

解説

# OpenFlow 技術の概要

次世代のネットワークのプラットフォーム技術の1つとして、Stanford 大学および他の日米欧の大学・企業のコミュニティから OpenFlow 技術が提唱され、徐々に研究利用が拡大しつつある。本技術はネットワークノードを動的に外部制御するための制御インタフェースであり、サーバとネットワークの運用統合や融合ソリューションを実現する主要技術の1つである。本インタフェースを介して、ICT サービス側、アプリケーション側がネットワークを自由にコントロールすることができるようになる。本稿では特に OpenFlow 技術の概要と、データセンタネットワークへの適用例について紹介する。

西原基夫

(NEC システム IP コア研究所)

岩田 淳

(NEC モバイルネットワーク事業本部 IPネットワーク事業部)

矢野由紀子

(NEC システムプラットフォーム研究所)

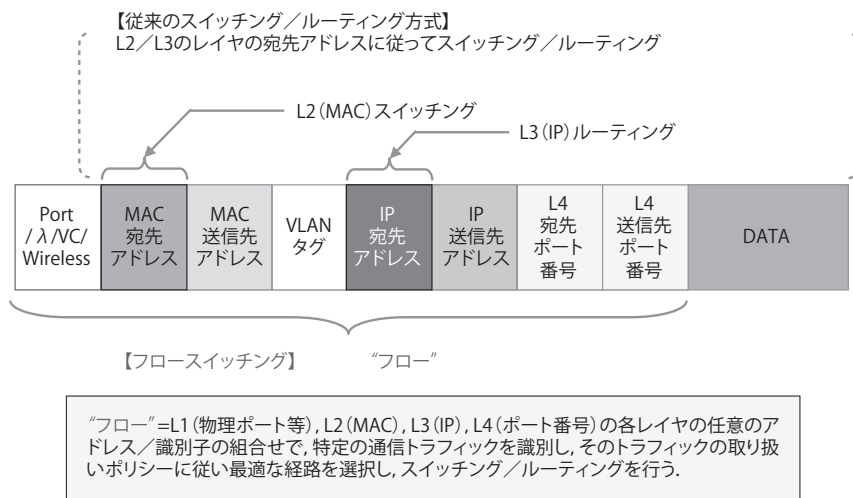
## 新しいネットワーク基盤研究の進展

インターネットが登場し商用解放されて以来、インターネットは ICT システムの基盤へと目覚ましい発展を遂げた。当初想定されていたようなコンピュータ間の通信 (Web サービス等) として用いられるだけでなく、音声通信や映像配信などにも用いられ、さまざまな技術がインターネット技術上を実現されている。たとえば、品質制御、モビリティ技術、セキュリティ技術、トレーサビリティ技術などがある。一方、技術発展の常として、レイヤ構造の複雑化、システムの構造・維持・管理のコストの増加、ネットワークへの新機能・新サービスの追加が困難性等の課題に対する指摘も生まれている<sup>1)</sup>。

このような現状の課題の改善と、さらなるイノベーションの活性化を狙って、米国の NSF FIND や GENI での議論、欧州 FP7 での議論、日本での新世代ネットワークの議論や仮想化ノードの取り組みが活発化してきた<sup>1)~4)</sup>。また、そこで生まれる新しい技術を大規模に実証するための環境としての大規模テストベッドが構築・運用され始めている<sup>4)</sup>。

このような新しいネットワーク研究の1つとして、本稿では OpenFlow 技術<sup>5)</sup>、<sup>☆1</sup>を紹介する。OpenFlow は、スイッチやルータなどのネットワークノードのデータプレーンとコントロールプレーンを分離したアーキテクチャである。従来のルータやスイッチにおいて、データプレーンは通信パケット

<sup>☆1</sup> OpenFlow Switch Consortium, 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, <http://www.openflowswitch.org/>



Copyright (c) NEC Corporation 2009. All rights reserved.

図-1 フローの定義

が転送される処理系であり、大容量処理、高速処理が要求されるため、主にハードウェア技術にて実装される場合が多い。一方コントロールプレーンは、適正な通信経路データベースを分散处理的に構築するといった高度な制御機能に該当し、ネットワークノード内のプロセッサとソフトウェア処理により実装されている。

OpenFlow 技術では、ネットワークノードは従来のコントロールプレーンを持たず、分離されたコントローラがネットワークノードを制御する。また、コントローラはノードに対して“フロー”を単位として制御を指示し、任意の粒度・任意のレイヤでフローを扱えることから、ネットワークノードの挙動を柔軟かつ自由にプログラムできるという特徴がある。

