

## 第4部

### 特集4 次世代NSPコンソーシアム 2015年活動報告書

関谷 勇司、堀場 勝広

---

#### 第1章 はじめに

---

本報告書は、WIDE Projectのサブプロジェクトである、次世代Network Service Platform (NSP) コンソーシアムの2015年の活動成果について、コンソーシアムのNDAに抵触しない範囲にて活動をまとめた報告書である。第1章では、コンソーシアム発足の背景や目的を述べた。第2章では、2015年の活動状況に関してまとめた。第3章では、NFVI環境の構築とシステムの評価手法について述べた。最後に、第4章にて2015年の活動を総括し、今後の活動計画を述べた。

##### 1.1 コンソーシアム設立の背景

現在のネットワークを取り巻く状況は、次の世代への変革を迎えようとしている。スマートフォン普及によるモバイル端末数の増加や、Internet of Things (IoT) の普及による様々なデバイスのインターネットへの接続、ならびにクラウドやビッグデータの普及によるデータセンタへのトラフィック集中等により、従来のネットワークインフラでは十分に対応することのできないトラフィックが生み出されている。すなわち、ネットワークに求められる要求が、従来のネットワークに求められる要求と異なり始めている。

従来はコンピュータとその周辺機器だけがインターネットに接続されていたが、IoTによるセンサーデバイスの増加、ならびにスマートフォンの世界的な普及による動画コンテンツの普及やクラウドとの連携といったものが、近年の通信量の増加傾向に影響を及ぼしていると考えられる。このような技術動向により、ネットワークも従来のいわばクライアント・サーバ型アプリケーションのためのネットワークから、図1.1に示すような、横方

向もしくは東西方向と呼ばれる、クラウド型アプリケーションのためのネットワークへと変化している。クラウド型のアプリケーションでは、データ処理や計算がデータセンタに存在する計算機資源やストレージ資源を用いて行われるため、データセンタ内部のネットワークならびにデータセンタ間のネットワークをいかに効率よく構築、管理できるかが重要となる。この問題を解決するために、Software Defined Networking (SDN) が必要とされていると考えられる。

さらに、従来はユーザに近い場所に機材を設置して運用することで実現されていたサービスも、クラウド型サービスの台頭により、よりユーザから離れた位置にて構築、運用される傾向にある。さらに、WebRTC [25]に代表されるような次世代のコンテンツ技術においては、従来のWebサーバとブラウザ間の通信のみならず、ブラウザ間での通信も実現され、ISP内での折り返し通信が多く発生する可能性がある。また、HTTP/2 [26]の仕様に含まれるような、従来であればトランスポート層プロトコルで行っていたような通信の挙動に関する制御を、アプリケーション層からの操作、もしくはアプリケーション層自体にて行おうといった技術も登場している。これらは、トラフィック傾向の変化を生み出す技術であり、かつ現在のネットワークインフラに対する新たな要求から生み出された技術でもある。すなわち、現在のネットワークインフラの設計モデルとは異なる通信形態を生み出す可能性のある技術と言える。また、このような新技術はこれからも続々と登場する可能性があり、その都度ネットワークに対する新たな要求や、通信・運用形態の変化が発生すると考えられる。このような新たな変化に対応するためには、ネットワーク自体とそのネットワークが提供するサービスのアーキテクチャが、より柔軟性を持った構造に変化する必要がある。

一方で、現在のネットワークインフラは、依然としてサーバとクライアントとの間で多くのTCP通信が行われることを想定したインフラであり、また通信量の増加もそのモデルに基づいた推定のもとに、インフラへの設備投資が行われている。もちろん、サービスとユーザとの間の通信、すなわち縦方向の通信はこれからも依然として増え続けていくことに間違いはない。しかし、前述のようなクラウドやビッグデータアプリケーションのさらなる普及や、新しいアプリケーションやそれに付随するプロトコルの登場により、比較的短期間にトラフィックの傾向や総量が大きく変化する場合も発生する。すなわち、従来のモデルに基づいた設備投資によるネットワークインフラではなく、これら新技術の登場にも柔軟に対応できる、ネットワークインフラが必要とされている。

## 1.2 コンソーシアムの目標

前述の背景を受け、本コンソーシアムでは、ネットワーク・インフラに求められる新たな要求に応えることのできるネットワークサービスのアーキテクチャを提案し、実証実験を通じてその実現と普及を目指す。本コンソーシアムで提案する新たなネットワークサービスアーキテクチャでは、Software Defined Networking (SDN) と Network Functions Virtualization (NFV) を重要な要素技術として捉え、これらの技術の利点を生かすことで、動的な変化に対応することを可能とする。

ネットワークトラフィックの変化やSDN、NFVといった新技術の登場により、ネットワークインフラは、より柔軟かつ動的な構成変更が行えるアーキテクチャに移行することが求められる。そこで本コンソーシアムでは、

