic Routing Encapsulation）があげられるが，VXLANはIETFにて2014年8月にRFC7348として標準化されており，現在注目されているSDNにおいても活用されている．VXLANではハイパーバイザーに含まれる仮想スイッチ間でVTEP（VXLAN Tunnel Endpoint）というトンネルを確立し，仮想マシン間のレイヤー2ネットワークを実現できる．実際にレイヤー2のフレームに対してVXLANヘッダーを含む外部ヘッダーでカプセル化することで中継するルーターではUDP/IPパケットと認識してそのまま転送されるためレイヤー3ネットワーク超えが可能となり，仮想マシンのモビリティーを実現できる．VXLANのヘッダーには24ビットのVNI（VXLAN Network Identifier）というIDが含まれており，1600万以上のレイヤー2の論理ネットワークを構成することができる．尚，従来のVXLANではネイバーVTEPやサーバーノードの検出のためにブロードキャストを使用することを前提としていたが，コントロールプレーンによる管理制御を実装することでブロードキャストなしでVTEP情報やホストルート情報を取得することが可能となっている．

4. 3　ネットワーク仮想化（SDN）のアプローチ

SDN には二つのネットワーク仮想化方式があり，一つはネットワークを構成する全てのノードにフロールールを設定して詳細な制御を実施する「ホップバイホップ方式」，もう一つはエッジノードのみを制御し，エッジ間は前節の VXLAN 等のトンネリングを利用して通信を行う「オーバーレイ方式」である（図 13）．実際のノードはベアメタル[*5] サーバー上の仮想スイッチ，物理スイッチどちらでも構成可能であるが，前者はネットワークインフラ全体を更改するアプローチとなり，物理スイッチはスパインスイッチとリーフスイッチをメッシュ接続することでファブリックを形成する．後者は物理スイッチを持たずに仮想スイッチをベースにファブリックを形成し，仮想スイッチ間の経路制御は既存のアンダーレイネットワークの IP ルーティングに委ねる形となる．両方式共に経路情報は SDN コントローラーからノードに対して OpenFlow ないしはメーカー独自プロトコルを利用して（Southbound API）書き込む形となるが，書き込み完了後は SDN コントローラーに障害が発生してもデータプレーンには影響を与えないため，通信はそのまま継続される．各方式の特徴を活かすためにハイブリッド構成にすることも可能である．メーカーによっては独自の Southbound API を公開して自社スイッチだけでなく API 対応した他社のファイアーウォールやロードバランサー等を同様のポリシー設定の中に組み込む仕組みにしているケースもある．ファブリックはスイッチの増設にて容易にスケールアウトできるが，メーカーによっては SDN コントローラーを複数サイトに分散設置して，コントローラー間を MP-BGP（Multi-Protocol - BGP）を利用してフェデレーションすることが可能なものもある．SDN を適用することでマルチテナント機能により同一 VLAN や IP アドレス体系が併存でき，設定の簡素化/自動化により迅速なプロビジョニングが実現され，インフラを可視化することでトラフィック分析が容易となる等，データセンター（特にクラウドサービス）向けに最適なネットワーク基盤の提供を実現できる．また，利用される物理スイッチについてはネットワークのオープン化指向の中でベアメタルスイッチ（ホワイトボックススイッチ）が登場し，特定の OS に縛られることなく SDN コントローラーと連携する安価な機器が増えつつあり，Google や Amazon，Microsoft 等の大規模なデータセンターでの利用が始まっている．

