

ネットワーク仮想化特集 — 「強さ」と「しなやかさ」を併せ持つネットワーク —

NFVを実現するためのSDN技術の導入

2016年3月、ネットワーク機能を仮想化するNFVをドコモネットワークに導入した。それに伴い、通信ソフトウェアとハードウェアの括付けが無くなるため、ルータ・スイッチで構成される物理ネットワークには、動的かつ柔軟に構成の変更が可能であることが求められており、ドコモはその実現方法としてSDN技術を採用した。本稿では、NFVを実現するためのSDN技術について解説する。

ネットワーク開発部
 おかざき ゆうすけ きただ たくや
 岡崎 裕介 北出 卓也
 よしだ たいすけ
 吉田 泰輔

1. まえがき

通信キャリアのネットワーク機能を、専用ハードウェアではなく、汎用ハードウェア上のソフトウェア技術によって仮想的に提供するネットワーク仮想化（NFV：Network Functions Virtualisation）^{*1}技術が発展してきている。NFVは、汎用ハードウェアにインストールされた仮想化レイヤ（Hypervisor）上に通信ソフトウェアを展開させることで、ハードウェア特性に依存せずVM（Virtual Machine）^{*2}が動作することを可能とする技術である。

これまで物理的な構成の制約を受けていたハードウェアリソース

（CPU／メモリ／HDDなど）は、仮想化後は論理的な構成を取ることができ、リソースプール^{*3}の概念で使うことが可能になる。また、専用の高価なハードウェアではなく、汎用ハードウェアの共通的な利用が可能となり、ハードウェアリソースの共有が実現できる。それにより、迅速で柔軟な通信ネットワークの構築や耐障害性の向上が可能となる。

しかし、NFVの効果を最大限に発揮するためには、従来のルータ・スイッチで構成されるネットワークでは対応が難しい課題が存在する。

例えば、従来は通信ソフトウェアを専用ハードウェア上で動作させていたため、物理ネットワークを個別

に用意していた。しかし、NFVでは、汎用のハードウェア上にあるリソースプールに異なる通信ソフトウェアが混在するため、効率的な運用の観点から共通の物理ネットワークを用意する必要がある。

また、NFVによりVMとして動作する通信ソフトウェアを収容するネットワークには、任意のハードウェア上で生成・削除されるVMへの対応や、異なるハードウェア上でVMが移動した場合の対応など、動的かつ柔軟な構成変更が求められている。

そこでドコモは、上記の課題解決としてSDN（Software Defined Networking）技術を採用することとした。

©2016 NTT DOCOMO, INC.
 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} ネットワーク仮想化（NFV）：通信キャリアのネットワークを仮想化技術により汎用ハードウェア上で実現すること。
^{*2} VM：ソフトウェアによって仮想的に構築されたコンピュータ（仮想マシン）。
^{*3} リソースプール：大量のハードウェアを束

ねて、それぞれのハードウェアが保持するリソース（CPU／メモリ／HDDなど）の集合体としたものであり、これを基にさまざまな仮想マシンが作成可能となる。

本稿では、NFVによりネットワークに求められる要件・課題とSDNによる課題解決、およびSDNの今後の展望について解説する。

2. NFVによる要件と課題

2.1 ネットワークリソースの共有

汎用ハードウェア上で、異なる通信ソフトウェアが実装されるということは、汎用ハードウェアを収容するルータ・スイッチなどの物理ネットワークにおいても、異なる通信ソフトウェアを収容することが要件として求められる。

このためネットワークとしても柔軟に物理ネットワークを共有し制御

できることが必要であり、同一物理ネットワークに複数の仮想的なネットワークを柔軟に構築する技術などの実現方法が課題となる。

2.2 VM生成／移動への追従

NFVにより、汎用ハードウェア上で新たなVMの生成やVMの移動が生じる。そのため、ネットワークとしては、VMの生成／移動に追従することが要件として求められる。具体的には、VMが生成した際には、そのVMが通信可能となるようにネットワークパスのセットアップが必要である。また、VMが移動する際には、同一IPアドレス^{*4}／MAC (Media Access Control) アドレス^{*5}を持ちまわり、別のハードウェア上

に移動するため、移動前のネットワークパスを削除し、新たに移動した先のネットワークパスをセットアップする必要が生じる。

しかし、従来のネットワークでは、固定的なネットワークパスとなるため、VMが生成／移動した際に動的なネットワークパスの切替えが実施できず、生成／移動したVMが通信できなくなることが課題であり（図1）、動的にネットワークパスを切り替えることが求められる。