これらネットワークの変革に対応することのできる、新たなネットワークサービスアーキテクチャを提案する。ネットワークサービスとは、ユーザの利便性のためにネットワークに付随して提供される機能を意味し、ユーザを攻撃や成りすましから守ったり、ユーザがコンテンツを容易に得ることを支援したり、ユーザがどこにいても同じサービスを受けられることを担保する技術を意味する。これらの目標を達成したネットワークインフラを実現するためには、SDNとNFVが重要な要素技術となると考えられる。特に本コンソーシアムでは、要素技術の中で大きな割合を占めるとされるNetwork Function Virtualization (NFV) に着目し、その基礎技術の検証を通じて、技術基盤を確かなものにすることを目指す。

コンソーシアムの目標と活動のステップを、図1.2に示す。コスト削減や資源の有効利用、スケールアウトや短納期といった、次世代NSPが有するべき利点をおさえつつ、次世代NSPの姿を明らかにし、実現のための要素技術を確立することを目的とした活動を行う。具体的には、図1.3に示す4点の技術課題を解決し、NFVが本来有する、ハードウェアとソフトウェアの分離という利点を最大限活かしたネットワークサービスプラットフォームを形成する。

これらの課題を解決すべく、本コンソーシアムは活動を行う。

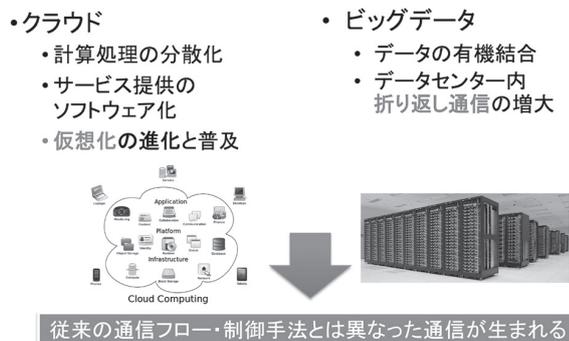


図1.1 トラフィック方向の変化

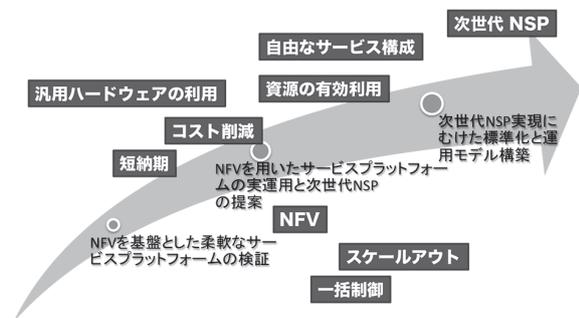


図1.2 コンソーシアムの目標と活動方向

### 1.3 次世代NSPとは

本コンソーシアムでは、新たなネットワークサービスアーキテクチャに求められる要件を、次の通り定義する。

- 新たな技術やアプリケーションの登場によるトラフィックの変化に対応できる
- 一番効率の良い場所でサービスを提供できる
- 運用しながら新たな機能を導入できる (DevOps)
- 性能を段階的に拡大もしくは縮小できる

これらの要件を満たすネットワークサービスアーキテクチャを、「次世代ネットワークサービスプラットフォーム (NSP)」と定義する。これらの要件を満たすためには、まずネットワーク自体がサービスを提供する、というモデルが必要となる。つまり、ネットワークサービスを提供するために、ある場所に資源を集め、サービスを構築するというモデルではなく、位置に関係なくネットワーク自体がサービスを提供するというモデルである。その概念図を、図1.4に示す。アプリケーションからの要求やトラフィック動向の変化を読み取り、それを下位層に伝えるためのアプリケーションサービス層、ならびにトランスポート層とネットワーク層の中間の最適な場所でネットワーク付加サービスを実現する、ネットワークサービス層というものが必要になると考える。すなわち、ネットワークサービス層は、ネットワークの構成とそれに付随するネットワークサービスを同一にマッピングさせるための機能をj提供する層と定義され、アプリケーション

サービス層は、ユーザが用いるアプリケーションが求める、もしくはユーザにとって必要となる機能を、下位のネットワークサービス層と連携して実現するための層と定義される。

例えば、トラフィックの集中等によって通常時よりもネットワーク機能に対する処理能力が必要となった場合には、処理を行うのに必要な資源を集め、処理性能を拡張することが求められる。その際、このサービス層という概念が導入されることで、サービスに利用する資源の境界線が無くなり、必要なサービスに必要な分の資源を分配するというモデルが形成される。すなわち、ネットワークが一枚の層としてサービスを提供する、という概念が実現されれば、トラフィック変化への柔軟な対応や、性能の段階的な拡大や縮小が可能となる。これは、図1.5に示す通り、ネットワークサービスを実現する単位をなるべく小規模の部品として構成し、それを数多く並列に並べることで実現可能となる。この部品の多並列化という概念は、いわばサービスを提供するラインの並列化であり、次世代のネットワークサービスアーキテクチャにとって重要な要素となる。

従来の専用機器を用いてネットワークサービスを構築した場合には、機器台数や機能の制約により、サービスの並列化、すなわちラインの並列数を増やすことが難しい。これが従来のネットワークにおいて、サービス位置の制約や拡張性の乏しさを生む要因となっていた。あるサー

