プログラマブルフローによるクラウドネットワーク

西原 基夫・岩田 淳・尹 秀薫
渡辺 裕之・飯島 明夫・加納 敏行

要　旨

クラウドコンピューティングの構築・運用のためには、コンピュータリソースだけにとどまらず、新たに“ネットワークの仮想化”や“プログラマビリティの向上”といったネットワークリソースを利活用する技術の強化と、コンピュータ技術との連携が必須になります。プログラマブルフローによりネットワークとITが連携して、より柔軟かつ低コストな、革新的なクラウド指向型データセンターが実現します。更にデータセンター構築後も、新規機能追加や規模拡大の必要に応じて、継続的にシステムを発展させることが可能になります。

キーワード

●OpenFlow ●ネットワーク仮想化 ●プログラマビリティ ●フロントエンド ●VMマイグレーション ●データセンター ●マルチテナント ●サービス拡張 ●リソース運用管理 ●省電力

1. まえがき

クラウドコンピューティングのサービス提供者は、突然の高負荷や利用者の増減に対応したシームレスなサービス拡張や変更、利用者に負担のない機能修正や機能追加、負荷に応じたデータセンターのICTリソースの柔軟な電力制御などを実現する必要があります。

このような要求に対応するためには、サーバ仮想化技術と、それに連動した新たなネットワーク技術が必要になります。

本稿では、こうしたクラウド時代におけるデータセンターの構築・運用を効率的に行う仕組みと、NECが提案するOpenFlowをベースとした新たなソリューションであるプログラマブルフローについて紹介します。

2. データセンターの課題

現在のデータセンターでは、帯域制御装置やファイアウォール（FW）、ロードバランサ（LB）をL2スイッチなどで多段に接続した複雑な構成により、サービスを提供しています。新たなサーバやユーザの追加の際には、各機器に個別に設定変更が必要となり、サーバの稼働効率/省電力化などを実施するために仮想サーバ（VM）を動的に移動する必要があります。マルチテナント環境の状況になると、更に運用管理が煩雑化し、各テナントに合わせた動的なサービスプロビジョニングの提供が求められます（**図1**）。

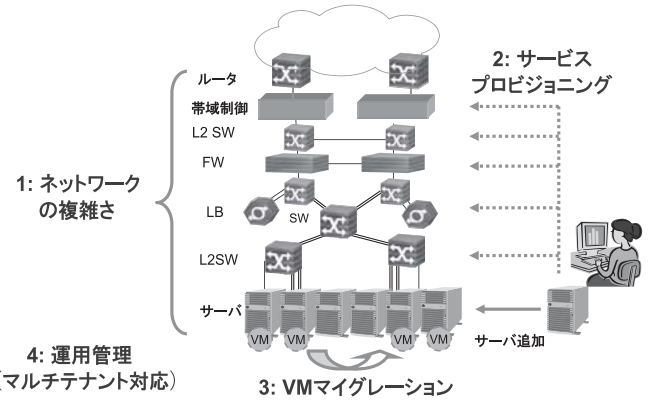

図1　データセンターの課題

OpenFlow技術は、このように複雑化した現在のデータセンターネットワークの諸課題を解決することができるクラウド指向型データセンターの基盤となる技術です。

3. OpenFlow技術

現在のインターネットは、端末とホスト間のEnd-to-End通信プロトコルであるTCP/IPプロトコルを基本に設計されてい

ます。また、その端末とホスト間のIPトラフィックを転送するルータやスイッチは、RIP/OSPF/BGPなどのダイナミックルーティングプロトコルによりノード間でトポロジー情報や経路情報をやり取りし、パケットの転送経路を判断して転送を行う自律・分散制御アーキテクチャにより構成されています。

OpenFlow技術は、これまでのルータ/スイッチのような垂直統合により複雑化したデータプレーン、コントロールプレーンを分離し、ネットワーク機能に対するプログラマビリティを向上させます。OpenFlow[1]は、通信を“フロー”として識別し、フロー単位で通信経路を制御する、新しいアーキテクチャです。