3. SDNによる課題解決

3.1 SDNの概要

(1)SDNアーキテクチャ

SDNアーキテクチャとは、従来は全機能が1台のハードウェアに組み

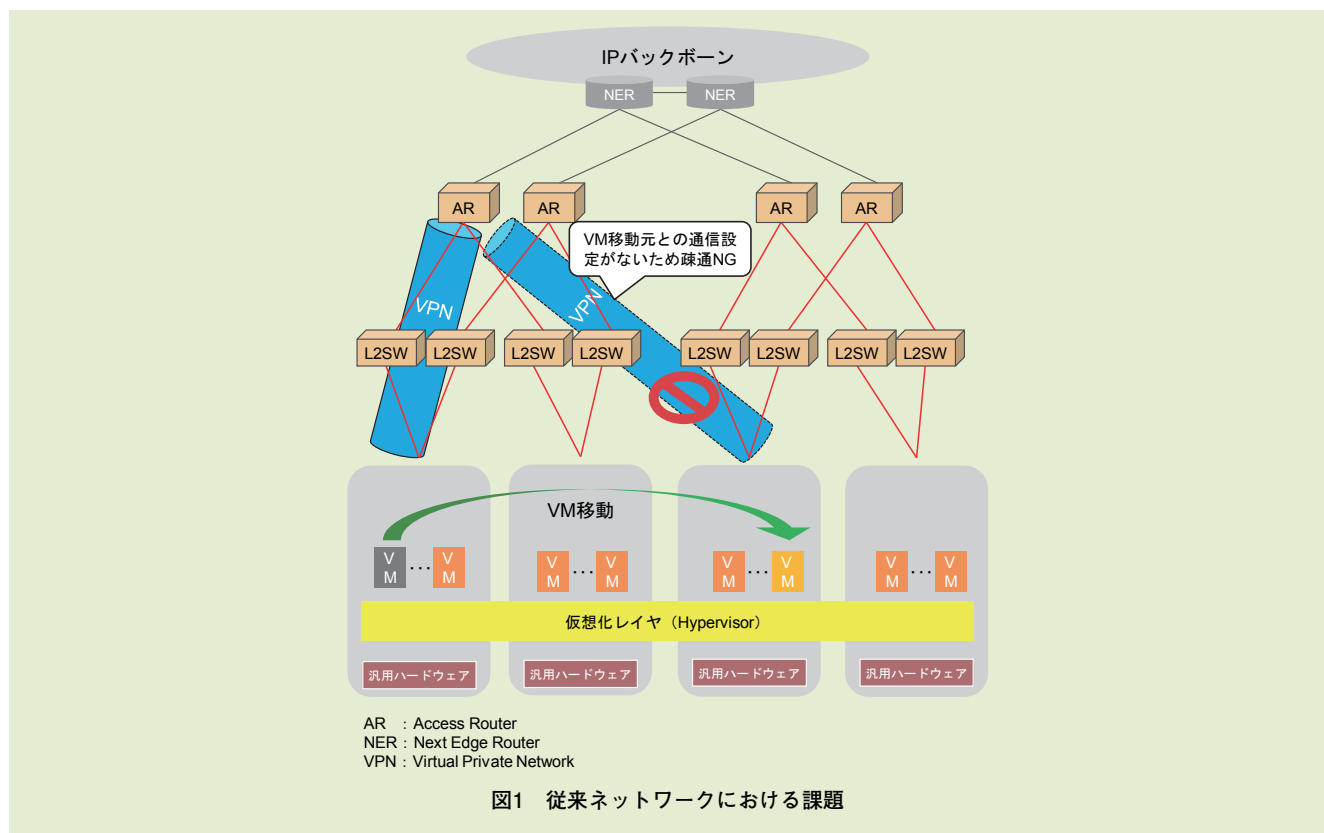


図1 従来ネットワークにおける課題

^{*4} IPアドレス：インターネットやイントラネットなどのIPネットワークに接続されたコンピュータや通信機器1台1台に割り振られた識別番号。

^{*5} MACアドレス：各イーサネットボードに割り振られる、12桁の固有の物理アドレス。

込まれていたルータ・スイッチなどを複数組み合わせで構築していたネットワークのアーキテクチャを見直し、C-Plane（Control-Plane）^{*6}とD-Plane（Data-Plane）^{*7}を分離したものである。C-Planeはソフトウェアによる経路計算機能などを指し、D-Planeはハードウェアによる転送処理機能などを指す。