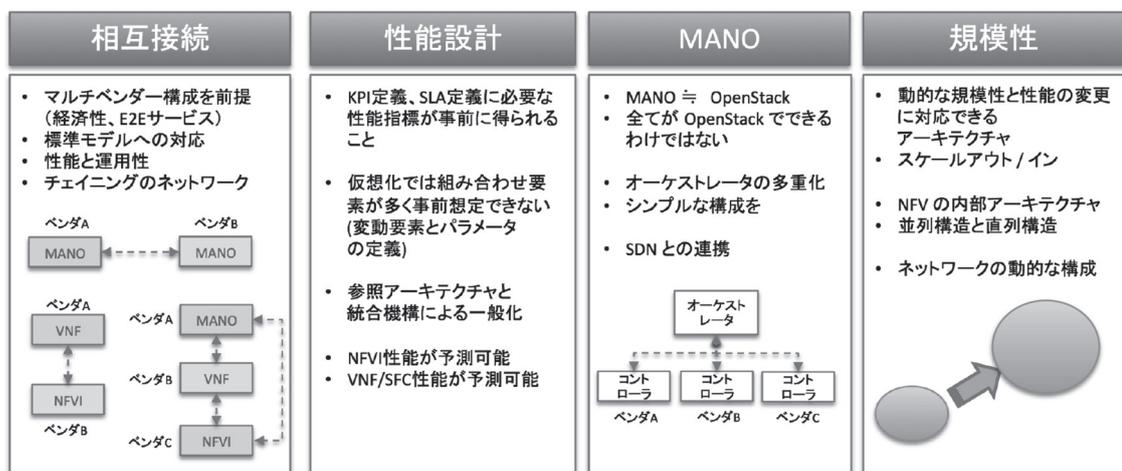


図1.3 解決すべき技術課題

サービスを実現するにあたって、そのサービスを構成する内部のライン数が少なければ少ないほど、ひとつのラインが受け持つトラフィック量が多くなり、ラインの重要度が增加する。逆にライン数が多くなればなるほど、ひとつのラインが担当するトラフィック量は軽減され、ライン構成の変更やライン数の増減、ライン単位での機能更新なども容易に行うことが可能となる。これにより、前述のDevOpsや性能の段階的な拡大縮小を実現することができる。

さらに、スマートフォンのユーザに対して、成りすまし（フィッシング）による被害を防ぐ機能と、コンテンツを圧縮してダウンロードしやすくする圧縮機能、ならびにNAT機能を提供する場合を考える。従来のネットワークサービスアーキテクチャであれば、これら処理に必要な資源を中央のデータセンタに設置するため、全てのユーザトラフィックを中央部分に集め、処理される場合が多い。しかし、それがユーザにとって本当に最適なサービスを提供できているかは疑問である。例えば、コンテンツの圧縮は、モバイル事業者とインターネットの境界点にて行うのが、トラフィック量を削減することができるし、成りすましによる被害を防止する機能は、ユーザの属性に応じてカスタマイズされた形で提供される方が効率的である。また、万が一ユーザの端末が乗っ取られた場合を想定すると、ファイアウォールやDPIといった機能はなるべくユーザに近い場所で提供された方が他ユーザへの感染拡大という二次被害を防げる可能性が高まり、NATはユーザの通信セッション数に応じて分散して配置するという手法が効率的である。つまり、サービスが位置の制約から解放され、そのサービスを展開するにあたって最も効率の良い場所にて展開できることで、ユーザへの利便性の向上と、導入や管理コストの削減の可能性が生まれる。この、必要なサービスを必要な場所で展

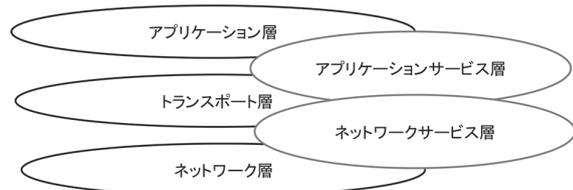


図1.4 ネットワークサービスプラットフォームの概念

開するという概念を、次世代ネットワークサービスアーキテクチャでは、サービスの「普遍化」と定義する。つまり、従来は大きく分類すると集中化か分散化だけであったサービスモデルが、必要な場所で必要なだけ展開できるという普遍化を実現することで、「必要なサービスを一番効率の良い場所で」動かすという、動的なトラフィック変化に対応することのできるネットワークインフラを構成できる。

#### 1.4 コンソーシアムの活動方針

本コンソーシアムは、次世代のネットワークサービスプラットフォームに求められる要件を明確にし、そのアーキテクチャの設計と構築を行うことを目的とした活動を行う。しかし、単に研究においてアーキテクチャを構築するのみならず、構築したネットワークサービスプラットフォームが、実サービスに展開されネットワークインフラとして社会に貢献できるものとなるよう、常に導入と運用の観点を忘れずに活動を展開する必要がある。この観点を持たなければ、真に導入可能となる次世代ネットワークサービスアーキテクチャを構築することはできず、単に研究のためのアーキテクチャになってしまうためである。そこで本コンソーシアムでは、次の三点を常に念頭においた研究活動を行う。