実際のスイッチにフロー技術を適用する場合は、通信フロー単位にパケットの転送経路や転送方法などを記述したフローテーブルに従ってパケット転送を行うスイッチノード（OpenFlow Switch）と、経路計算やノード制御機能を司り、スイッチに対し上記フローテーブルの設定やノード制御を行う経路制御部（OpenFlow Controller）の2つの基本コンポーネントに分離し実現します。

4. プログラマブルフローの特徴と動作

前節のOpenFlow技術をベースとした新たなソリューションとして提案するのがプログラマブルフローです。従来のスイッチやルータは、受信したパケットの宛先MACアドレスや宛先IPアドレスを参照してパケットを転送します。またレイヤ2スイッチングの場合は自律的に学習したMACアドレスの経路テーブルに、IPルーティングの場合は隣接ルータなどから学習したIPルーティングテーブルに基づき経路を決定してパケットの転送を行います。そのため、一般的にパケットの転送経路を外部からコントロールすることが難しく、ネットワーク全体の最適化や省電力などの目的に合わせたネットワークの構成変更は困難でした。

プログラマブルフローは、パケットの転送制御にフローと呼ばれるMACアドレス、IPアドレス、ポート番号などの送信元及び宛先アドレスの組み合わせを使い、ユーザ単位、アプリケーション単位のきめ細かな転送制御や監視を可能とします。経路制御情報を管理するサーバ（OpenFlow Controller）を、パケットを転送するスイッチノード（OpenFlow Switch）と独立させて動作させるため、経路制御情報を管理するサーバからネットワーク全体のトラフィック転送経路をきめ細かに制御することが可能になります。プログラマブルフローの動作概要とフロースイッチングの概念を**図2**に示します。

スイッチはパケットを受信すると転送先経路を調べるために内部に記録されたフローテーブルを検索し、合致したフローテーブルが見つかれば、そのルールに従ってパケットを転送します。フローテーブルがない場合は、サーバに新たに経路を問い合わせ、サーバからの回答に従いフローテーブルを設定し、パケットの転送を行います。また、サーバは上位/外部アプリケーションと連携し、スイッチのフローテーブルを変更することにより、トラフィックの経路を自由に変更できるようになります。

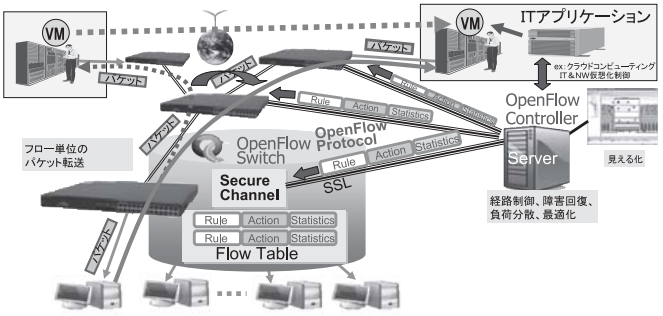

図2　プログラマブルフローの動作概要

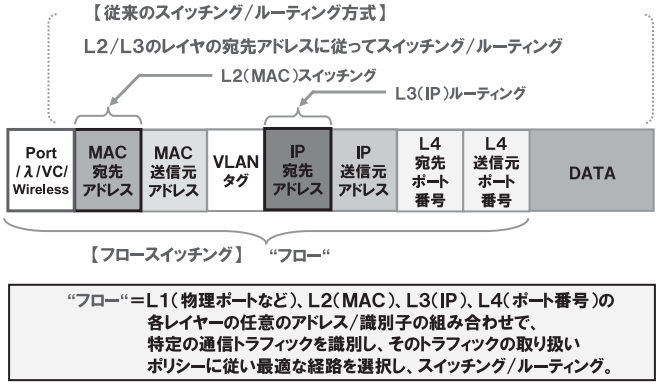

図3　フロー定義

[1] 米国Stanford大学が中心となり設立したコンソーシアム。OpenFlowに使われるAPIなどのインタフェースを規格化。

図2では、OpenFlow Controllerが上位のサーバ仮想化アプリケーションと連携し、仮想化マシンの上で動作するアプリケーションのデータセンター間の移動に伴い、ネットワーク上のパケット転送経路を切り替える例を示しています。また**図3**にフロー定義を示します。