従来のネットワーク機器の設定は、個別に実施する必要があったが、このアーキテクチャによりSDNコントローラを介して、集中制御が可能となる（図2）。

また、集中制御による全体最適化と、C-PlaneとD-Plane間のインタフェースであるSouthbound IF^{*8}をオープンソースとして規定することでマルチベンダ化を実現し、コスト削減が期待されている。

(2)集中制御型とハイブリッド制御型

SDNアーキテクチャは集中制御型およびハイブリッド制御型に大別される。それぞれのアーキテクチャの特徴と動作イメージを表1、図3に示す。集中制御型は、SDNコントローラが各スイッチから状態を収集し経路計算を行う方式で、ハイブリッド制御型は、SDNコントローラに加えて各スイッチに搭載された分散コントローラを利用してネットワーク制御を行う方式である。

当初の一般的なSDNアーキテクチャは集中制御型中心であったが、最近ではハイブリッド制御型のソリューションが主流となっている。ハイブリッド制御型では、SDNコントローラが転送ポリシーを各スイッチに設定し、その後の経路情報の計算を個々のスイッチで行うためすべての経路をSDNコントローラ

で計算する集中制御型と比較してSDNコントローラの負荷が少ないため拡張性に優位点がある。また、SDNコントローラがダウンした際にも転送および経路計算を継続できる点、ネットワーク内の自律分散制御により高速切替が可能であるという利点がある。そのためドコモでは、ハイブリッド制御型を採用している。

3.2 オーバレイネットワーク技術

前述の、「同一の物理ネットワークに複数の通信ソフトウェアを収容する」という要件を満たすため、オーバレイネットワーク技術を利用する。オーバレイネットワーク技術とは、同一の物理的なL2ネットワーク上に、VLANやVXLAN（Virtual eXtensible LAN）^{*9}などのトンネル技術を適用することで複数の論理的

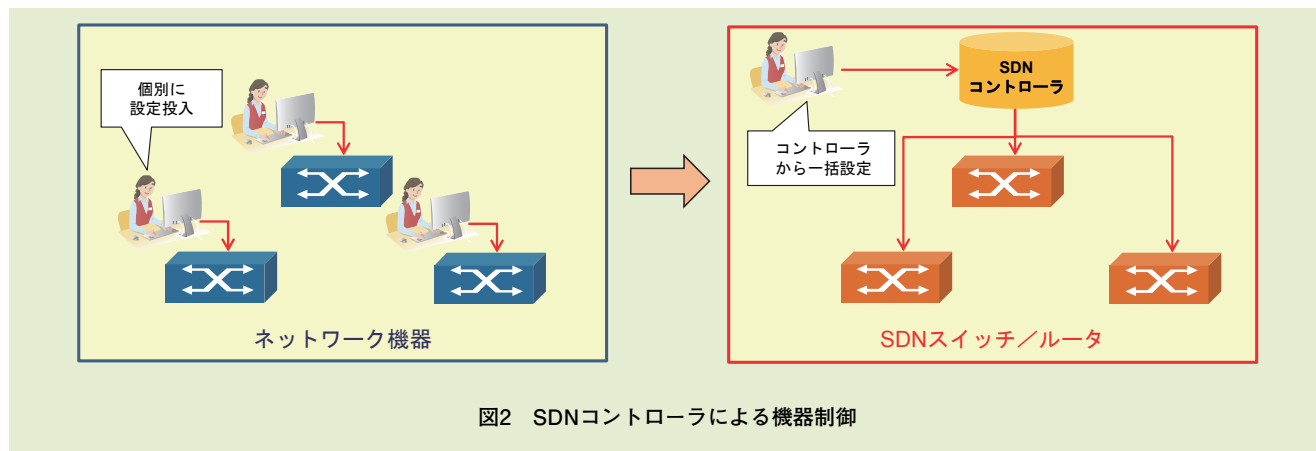


図2 SDNコントローラによる機器制御

表1 SDNアーキテクチャの特徴

	集中制御型	ハイブリッド制御型
C-Plane	SDNコントローラのみで実施	SDNコントローラとスイッチ両方で分担
経路計算	SDNコントローラが各スイッチから状態収集し経路計算	SDNコントローラは転送ポリシーを各スイッチに設定 個々のスイッチが自律的に経路計算
経路切替	経路切替にSDNコントローラ介在	経路切替にSDNコントローラ非介在