1. ハードウェアとソフトウェアの分離による汎用ハードウェアの有効利用とマルチベンダ相互接続性の検証
2. 性能・品質の評価指標の策定とデータの公開

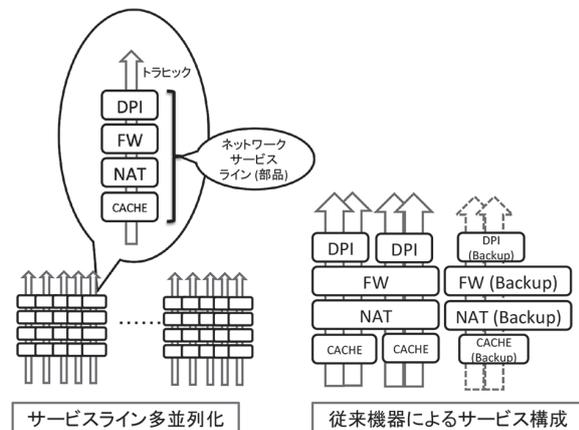


図1.5 ネットワークサービスラインの多並列化

### 3. 実ネットワークにおける運用と検証を通じた、構築手法や計測手法の公開

これらを念頭に置くことにより、研究に特化された現実とかけ離れたアーキテクチャではなく、導入と運用が可能なアーキテクチャの構築を目指す。この活動方針に基づき、第一段階として、まずNFVの評価を行うハードウェア・ソフトウェアのプラットフォームを構築し、様々なハードウェア、ソフトウェアの動作検証を行なった。検証項目、計測手法に関してはコンソーシアム参加組織にて議論して決定した。さらに、NFVの実運用に向けて、複数のネットワークベンダのCOTS (Commercial off the shelf) とVNF (Virtual Network Function) を組み合わせるサービスを構成するため、各ベンダの製品を用いて接続試験を行い、相互接続性の検証を行った。これらの成果は、本報告書としてまとめる他にも、国内に広がるアカデミックネットワークである、WIDE Projectのバックボーンを利用して、実ユーザに対して実サービスを提供する実証実験を行う予定である。また、検証や評価から得られた知見をもとに、現在の標準化仕様では不足している点についてまとめ、IETFを中心として標準化活動を行う予定である。

#### 1.5 コンソーシアムの体制

本コンソーシアムは、前述の通り、研究として新たなネットワークアーキテクチャを生み出すだけでなく、実用のサービスに取り入れ、運用することのできるアーキテクチャの構築を目指す。そのため、研究と運用の両面からアプローチを行う必要があり、学术界と産業界の連携が重要なポイントとなる。これは、本研究課題をSFC研究所のコンソーシアムとして発足させたもう一つの大きな目的であり、大学や官民を問わない研究機関を中心としたアカデミック組織からのメンバー、実際の製品を生み出したりその製品を用いてサービスを実現するベンダーやインテグレータ、さらにサービスを顧客に提供する通信事業者という三者が協力体制を構築することにより、初めて解くことのできる研究課題である。

以下に、2015年7月末日時点における、コンソーシアム参加メンバーの一覧を示す。なお、アカデミックメンバーと幹事会員は、コンソーシアムの運営に関する決定権を

有し、コンソーシアムの活動に優先的に参加する権利を有する。

#### アカデミックメンバー

- ・村井純 (慶應義塾大学 / コンソーシアム代表)
- ・中村修 (慶應義塾大学)
- ・関谷勇司 (SFC 研究所上席所員 / 東京大学)
- ・堀場勝広 (慶應義塾大学 / ソフトバンク株式会社)
- ・妙中雄三 (SFC 研究所上席所員 / 東京大学)
- ・大江将史 (自然科学研究機構国立天文台)
- ・宇多仁 (北陸先端科学技術大学院大学)

#### 幹事会員 (50音順)

- ・アラクスラネットワークス株式会社
- ・ソフトバンク株式会社
- ・デル株式会社

#### 賛助会員 (50音順)

- ・IP Infusion Inc.
- ・イクシアコミュニケーションズ株式会社
- ・伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
- ・株式会社インターネットイニシアティブ
- ・インテル株式会社
- ・ヴェイムウェア株式会社
- ・エアロフレックスジャパン株式会社
- ・NTTコミュニケーションズ株式会社
- ・有限会社銀座堂
- ・KCCSモバイルエンジニアリング株式会社
- ・KDDI株式会社
- ・シスコシステムズ合同会社
- ・ジュニパーネットワークス株式会社
- ・東京エレクトロニクス株式会社
- ・株式会社東陽テクニカ@Benchmark
- ・日商エレクトロニクス株式会社
- ・日本アルカテル・ルーセント株式会社
- ・日本電気株式会社
- ・日本ヒューレット・パッカード株式会社
- ・日本ラドウェア株式会社
- ・ネットワンシステムズ株式会社
- ・Virtual Open Systems SAS
- ・パロアルトネットワークス合同会社

- ・華為技術日本株式会社 (ファーウェイジャパン)
- ・フォーティネットジャパン株式会社
- ・富士通株式会社
- ・株式会社ブロードバンドタワー
- ・株式会社マクニカ
- ・三井情報株式会社
- ・メラノックステクノロジーズジャパン株式会社