プログラマブルフローにより、上位アプリケーションと連携してネットワーク経路をコントロールするなど、ITとネットワークの最適な連携処理が可能になります。

5. クラウドデータセンターの改善

クラウドコンピューティングのデータセンターにおいて、突然の高負荷や利用者の増減に対応したシームレスなサービス拡張・変更機能、複数ユーザを収容するためのマルチテナント機能、負荷に応じたデータセンターのICTリソースの柔軟な電力制御機能、利用者に負担のない機能修正や機能拡張機能などが必要になります。プログラマブルフローはこれらの課題を解決することができます。

次にプログラマブルフローによる、代表的なクラウドデータセンター向けソリューションを紹介します。

(1) データセンターの見える化、運用性の向上

プログラマブルフローを使うことによりデータセンターを構成するサーバやネットワーク資源の“見える化”が進み、システム全体の稼働率が向上します。

これまで手間がかかっていた顧客ごとのVLAN設定などがきめ細かく容易にできるようになります。また、フロースイッチング技術により、各トラフィック種別や通信サービス種別に応じ、ユーザ単位、アプリケーション単位といった最適なトラフィック転送制御や監視制御が可能になります（**図4**）。

(2) ダイナミックリソース運用管理機能

図5は現在のデータセンターのネットワーク構成例です。現在のデータセンターのネットワークは、帯域制御装置やファイアウォール（FW）、ロードバランサ（LB）をL2スイッチなどで多段に接続した複雑な構成になっており、新たにサーバやユーザの追加を行う際には、各機器に個別に設定変更、ネットワーク構成の見直しを行う必要があり、運用管理が非常に複雑になっています。

一方、**図6**はプログラマブルフローをデータセンターに適用した場合の構成例です。プログラマブルフロースイッチのネットワークプールと、ユーザアプリケーションソフトウェアやFWなどのネットワークアプライアンスソフトウェアを搭載するサーバプールから構成されています。

アプリケーションサーバとアプリケーションソフトウェアの対応、ユーザ及びサーバ間の通信トラフィックの転送パス制御を経路制御サーバから一括制御することにより、ユーザ追加や負荷変動に対応し、動的にリソース/構成変更可能なデータセンターの構成が可能になります。