^{*6} C-Plane：ネットワークの経路制御機能。

^{*7} D-Plane：データ転送機能。

^{*8} Southbound IF：SDNにおいて、SDNコントローラとそれによって制御されるネットワーク機器を結ぶインタフェース。

^{*9} VXLAN：L3で構成されるネットワーク上に論理的なL2ネットワークを構成するための技術。従来のVLANでは4,094個のL2ネットワークしか構成できなかったのに対し、VXLANでは最大で1677万以上のL2ネットワークを構成することができる。

なL2ネットワークを作成する技術である (図4)。

しかし、従来のオーバーレイネットワーク技術では、ネットワークを構築するすべてのネットワーク機器に対して、論理的なL2ネットワーク

を構成するための設定投入を個別に行う必要があった。そこで今回導入するSDN技術を利用して、論理的なL2ネットワーク機能を構成するためのネットワーク機器への設定を「転送ポリシー」として定義し、SDN

コントローラからそれを設定することで、各ネットワーク機能に必要な設定を一括して行うことが可能となった。

これにより、NFVにおいて汎用ハードウェア上に配置される通信ソ

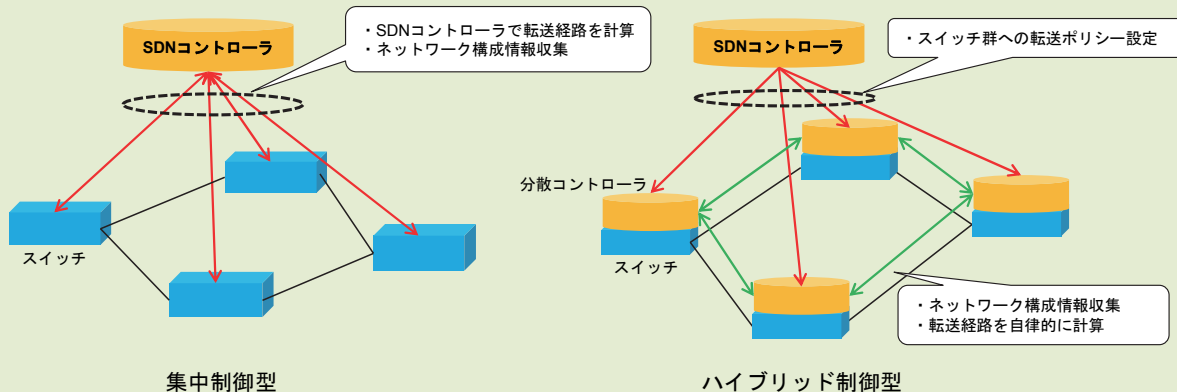


図3 集中制御／ハイブリッド制御型の動作イメージ

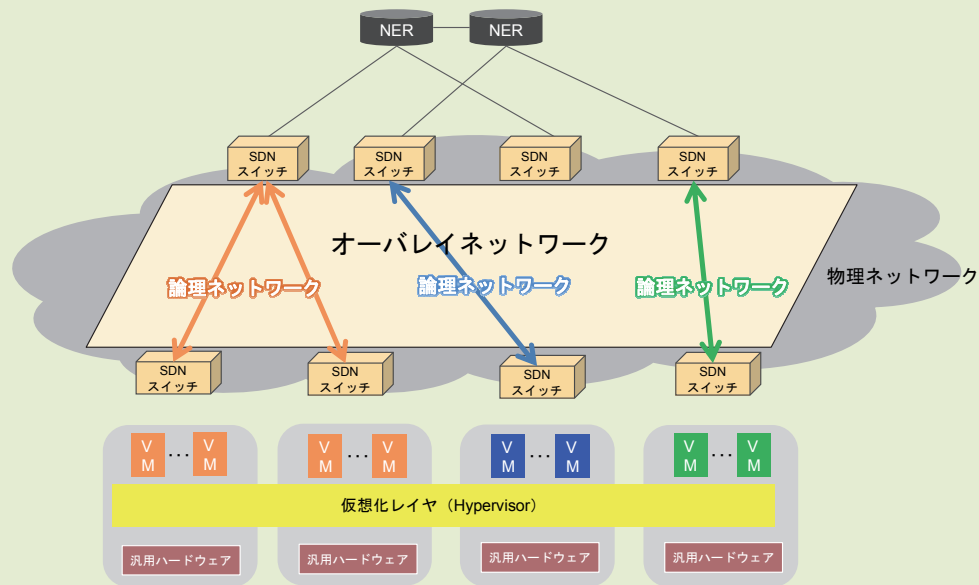


図4 オーバーレイネットワーク

フトウェアを含むVMが別の汎用ハードウェア上に移動しても、SDNコントローラからの一括設定により柔軟な対応が可能である（図5）。

3.3 VM生成／移動への追従

前述の、「VMが生成／移動した際に動的にネットワークパスを切り替える」という要件を満たすため、SDN技術を用いたオーパレイネットワークを、VMの生成／移動を制御するVIM（Virtualised Infrastructure Manager）^{*10}と連携させる。