---

## 第2章 活動履歴

---

本章では、本コンソーシアムの2014年10月から2015年5月までの活動についてまとめる。この半年間はコンソーシアムの発足時期であり、前半はその運用体制や検証環境の構築に活動の重点がおかれた。後半は第一期検証が開始され、NFVIのパターン定義やVNFの単体検証、ならびに連結検証が行われた。以下に、活動種別毎に分類した、半年間のコンソーシアムの活動をまとめる。

### 2.1 総会

総会は半年に一回開催され、本コンソーシアムにて最大の会合と位置づけられる。2015年1月から2015年12月までの間に、二回開催された。

- ・ 第二回総会

日時: 2015年4月24日 (金) 15:00-17:00

場所: 東陽テクニカテクノロジーインターフェースセンター

第一期検証の結果を中心とした活動成果の報告が行われた。第一期検証におけるNFVIパターンの制定や、ハードウェアオフローディング技術の分類、ならびにその適用手法とVNFの性能との関連性に関して、報告がなされた。

- ・ 第三回総会

日時: 2015年10月23日 (金) 16:00-18:00

場所: 慶應義塾大学三田キャンパス

第一期検証結果の報告と第二期検証の中間報告が行われた。第二期検証において明らかになったチェイニングのための手法の詳細と、その特徴についての報告がなされた。

### 2.2 意見交換会

意見交換会は、特定のテーマに関してブレインストーミング的な議論を行う場である。コンソーシアムのメンバーであれば誰でも参加できる。第一回意見交換会では、NFVのユースケースとNFVIの環境に関する議論が行われた。また、NFVの実サービスへの展開に関する意見交換も行われた。なお、第一期意見交換会は、初の意見交換会ということもあり、多数の参加人数が見込まれたため、同じ分科会を三回に分割して開催し、都合の良い日程の回に参加してもらう形式を取った。また、キャリア・ISP分科会は、NFVに関してのユースケースをより絞り込むために、インフラへの導入を検討しているキャリア・ISPの会員の方に集まってもらい、NFVの導入と利用方法に関する議論を行った。この結果は、第一期検証プランに反映された。第二回意見交換会は、第二期検証のテーマである、チェイニングのためのネットワーク技術をテーマとして開催された。40名以上の方に参加頂き、第二期検証にてターゲットとする技術を決定した。

- ・ 第一回キャリア・ISP分科会

日時: 2015年1月16日 (月) 10:00-12:00

場所: 北陸先端科学技術大学院大学品川サテライトオフィス

- ・ 第二回キャリア・ISP分科会

日時: 2015年3月16日 (月) 10:00-12:00

場所: 東京大学情報基盤センター

- ・ 第二回意見交換会 (ネットワーク分科会) 開催

日時: 2015年5月26日 (月) 15:00-17:00

場所: 東京大学工学部2号館

- ・ 第一回意見交換会 (ハードウェアオフローディング・コンテナ技術) 開催

日時: 2015年11月17日 (火) 13:30-16:00

場所: 東京大学情報基盤センター

### 2.3 検証活動

2014年10月から2015年5月の間には、第一期検証が行われた。

- ・ 第一期検証プラン案公開

日時: 2015年1月27日 (火)

第一期検証の計画案を会員限定にて公開した。

- 第一期検証開始  
日時: 2015年2月17日 (火)  
場所: 東京大学情報基盤センター  
第一期検証として、NFVIのパターン定義とパターン毎の特性検証, ならびにVNFの動作検証が開始された。
- 第一期検証用VNF募集開始  
日時: 2015年2月17日 (火)  
第一期検証にて利用するVNFの募集を開始した。
- 第一期検証プランと検証VNF決定  
日時: 2015年3月28日 (土)  
第一期検証計画書の最終版を会員限定にて公開し, 利用するVNFを決定した。

## 2.4 報告書・発表

- Webページ公開  
日時: 2015年1月4日 (日)  
次世代NSPコンソーシアムのWebページ (<http://www.next-nsf.org/>) を一般公開した。
- 第一回プレスリリース  
日時: 2015年1月9日 (金)  
次世代NSPコンソーシアムの発足に関して, 報道各社にプレスリリースを送付した。
- コンソーシアムロゴ決定  
日時: 2015年1月28日 (水)  
次世代NSPコンソーシアムのロゴを決定し, Webページに公開した。
- Interop Tokyo 2015における活動成果報告  
日時: 2015年6月10日 (水) - 6月12日 (金)  
Interop Tokyo 2015のSDI/NFV ShowCaseにてブースを構築し, 活動成果の報告とNFVに関する正しい理解を促すための啓蒙活動を行った
- IETF94 NFVRGにおけるNFVアーキテクチャ提案  
日時: 2015年11月4日 (水)  
パシフィコ横浜にて開催されたIETF94標準化会議に参加し, NFVRGにてコンソーシアムが提唱するFlowFallモデルに基づくNFVアーキテクチャの紹介と提案を行った
- 次世代NSPコンソーシアム 第一回活動報告書公開  
日時: 2015年8月23日 (日)  
次世代NSPコンソーシアムの第一回活動報告書をコンソーシアム内部限定にて公開した