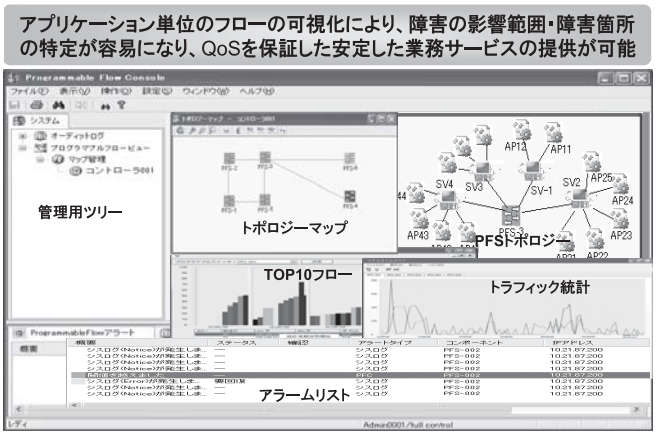

図4　フローの可視化

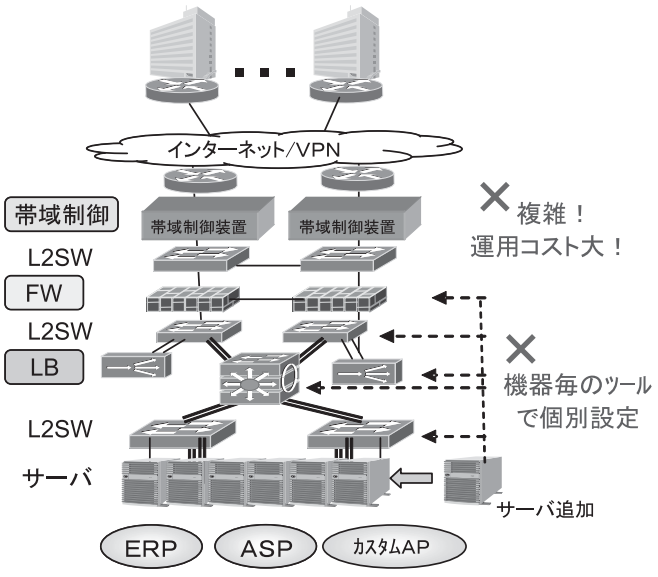

図5　現在のデータセンター構成

(3) マルチ仮想化テナント機能

スイッチのネットワーク仮想化技術 （Virtual Switch Instance：VSI） 、経路制御サーバでのIT/NWリソース仮想化管理を適用することにより、複数テナントユーザの収容の際にも、サーバのラック収容位置に制約されずにリソース提供することができます。この機能によりトポロジーフリー、動的リソース設計、かつ拡張性に優れたマルチテナント対応のクラウドデータセンターの構築が可能です（**図7**）。

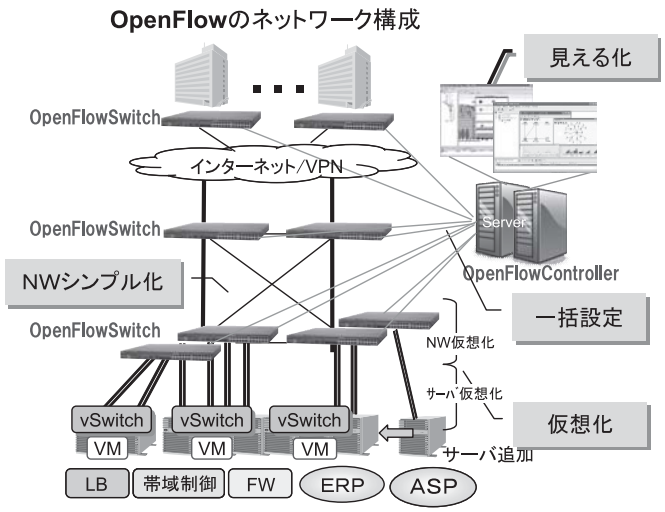

図6　プログラマブルフローによる次世代データセンター構成

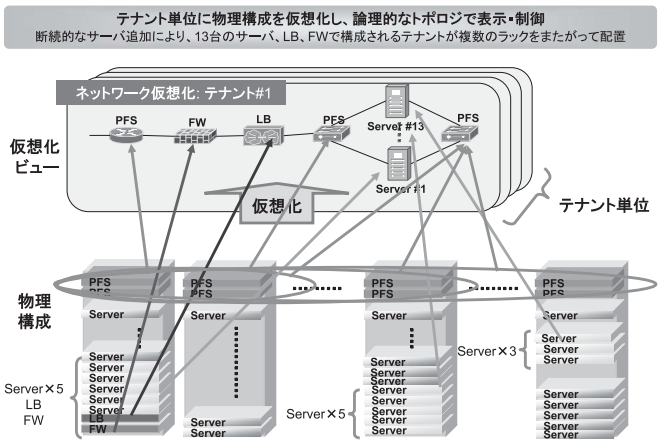

図7　マルチ仮想化テナント機能

(4) 省電力、ノンストップファイル更新機能

サーバ仮想化により、サーバ上アプリケーションのサービスを中断せずにサーバ間を移動させる技術 （Virtual Machine Migration技術）と通信を維持したままトラフィック経路を切り替えるプログラマブルフロースイッチの経路変更技術とを組み合わせたライブマイグレーションにより、より高度な動的リソース変更が可能になります（**図8**）。