図6にVIMとSDNコントローラの接続構成を示す。VIM側にSDNコントローラのOpenstack^{*11}ベースのML2プラグインをインストールすることにより、連携のためのNorthbound IF^{*12}を実現している。NFVI

（NFV Infrastructure）^{*13}側のvSW（virtual SWitch）^{*14}設定はSDNコントローラを介さず、VIMが実施する構成となっている。

この連携機能により、VMの移動情報をVIMからSDNコントローラに伝え、動的にネットワークパスを切り替えることが可能となる。以下に、VMの生成／移動、すなわちVMのヒーリング^{*15}／スケーリング^{*16}時におけるVIMとSDNコントローラの連携動作を解説する。

(1)VMのヒーリング／スケーリングへの対応

VMがヒーリング／スケーリングする際にネットワーク側へ求められる要件は、同一IP／MACアドレスを保持したVMの移動に動的に対応することである。それは、モバイル

特有の要件であるセッション^{*17}の保持が必要であるため、VMがヒーリング／スケーリングする際には、同一IP/MACアドレスを保持したVMの移動に動的に対応することが求められる。SDNでは、VIMとSDNコントローラが連携し、VMの生成／移動の通知をSDNコントローラが受けることにより、動的に物理ネットワークの設定を実施する。これにより、VM故障時のVM切替時にもユーザセッションを保持したまま通信が可能となる。

図7に、VM移動に追従してネットワーク上に構成されるL2パスの張替えが行われる様子を示す。図7①の動作に示す通り、VIMからVM移動をNFVIに指示すると同時にvSW側にもL2パスの作成・削除を指示