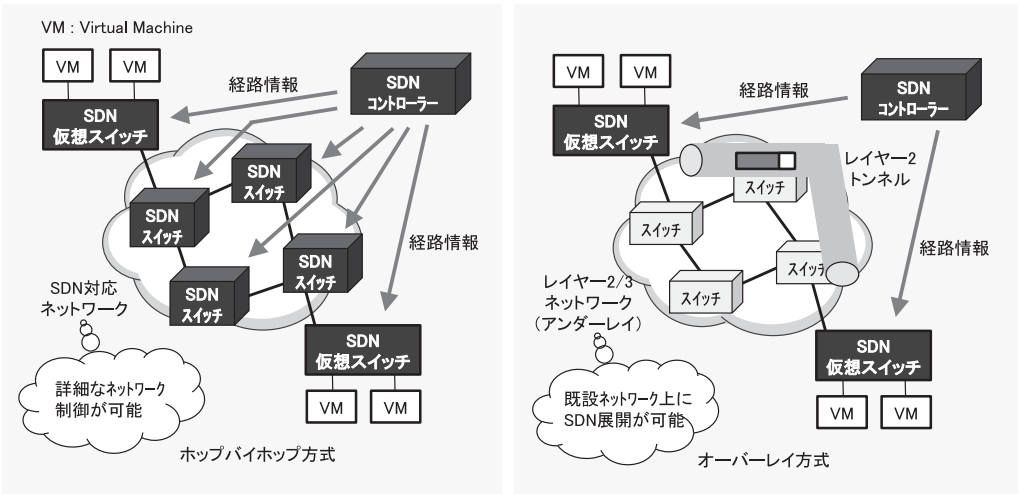

図 13　SDN の方式，実装のアプローチ

4. 4　ストレージネットワーキングの動向

データセンターのネットワークインフラがイーサネットファブリックになり，10Gbps イーサネット適用が一般的となる中で，ストレージ（NAS，SAN）もデータセンターのインフラとして協調して進化してきている．NAS や IP-SAN（iSCSI 等）についてはイーサネット（IP）上で構成されるため，LAN の速度向上は直接スループット向上につながる．従来の FC（Fiber Channel）-SAN についてはイーサネット（10Gbps ～）上で稼働させるための FCoE（FC over Ethernet）という技術が ANSI[*6] の T11 委員会 FC-BB-5（Fiber Channel-Backbone-5）ワーキンググループにて標準化されている．FCoE ではイーサネット上で通信の信頼性を保持するために IEEE の標準である DCB（Data Center Bridging）をスイッチに実装することが前提となる．DCB には輻輳によるフレームロス防止や SAN トラフィック向けの最低帯域保証を実現する機能が実装されており，サーバーの CNA（Converged Network Adapter）とスイッチ間の論理接続を認識してフレームロス防止や帯域保証を有効にすることが可能となっている．ファイバーチャネル自体の技術も第 6 世代の 32Gbps（FC-PI-6）の標準化が ANSI の T11 委員会で 2013 年に完了しており，イーサネットの高速化と共に進化し続けている．また，最近では 3. 1 節で述べた SDN 技術と同様に SDS（Software-Defined Storage）という技術要素が注目され始めている．SDS は現時点では規格が定まっておらず，メーカー各社各様の解釈を基に製品がリリースされている．基本的な概念としてはコントロールプレーンとデータプレーンを分離してストレージ環境をコントローラーにて一元的に制御できる形態をとり，複数のストレージ（NAS，SAN）から構成されるデータプレーンを仮想化しリソースプールを形成する．コントローラーにて様々なアプリケーションやサービス向けに抽象化を行い，必要となるリソースプール（タイプ，ボリューム）をサーバーにマウントできる仕組みとなる（図 14）．また，SDS には既存のストレージを利用するもの以外に汎用サーバーを利用するタイプもあり，ソフトウエアでストレージ機能が実装されている．最終的にサーバー基盤を含めて SDS や SDN を利用し連携させることで分散配備されている複数のデータセンターのインフラ全体をソフトウエアで制御する概念が「SDDC（Software-Defined Data Center）」である．