トラフィックやサーバの処理負荷に応じて、仮想化マシン上のアプリケーションや通信フローを片寄せし、利用率が低いサーバやネットワーク機器を集約し電源を落とすことにより、省電力化制御が可能になります。また、同技術によりサーバやネットワーク機器のパッチ適用や機器交換などもサービスを中断せずに継続することが可能になり、運用管理コストの大幅削減を図ることができます（**図9**）。

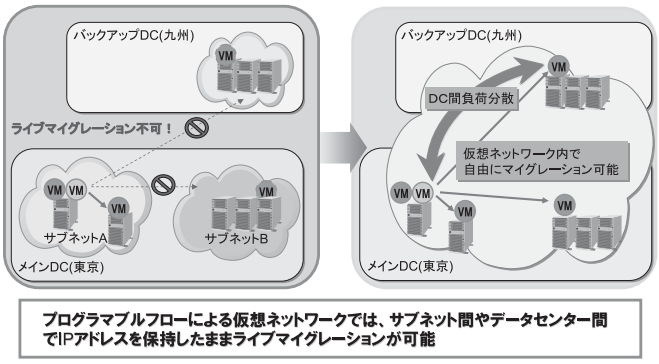

図8　ライブマイグレーション

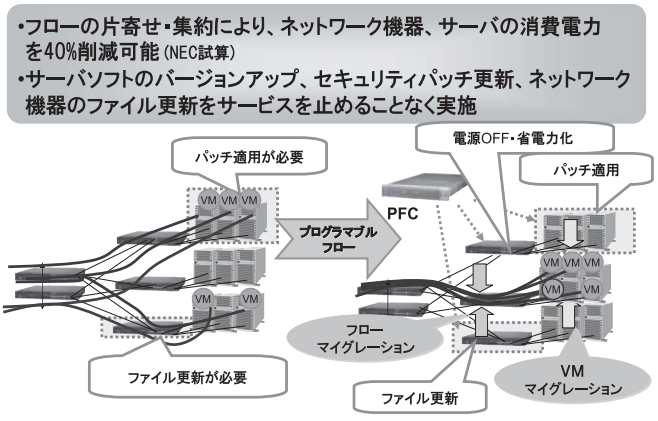

図9　省電力、ノンストップファイル更新機能

6. おわりに

次世代インターネット技術は、クラウドコンピューティング向けインフラストラクチャ技術として更なる発展に貢献することができると考えています。NECでは、これまで培ってきたネットワーク技術にOpenFlow技術を適用し発展させることで、IT技術とネットワーク技術を融合させ、“クラウドデータセンター”の高度化に取り組んでいく予定です。

なお、本研究の一部は、総務省の委託研究「セキュアクラウドネットワーキング技術の研究開発」プロジェクトの成果です。

執筆者プロフィール

西原 基夫
中央研究所
システムIPコア研究所
統括マネージャー

岩田 淳
ネットワークプラットフォーム事業本部
IPネットワーク事業部
シニアエキスパート

尹 秀憲
ITソフトウェア事業本部
第一ITソフトウェア事業部
シニアエキスパート

渡辺 裕之
ネットワークプラットフォーム事業本部
ネットワークプラットフォーム開発本部
本部長

飯島 明夫
ネットワークプラットフォーム事業本部
IPネットワーク事業部
統括マネージャー

加納 敏行
中央研究所
システムプラットフォーム研究所
所長