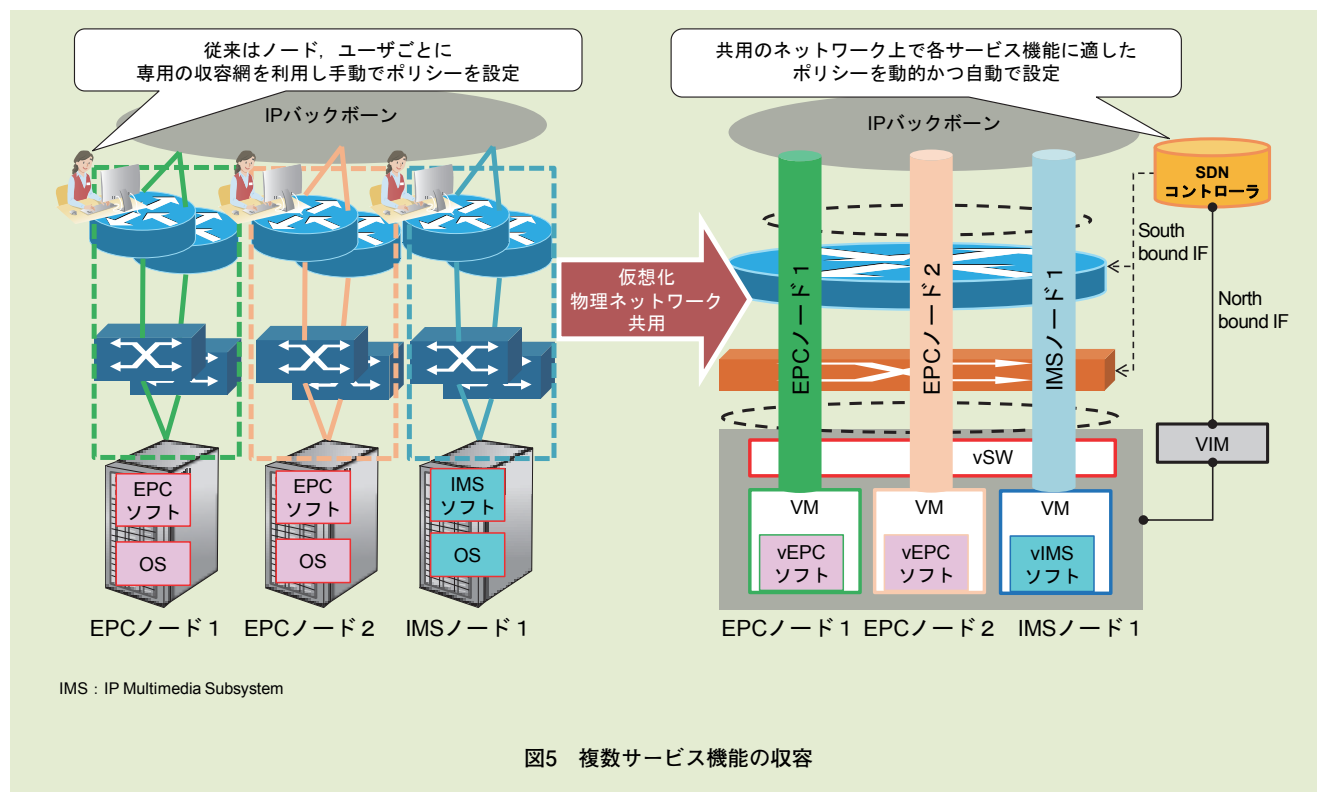


図5 複数サービス機能の収容

^{*10} VIM：NFVI（^{*13}参照）を管理するコンポーネント。

^{*11} Openstack：サーバ仮想化技術を用いて、一台の物理サーバを仮想的に複数のサーバのように動作させ、仮想サーバをユーザが利用するクラウドサービスごとに割り当て

るクラウド基盤のソフトウェア。オープンソースソフトウェアとして提供されている。

^{*12} Northbound IF：SDNにおいて、SDNコントローラとVIMなどの上位ソフトウェアを接続するインターフェース。

^{*13} NFVI：VMを実行するための物理リソース。本稿では、汎用ハードウェアと同義である。

^{*14} vSW：ソフトウェアで実現される仮想スイッチ。

する。vSWはNFVIの物理ポートとVMの仮想ポートを接続する役割を担っているが、VMの移動元となるNFVIではVMとNFVIとの接続が削除され、VMの移動先となるNFVIでは新たにVMとNFVIとのネットワーク接続が作成される。

図7①動作が完了すると、図7②

に示す通りVIMはSDNコントローラ側にL2パスの作成・削除を指示する。SDNコントローラでは、VIMからの指示を受け取ると、図7③に示す通り配下のSDNスイッチに対して設定を投入する。VMの移動元NFVIとSDNスイッチ(1)、およびSDNスイッチ(1)とSDNスイッチ(0)

のL2パスは削除され、VMの移動先NFVIとSDNスイッチ(2)、およびSDNスイッチ(2)とSDNスイッチ(0)間のL2パスが作成される。

図7①～③のプロセスを踏むことで、VM移動前のL2パスは削除され、同時にVM移動後に必要なL2パスは自動生成される。

4. SDNの今後の展望

4.1 WANへのSDN適用

NFVの初期導入では、VMは局舎内の同一LANに存在するハードウェア上を移動することを適用領域とする。今後、災害時などのリカバリや局舎をまたいだリソース共有など、WAN設定変更を伴う建局、増減設の工期短縮を目的とし、局舎間を接続するWANをまたいだVM移動も想定している（図8）。そのためには、下記のような検討を行う必要がある。