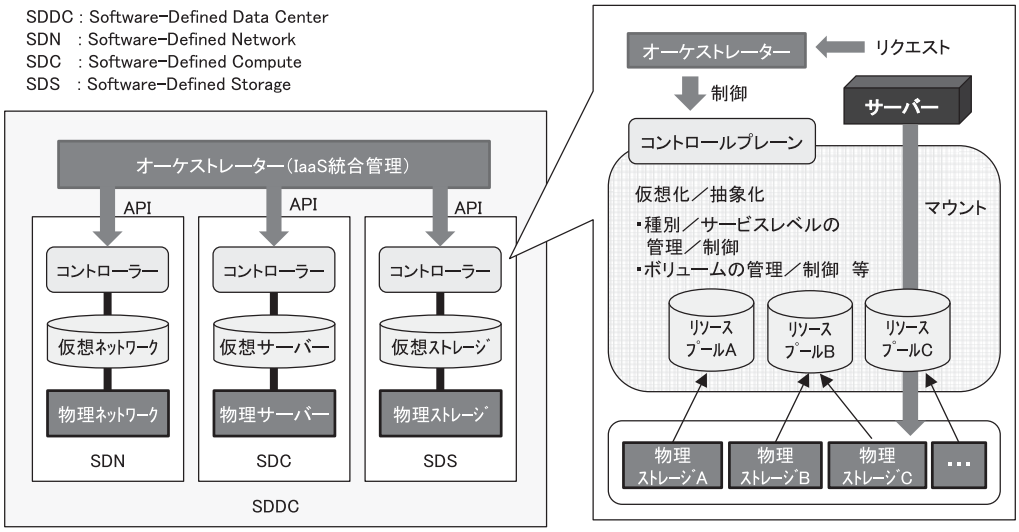

図 14　SDS の実装イメージ例

4.5　オーケストレーションの必要性

クラウドサービス（Infrastructure as a Service〈IaaS〉）基盤を一元的に構築，運用できるソフトウエアを一般的にオーケストレーターと呼ぶ．その種類はOSSベースのものからメーカー固有のものまで多彩であるが，前者においてはOpenStack，CloudStackの二つが広く利用されており，開発プロジェクトに多くのコントリビューターが参画している．昨今のネットワーク仮想化の流れの中で注目されているのが，OpenStackのコンポーネントで仮想ネットワーク機能を実現するNeutron（OpenStack Networking 図15）であり，イーサネットファブリックやオーバーレイネットワーキング，SDNといった新しい技術に対応できるアーキテクチャーになっている．SDNにおいてはコントローラーが上位アプリケーションであるオーケストレーターとAPI（Northbound API）連携する形態となる．実際のネットワークインフラはSDNコントローラーで制御されるスイッチ以外にも多様な機器が含まれているため，オーケストレーターで一元的に運用できることが要件として求められる．Neutronサーバーは OpenStackのコントロールノード上に実装され，様々なネットワークサービス（L2，L3，ファイアーウォール，ロードバランサー等）向けのプラグイン（コントローラー）が用意されている．実際にはネットワーク機器やサーバー上の仮想スイッチにエージェントを実装してAPIを通じてネットワーク構成を制御することが可能となる．OpenStackは現在も6か月毎に新しいリリースが公開されていて実用上の機能実装に向けて進化を続けており（2015年4月に「Kilo（12のコンポーネント構成）」がリリースされ，10月には「Liberty」がリリースされる予定），商用のディストリビューションも複数メーカーより提供され始めている．

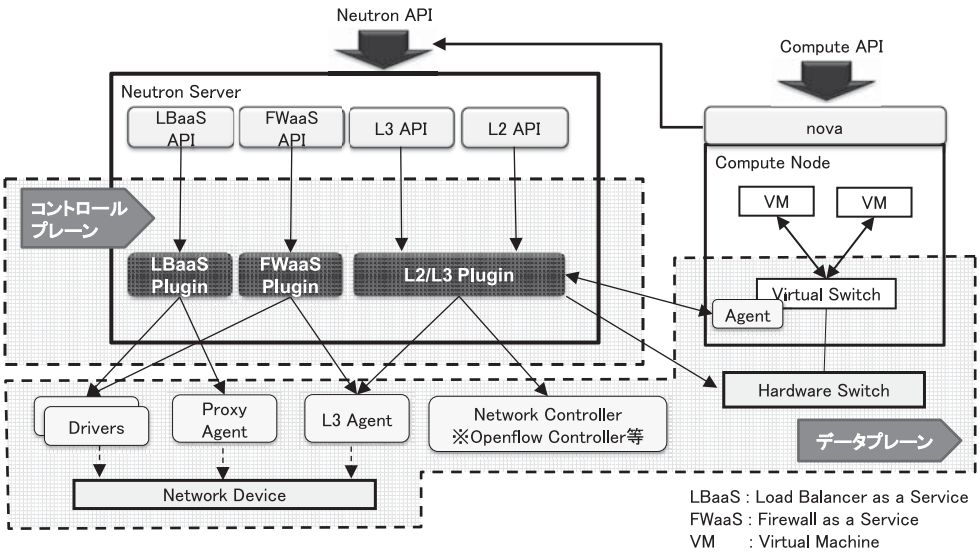

図15　OpenStack Neutronの接続構成

5.　エンドユーザーによるネットワークの利活用

サーバーやストレージのリソースがデータセンター（エンドユーザーのセンターサイト）に集約されてインフラの仮想化やクラウド化が進む一方でエンドユーザーのオフィスを初めとする各サイトではPCやスマートデバイス等の各種端末を利用して如何に迅速に便利にそして安全に業務を遂行できるかが求められている．SDNやNFVが普及することでネットワークの制