以上の通り, 2015年1月から2015年12月までの活動をまとめた。

---

## 第3章 検証環境

---

本章では, 第一期検証についてその計測環境の定義と, 計測環境の構築手法に関して報告する。

検証を開始するにあたって, まず意見交換会を開催した。これは, NFVをどのようなユースケースに取り入れたかと思っているか, またどのような技術を用いたいのかといった市場動向の調査を行うためである。その議論の結果をふまえ, 次に, キャリアやISPの方々に集まってもらい, ユースケースを詰めるための意見交換会を開催した。その結果, コア部分ではなくまずはエッジネットワークに対して, NFVの技術を適用したいという意見が多く出された。そこで, まずはエンタープライズネットワークやエッジネットワーク, コンシューマへのvCPEといった部分をユースケースとしたNFVアーキテクチャを構築・検証することとした。具体的には, コア部分ではなくエッジネットワーク部分に適用する規模に適したNFVI定義, ならびにそれらネットワークに求められるVNFの選定と, それらの組み合わせによる性能の傾向を検証した。

本章では, まず議論されたユースケースに基づき, 規模に適したNFVIパターンの定義を行った。このNFVIパターン定義は, 本コンソーシアムが提唱する基本パターンであり, 今後も継続して利用し, 改善を加えていく, 次に, 個々のNFVIパターンの技術的な要点と, 導入時の注意点についてまとめた。最後に, 本コンソーシアムが推奨する, NFVの計測手法について定義した。

### 3.1 検証参加企業

前述のユースケースに基づき, 参加企業各社に対して, 以下の機能を有するVNFの募集を行った。

- L2スイッチ
- L3ルータ
- NAT
- ファイアウォール (DPI含まず)

その結果、以下に挙げる社の方々から、VNFを提供して頂いた。また、NFVI構築のためのネットワーク機器やサーバ機器、性能検証を行うためのテスター機器等も提供頂いた。

### 3.1.1 VNF提供 (敬称略, 50音順)

- ・ IP Infusion, Inc.
- ・ シスコシステムズ合同会社
- ・ ジュニパーネットワークス株式会社
- ・ 日商エレクトロニクス株式会社
- ・ 日本ヒューレット・パッカード株式会社
- ・ パロアルトネットワークス合同会社
- ・ フォーティネットジャパン株式会社
- ・ 華為技術日本株式会社

### 3.1.2 計測機器提供 (敬称略, 50音順)

- ・ イクシアコミュニケーションズ株式会社
- ・ 株式会社東陽テクニカ@Benchmark

### 3.1.3 ネットワーク・サーバ機器提供 (敬称略, 50音順)

- ・ 日本ヒューレット・パッカード株式会社
- ・ デル株式会社
- ・ 株式会社マクニカ
- ・ メラノックステクノロジーズ株式会社

### 3.1.4 検証技術・環境提供 (敬称略, 50音順)

- ・ 株式会社インターネットイニシアティブ
- ・ NTTコミュニケーションズ株式会社
- ・ ソフトバンクモバイル株式会社
- ・ KDDI株式会社

## 3.2 検証NFVI環境構築方法

本節では、検証NFVIの環境構築方法を示す。構築にあたっては最新のソフトウェア群を利用しているため、Web上にもドキュメント類が乏しい。そのため、本報告書では最新ソフトウェアを用いた場合の構築時の注意点について特に留意して記述した。

### 3.2.1 仮想NICのマルチキュー対応

KVMを用いているNFVI2-5に関しては、仮想ネットワークドライバとしてvirtioを用いている。その際、最近の

virtioではマルチキュー機構が導入されているため、本検証においては全てのパターンにおいて、利用できる場合はマルチキューを利用した。従来のvirtioはシングルキュー構成となっており、ホストOSとゲストOSの間にてパケットをやりとりするためのバッファが一つしか存在しなかった。そのため、複数のゲストOSが動作する環境においては、どんなにCPUコアを積んだハイパーバイザにおいても、ホストOSとゲストOSの間のネットワークのI/Oは、1コアのみで処理されていた。マルチキューの場合は、このバッファが複数存在するため、ネットワークI/Oに複数のコアが利用でき、速度の向上が見込めるため、本検証にて利用した。

### 3.2.2 DPDKを利用したOpen vSwitch

DPDKを利用したOVSを構築するために、今回の検証ではIntel X520-DA2 (Intel 82599 10Gigabit Ethernet Controller) を用いた。本検証にて利用したソフトウェアバージョンは、DPDK1.8.0と、2015年4月15日にクローンを行ったGithubで公開されているOVS (ブランチ master, commit id f097013adabf50cf8d82562f0893d60999294bba) である。DPDKをデータプレーンとしたOVSを利用する場合、Linuxカーネルの起動オプションにてIOMMUを有効にしていると、環境によってはDMA remapping (DMAR) とDMA Engine Reporting Structure (DRHD) に関するエラーが発生し、OVSにパケット入力できない場合がある。IOMMUは、後述するSR-IOVを利用する場合に必要なオプションであるため、現段階では、DPDKを利用したOVSとSR-IOVとを同時に有効にしたNFVIの構築を行うことはできなかった。