①WIM（WAN Infrastructure Manager）^{*18}とNFVO（NFV Orches-

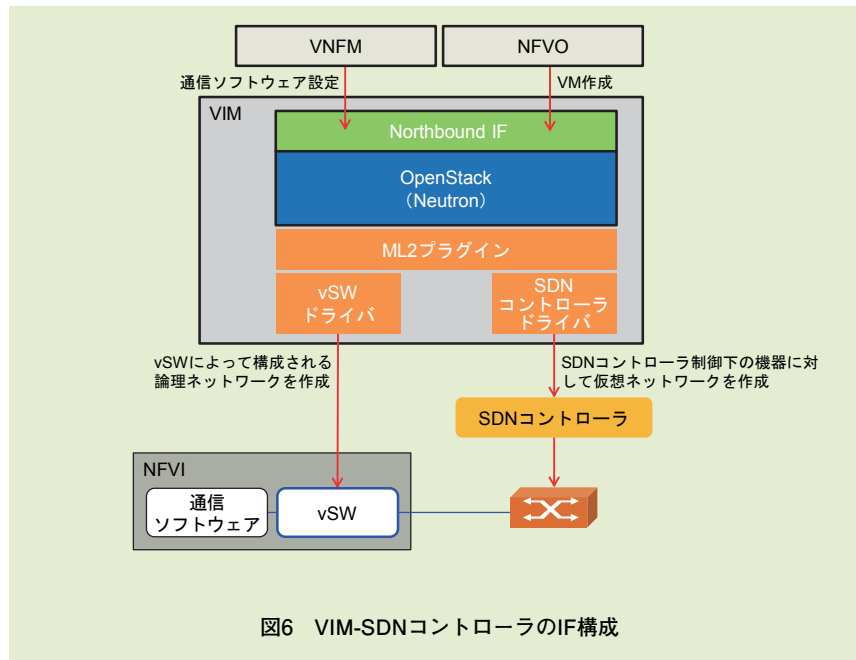


図6 VIM-SDNコントローラのIF構成

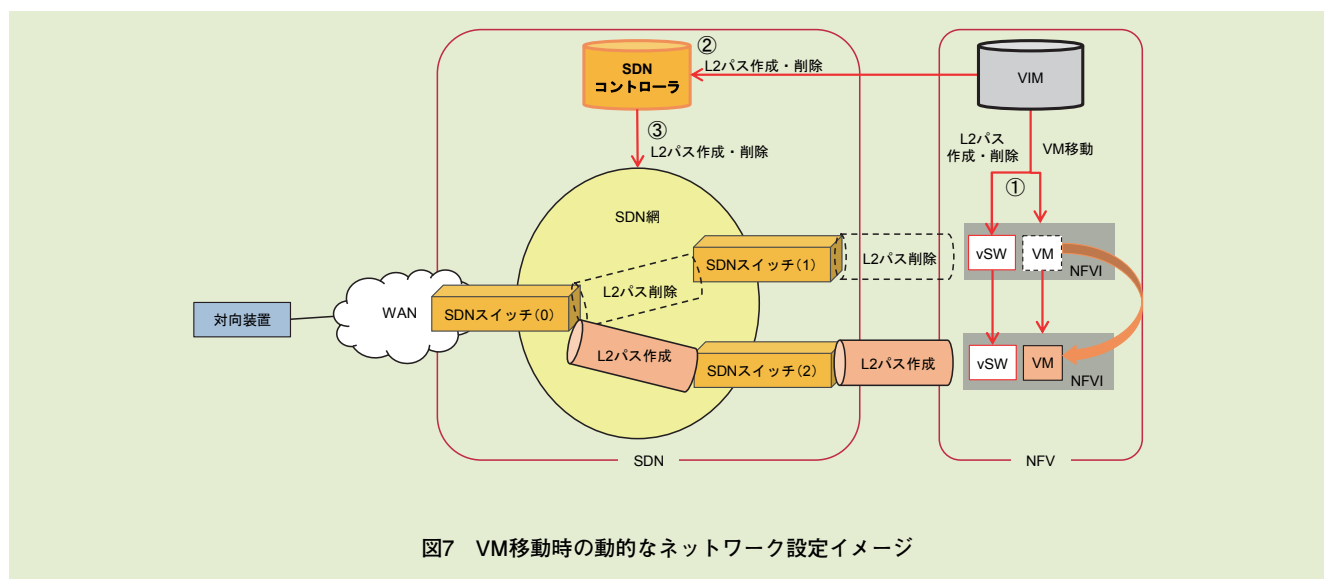


図7 VM移動時の動的なネットワーク設定イメージ

*15 ヒーリング：ハードウェア障害や仮想マシン障害が発生した際に、正常なハードウェア上に仮想マシンを移動、または再作成することで通信ソフトウェアとして正常な状態に復旧する手続き。