御や管理はセンターサイトで対応できるようになるため，ユーザーサイトのネットワークインフラの運用負荷は軽減され，急なユーザーニーズにも迅速に対処することが可能となる．本章では，エンドユーザーにとっての社内外のアクセス基盤の要である無線 LAN や，業務上必須となるコミュニケーションツール，未知のセキュリティー脅威への対策について述べる．

5. 1　無線 LAN 技術の進化と普及

無線 LAN はコントローラーで集中的にアクセスポイントを制御・管理する形態が定着しており，現在の規格としては IEEE で 2014 年 1 月に正式に標準化された 802.11ac が主流となっている．802.11ac は第 5 世代の無線 LAN に位置づけられており，有線 LAN の 1 ギガビットイーサネットと同等のパフォーマンスを実現するために開発された．前世代（802.11n）との差異に関しては，使用周波数帯域が 5GHz 帯に特化されている点（多様な機器で利用している 2.4GHZ 帯は使用せず），帯域幅（20MHz）を束ねて高速化を実現するチャネルボンディングの機能向上（11n：2 チャネル，11ac：4 ないし 8 チャネル），変調方式（Quadrature Amplitude Modulation〈QAM〉）の改善によるデータ送信能力の向上（11n：64QAM，11ac：256QAM），複数のアンテナを使用してデータを同時伝送する MIMO（Multiple Input Multiple Output）の機能拡張（11n：最大 4 本，11ac：最大 8 本），ビームフォーミング（送信指向性制御）と複数端末に対して同時に下りの送信を実現する MU-MIMO（Multi User MIMO）による通信容量の増大，等があげられる．無線 LAN 自体はセキュリティー面でも暗号化や認証方式が確立されていて，オフィスを初めとしてあらゆる場所でアクセス基盤として利用されている．今後旧世代から 11ac への更改が進むと同時に，無線 LAN の利用範囲を拡げながら効率性向上につながる新しい技術が開発されていくと考えられる．最近の高効率化の一例として，端末が密集して干渉が発生する無線 LAN のエリア（スタジアムでの Wi-Fi 利用等）における周波数利用効率の向上やスループットの向上を目指して，802.11ax のタスクグループが 2014 年 5 月にキックオフされ標準化検討が始まっており，2017 年 3 月に Draft2.0，2019 年に最終版がリリースされる予定である．

5. 2　シンクライアントやユニファイド・コミュニケーションの活用状況

無線 LAN 環境がオフィスや自宅，外出先（サテライトサイト化）に導入されて，モバイル回線を使用することなく各種モバイル端末から容易にインターネットアクセスが可能となり，更にシンクライアントを導入することで社内情報を外部に持ち出すことなく，SSL-VPN や各種認証によりセンターサイトへのセキュアなアクセスが実現可能となっている．昨今少子高齢化や労働人口減少の観点で再びワークライフバランスに注目が集まっており，社内外間のコミュニケーション方法がキーである．それを受け，現在では場所にとらわれずに日常のオフィス業務を遂行できるインフラは整備されてきている．FMC（Fixed Mobile Convergence）の普及により会社の携帯電話は既に内線電話と一体化されていることが多く，シンクライアント端末やスマートフォンから社内のビデオ会議/音声会議に参加することも可能であり，コラボレーションツールを利用すれば会議資料をリアルタイムに共有することもできる．また，UC（Unified Communication）に関しては，一般的なオフィス業務での利用以外にも店舗や工場，病院等の特定の業務システムと連携した形態での活用も今後拡がっていくと考えられる．音声やビデオとデータが混在する無線 LAN 環境においては，QoS（Quality of Service）を維持す

るためにSSID（Service Set IDentifier）で音声やビデオのトラフィックをクラス分けする優先制御機能や端末の省電力（ブロードキャスト抑制）向け制御機能が実装されている．