### 3.2.3 SR-IOVの利用

SR-IOVは、単一のPCIデバイスを、仮想的に複数のPCIデバイスであるVirtual Function (VF) に分割する技術である。VMに対してPCIパススルー技術を適用し、VFを直接接続することによって、仮想マシンから直接ハードウェアNICに対するパケットの入出力が可能となる。VFに対してPCIデバイス全体の機能をPhysical Function (PF) と呼び、SR-IOVの拡張機能の設定と管理に利用される。

SR-IOVを有効にするには、カーネルにてIOMMUを有効にする必要がある。IOMMUの有効化は、Linuxのカーネ

ル起動オプションとして設定する。また、ホストOS上でNICドライバのカーネルモジュールをロードする際に、オプションを指定することで、SR-IOVにて利用可能なVFの数を指定することができる。オプションの変更方法、VFの最大利用可能数は、利用するNICハードウェアによって異なる。

ゲストOSが、VFに直接アクセスする方法として、Linuxカーネル3.6よりVirtual Function I/O (VFIO) [27] という方式が追加された。VFIOはInput/Output Memory Management Unit (IOMMU) [28] 環境下において、ユーザー空間のドライバが、物理デバイスに直接アクセスすることを可能とする技術である。ホストOSのデバイスドライバを直接利用し、従来の方式よりも高速、低遅延の処理が可能となる。VFIOを利用するには、Linuxのカーネルモジュールであるvfiopciをロードする必要がある。検証環境のIntel X520を利用し、Ubuntu14.04とQEMU KVM 2.0をハイパーバイザーに用いた場合、VFIOを利用しない場合には、仮想マシンのQEMUプロセスがdefunct状態(ゾンビプロセス状態)となり、libvirtからゲストOS終了ができず、QEMUプロセスに対するKILLシステムコールでも終了できない状態が発生した。一方で、VFIOを用いた場合は、検証対象の全ての機器において安定動作した。このバグは既知の情報として報告されており、IOMMUのビット幅が不足している際にメモリマッピングに失敗するため、PCI-Assignの代わりにVFIOの利用が推奨されている[29]。

SR-IOVにおけるVFは、マルチキューに対応しており、設定によってVFに対して割当てするTX/RXキュー数を指定できる。しかし、第一期検証において提供されたVNFでは、キュー数を明示的に指定できるVNFは存在しなかった。そのため、本検証における一つのVNFに割り当てられたTX/RXキュー数は、Intel X520のデバイスドライバのデフォルト値である、2となっている[30]。

### 3.3 計測手法とシナリオ

本節では、本コンソーシアムが定義し推奨する、NFVに適した計測手法の定義について述べる。この計測手法は、第一期検証での計測を通じた経験から得られたものであり、同時に、専用機器に対する既存の計測手法が、そのま

まNFVシステムへの計測に適用することが困難であることを意味する。

これは、NFVを用いたシステムは、当然その多くの部分がソフトウェアを用いて構成されているため、既存のOSのスケジューラを利用している限り、定常的に安定した性能を出すことが難しいことに起因する。現在のOSでは、ネットワークI/Oの処理は割り込みベースもしくはポーリングベースであり、そのタイミングは厳格なものではない。そのため、同様の負荷をかけたとしても同様の性能が得られるとは限らず、専用ハードウェアをもちいた既存機器の計測手法をそのまま適用すると、極端に低い性能値を示す場合が多い。

そこで、本コンソーシアムでは、暫定的な解決手法として、次の2通りの計測手法を用い、検証を行うこととした。これは根本的な解決策ではないため、計測手法に関しては、さらなる検討が必要となる。

#### 3.3.1 性能試験手法

第一期検証を行うにあたって、本コンソーシアムでは、2種類の計測手法を定義した。これは、既存の専用ハードウェア製品における性能測定手法がそのまま適用できなかったためである。

性能試験では、「スループット」と「転送レート」の2種類の測定方法を定義した。それぞれの定義を下記に示す。前述の通り、現在のOSと仮想化の仕組みでは、資源競合が発生した場合、パケットロスが発生しやすく、スループットが低下する傾向にある。

##### ・スループット

RFC2544 [31]に準拠したスループット試験。対象機器に入力されたフレームをロスなく転送できる最大レートを探る試験方法である。対象機器に対して入力されるフレームレートをロスなく転送できた場合は、フレームレートを上げ、ロスが発生した場合はフレームレートを下げ、これを繰り返し、バイナリ探索のアルゴリズムによって、ロスのない最大レートを検出する手法である。

- ・転送レート

物理NICの最大転送フレームレート (ワイヤーレート) を対象機器に対して入力し、パケット転送処理ができたフレームレートを測定する試験。すなわち、10Gbpsのインタフェースを有したハイパーバイザにてVNFが動作している場合には、10Gbpsのレートにてトラフィックを入力し、どの程度のトラフィックが出力されたかによって性能を計測する手法である。