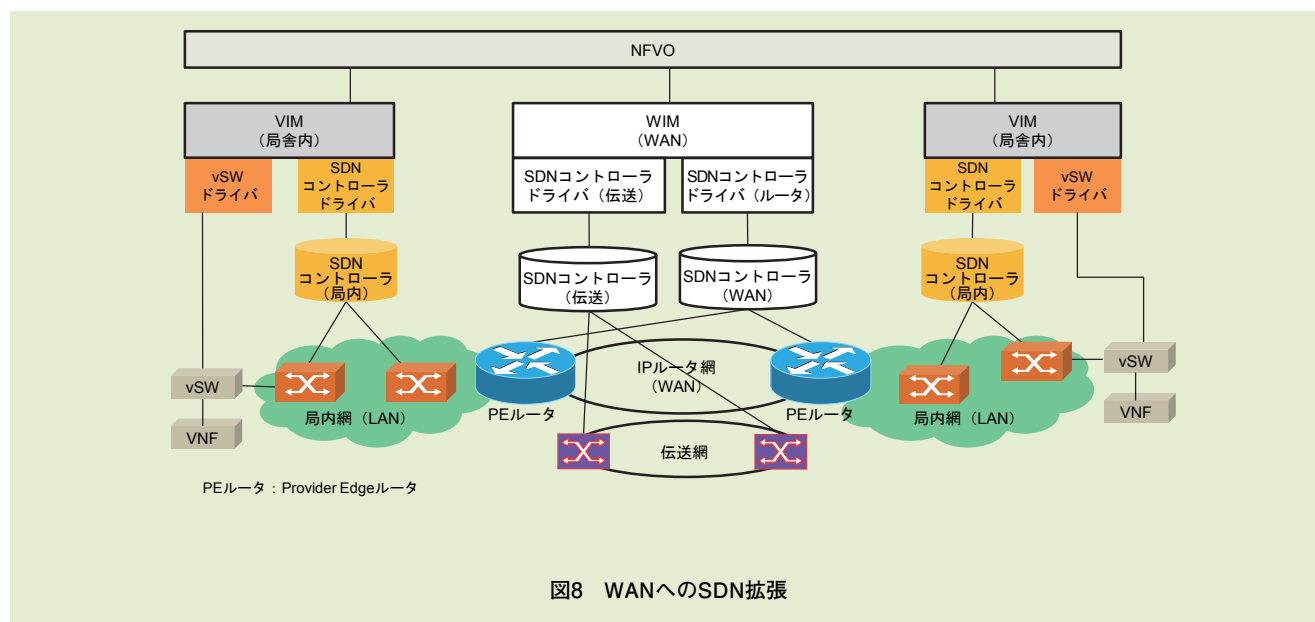
*16 スケーリング：ハードウェアやVMの負荷

状況に応じて通信ソフトウェアとしての処理能力が不足、あるいは余剰になった際に、通信ソフトウェアを構成するVMを増減することにより処理能力を最適化すること。

*17 セッション：データのやり取りを行うため

の仮想的な通信路、またはそのやり取りそのもの。

*18 WIM：WANをまたいでNFVIもしくはVIMを管理するコンポーネント。



trator)^{*19}およびVIMとNFVO間の連携

- ②VIM・WIMのプラグイン構造を活用したVIM/WIM下部のルータ装置と光伝送装置の連携

5. あとがき

本稿では、NFVをドコモネットワークに導入するにあたり、ネットワークに求められる要件およびその

実現方法であるSDNについて解説し、また、SDNの今後の展望について紹介した。

本SDN技術は、2016年3月に商用導入されたvEPC（virtualised Evolved Packet Core）^{*20}を収容するネットワークとして導入された[1]。

NFVを実現するためにはSDNは必要不可欠な技術であり、さらなる仮想化技術の発展が想定される中、

同様にSDNの発展も不可欠である。今後も、最新の技術動向を注視しつつ、より柔軟で高度なネットワークの開発を進めていく。

文 献

- [1] 鎌田，ほか：「ドコモネットワークにおける仮想化基盤システムの実用化，」本誌，Vol.24，No.1，pp.20-27，Apr. 2016.

^{*19} NFVO：各種通信ソフトウェアの生成から削除までの管理を行い、システム全体の運用管理を行うためのコンポーネント。

^{*20} vEPC：EPCはLTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのコアネットワークであり、EPCをVMとして機能するように提供された通信ソフトウェア。