5. 3　標的型攻撃に対する防御のアプローチ

近年マルウエアによるセキュリティー被害が後を絶たない．特にターゲットを定めて段階を踏んで内部情報を搾取する標的型攻撃への対策が急務となっている．従来型のウィルス対策はURL（Uniform Resource Locator）フィルターやシグネチャー検知の個々のパターンマッチングで防御する形態であり，未知の特定標的向けのマルウエアやポリーモノフィック（攻撃用コードを暗号化）型マルウエアを検知，防御することは難しい．標的型攻撃はSNS（Social Networking Service）アプリケーションで攻撃標的（対象企業のユーザー）をピックアップしてメールアドレスを入手し，メールやSNSでのやりとりで標的ユーザーを不正コードが埋め込まれたWebサイトに誘導してバックドア通信用のマルウエアをインストール，ボット化した端末にC&C（Command & Control）サーバーから指示を行い他の端末へ感染を拡大させて端末上の社内情報の収集や攻撃用ツールのインストール等を行い，最終的に標的となるサーバーを攻撃して機密情報を搾取する形態で実行される．標的型攻撃への防御対策としては，アプリケーションレベルでの通信制約を行い予め潜在的な攻撃の経路を絶ち，暗号化通信や圧縮ファイルに埋もれた脅威も含めて全てのデータストリームを一元的にスキャンして脆弱性攻撃やマルウエアを検知してブロックすることでマルウエアの侵入を防止する入口対策，および侵入された後のバックドア通信を検知してボットを検出し活動を阻止する出口対策があげられる．加えてシグネチャーで判別できない正体不明のファイルに対して，サンドボックス[*7]による振る舞いのチェックを実施し詳細を分析してマルウエアやバックドア通信に応じたシグネチャーを作成し適用することで早期に未知のマルウエアに備える内部対策も重要となる．現在メーカー各社では標的型攻撃向けに各種ソリューションを用意しており，既存のアプライアンス製品主体に機能やラインアップを追加する形で提供している．

6. お　わ　り　に

本稿では現在から将来に向けてのネットワークインフラの変革の技術動向について紹介した．ネットワークインフラの技術はこれからも市場で求められる通信需要に応えるよう進化していくが，インフラの構築を支える技術者もスキル範囲を拡げながら対応に備えることが不可欠となる．物理/仮想環境が混在する複雑なインフラを如何に効率的に且つ安全に運用できるか，更にはそのインフラを如何にユーザーに活かすことができるかを提案し実現することがこれからのインテグレーターの真価となる．日本ユニシスグループの総合ICTサポートサービス企業であるユニアデックスでは通信事業者の伝送ネットワークやデータセンターネットワーク，様々なユーザーサイトのネットワークの各分野でこれまでの構築運用経験を活かし，新たなソリューションへの取り組みを進めている．光伝送ネットワークやSDN，無線LAN，UC，セキュリティーに関しては，本特集号所収の各論文にて詳述している．是非ご覧いただき，ユニアデックスの取り組みを実感していただきたい．

＊1　ITU-T は International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector の略で，国際電気通信連合の部門の一つで通信分野の標準策定を担当する部門.
＊2　IEEE は The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. の略で，アメリカ合衆国に本部を持つ電気・電子技術の学会.
＊3　IETF は Internet Engineering Task Force の略で，インターネットで利用される技術の標準化を策定する組織.
＊4　ETSI は European Telecommunications Standards Institute の略で，ヨーロッパの電気通信の全般にかかわる標準化組織（欧州電気通信標準化機構）.
＊5　ベアメタルはホスト OS を必要としない仮想化ソフトウエアの方式．サイズの小さなハイパーバイザーと呼ばれるソフトウエアが仮想マシンを構成.
＊6　ANSI は American National Standards Institute の略で，アメリカ合衆国の工業的な分野の標準化組織（米国国家規格協会），公の合意形成のために様々な規格を開発.
＊7　サンドボックスは外部から受け取ったプログラムを保護された領域で動作させることによってシステムが不正に操作されるのを防ぐセキュリティーモデルのこと.

参考文献　［1］ 次世代光アクセスネットワーク技術の動向調査，テレコム先端技術研究支援センター，2012 年 3 月
［2］ JT-G.8113-1　パケットトラントポートネットワーク（PTN）における MPLS-TP の OAM メカニズム，情報通信技術委員会，2014 年 2 月
［3］ OpenDaylight Platform Architecture (Lithium), OpenDaylight
［4］ Network Function Virtualization (NFV) Infrastructure overview, ETSI NFV ISG, January 2015
［5］ データセンターネットワークリファレンスガイド（第 2 版），日本データセンター協会，2014 年 1 月
［6］ Brad Casemore，クラウドサービスプロバイダにおける SDN（Software-Defined Network），IDC White Paper，2014 年 6 月

執筆者紹介　寺　嶋　浩　信（Hironobu Terajima）
1986 年日本ユニバック（株）入社．ネットワーク関連の商品企画，UC 関連のソリューション開発，FMC 関連の事業推進，企業やデータセンターのネットワーク構築運用等に従事．2013 年より通信事業者向けのネットワーク運用構築，データセンターのネットワークや無線 LAN 関連のソリューション開発を担当.