---

## 第4章 おわりに

---

本章では、2015年の活動をまとめる。特に、第一期検証により得られた知見について述べ、NFVを用いた次世代ネットワークサービスプラットフォームの実現可能性について述べる。さらに、その知見を活かした今後の活動方針について述べる。

### 4.1 第一期検証結果の総括

第一期検証を通じて得られた結果より、現段階においては、NFVを用いたサービスプラットフォームは、運用における簡易性ならびに柔軟性と、サービス性能とのトレードオフとなっている。次世代ネットワークサービスプラットフォームを実現するための要件として、汎用サーバによるハードウェアとソフトウェアの分離による導入の簡易性や柔軟性、ハードウェアの追加による拡張性が挙げられるが、これらを実現するのはまさにNFVの技術そのものである。従って、NFVのアーキテクチャを成熟させ、柔軟性と性能を両立させ、今よりも性能安定性を向上させることが、次世代ネットワークサービスプラットフォームの実現に必要な課題となる。

VNFのネットワークインターフェースを構成するにあたり、ソフトウェアにて定義された仮想化NICを用いることで、NFVI環境への依存度を下げることができる。しかし同時に、パケット転送もしくは処理性能は大きく劣化する。一方、SR-IOVのようなハードウェア機能を利用することで、NFVI環境への依存度は大きくなるが、十分な性能を得ることができる。このように、NFVに用いることのできるハードウェアの補助機能が複数存在し、それらを同時に利用することができない、もしくは困難な状

況においては、VNFの動作環境依存度と性能は相反する要素となる。

さらに、VNFのデプロイに関して、詳細なチューニングを施さなければ性能を確保することが難しいのであれば、それはNFVのオペレーションコストを増大させることにつながる。つまり、完全なソフトウェア技術では十分な性能を得ることができない一方で、NFVに用いることができるハードウェア技術が複数存在し、決定的な優位性を持ったハードウェア技術が存在しないために、VNFによって利用するハードウェア技術が異なっているというのが、現在のNFVを取り巻く現状である。

研究的な観点から言えば、NFVによるソフトウェアとハードウェアの分離は、VNFをVMに抽象化するだけでは不十分であることがわかった。VNFはVMよりももっと細かい粒度、例えばDockerやプロセス等によって実現されることが理想であり、それらVNFのパケット入出力や制御手法は、統一化され標準化されることが望ましい。さらに言えば、VNFへのデータ入出力は、パケットという単位ではなく、データストリームやフローという単位にて行われる方が効率的であると言える。つまり、現状のNFVアーキテクチャは、VMという抽象化されたアーキテクチャの上に構築されることが前提となっており、それが前提となっている以上は、VNFへの入出力はパケットという単位にならざるを得ない。

しかし、パケットという入出力単位は、インターネットにおいて相互接続を行うにあたってのデータ最小単位としては適切であるが、NFVのようにシステム内部のデータフローに対して用いる場合には、最適な最小単位ではないと考えられる。この最小データフロー単位は、次世代ネットワークサービスプラットフォームを実現するにあたって、十分な柔軟性と性能を両立するための大きな要素であると考えられる。このデータフローアーキテクチャの転換に関しては、研究論文[32]にて発表した。引き続き、研究的な側面からも解決方法を探って行きたい。

また、実運用的な側面からは、NFVIの環境として、ホストOSのデバイスドライバ、ハイパーバイザー、ハイパーバイザーの制御APIなど、様々な環境を標準化しなければ

ば、均一な環境を構築する事は困難である。OPNFVプロジェクトでは、NFVのリファレンス実装やシステム構築の構築を目指している。これは、管理を一元化し運用コストを低減するだけでなく、NFVI環境の標準化につながる活動であると考えられる。実運用のサイクルから考えれば、今後はこのようなりファレンス実装が登場し、互換性と相互接続性を維持したままリリースを重ねているかどうか、NFV普及のポイントとなると考えられる。

## 4.2 今後の活動方針

主に第一期検証の活動より、現在のNFVを構成するソフトウェア技術、ならびにそれをサポートするハードウェア技術の動向を把握することができた。その結果、NFVによるサービスは、大きな性能を求められないエッジ部分においても、ハードウェア補助技術を用い、それを適切に調整することによって初めて実現可能となることがわかった。NFVにおける前述の課題を解決するためには、より技術の成熟と標準化活動が必要であるため、コンソーシアムとしては、この現状を明確に伝えるべく、IETFによるユースケースや検証結果の発表、またOPNFV summitにおける活動報告等を検討していく。また、第二期検証はネットワーク技術をテーマとする予定であり、特に、VNFを連結してサービスファンクションチェイニング(SFC)を実現するためのネットワーク技術を中心とした検証を行う予定である。この技術には、IETFのSFC WGにて標準化が進められているNSH(Network Service Header)という技術が存在するため、この標準化と実装の動向をふまえ、各種の製品や技術を検証していく予定である。また、第一期検証にて行った、NFVIとVNFの検証に関しても、新たな技術やVNFが次々と登場すると思われるため、引き続き検証を進めていく方針である。