## OpenFlow におけるフローの概念

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る。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 等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情報や経路情報をやりとりし、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

成されている。

従来のルータ／スイッチは、前述したデータプレーン、コントロールプレーンが垂直統合的に一体化したアーキテクチャを構成している。垂直統合である以上、ベンダ独自のシステム構成となる。OpenFlow 技術は、これまでのルータ／スイッチのような垂直統合化されたデータプレーン、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る技術で、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ある。詳細な規格は OpenFlow スイッチコンソーシアム<sup>5)</sup>において策定が進められている。

図-1 はフローの概念をパケットヘッダを元に説明した図である。パケットヘッダは図-1 に示すように、レイヤ2の情報、レイヤ3の情報、レイヤ4の情報等を有しており、その任意の組合せをフローと定義することにより、MAC スイッチ転送、IP スイッチ転送、あるサブネットからサブネットへの集約されたフロー、あるソースから発生するすべてのトラフィックフロー等、あらゆるトラフィックの流れを概念的に“フロー”として定義することが可能になる。

従来のルータ、スイッチは、固定的にレイヤ2、レイヤ3に該当するパケットヘッダのアドレス情報や、VLAN タグ等の情報に基づいて転送先を決めて

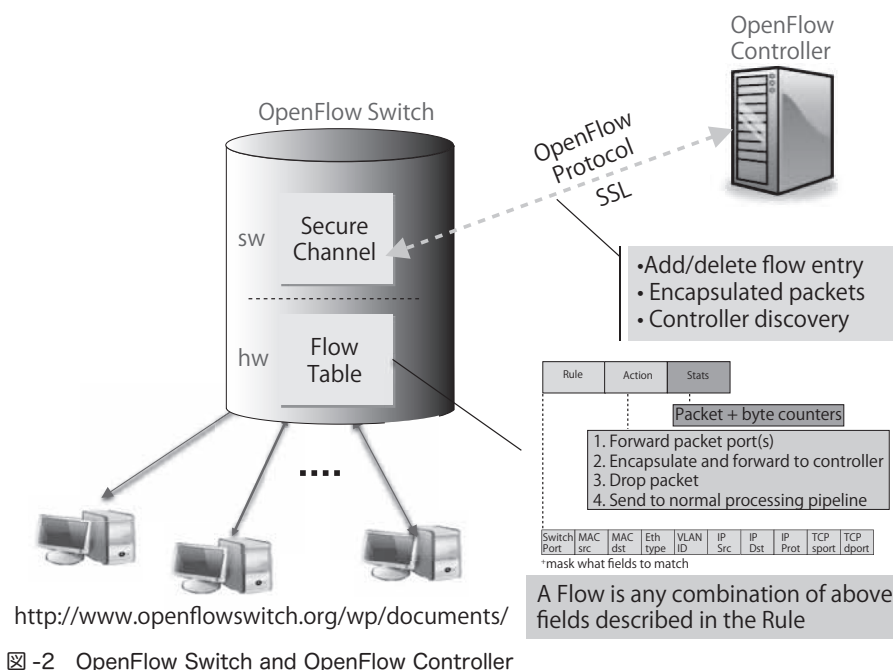


図-2 OpenFlow Switch and OpenFlow Controller

いるが、OpenFlow ではレイヤ 1 (物理ポート、波長等)、レイヤ 2、レイヤ 3、レイヤ 4 等の任意の自由な組合せをフローと定義し、フローにより通信トラフィックを識別し、そのトラフィックの取り扱いポリシーに従い最適な経路設定や転送処理を行う。これにより、ある状況では IP スイッチングを行い、ある状況では MAC スイッチングを行い、また別の状況ではセキュリティフィルタリングを行うといった、システム全体の要件に合わせた柔軟な運用が可能になる。

ネットワークをこのような“フロー”として捉え、またそのフローの操作を Open な API として定義し、自由なコントロールを許可している点が従来の通信規定の考え方と大きく異なる。また既存のパケットスイッチも ACL 等のセキュリティの目的でフロースイッチの仕組みの一部を有しているので、OpenFlow は、既存のパケットスイッチのアーキテクチャをうまく利用しつつ発展させることが可能である。

## OpenFlow Switch と OpenFlow Controller

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等

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つかさどり、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する。

図-2 が OpenFlow Switch の基本モデルである。OpenFlow Switch は、パケット転送を高速に行うハードウェア部分と、外部のコントローラと経路情報通知等の通信を行うソフトウェア部分から構成される。ハードウェア部分は、パケットを高速に転送するために必要とされるパケットスイッチファブリックとフローテーブルを有している。また図-2 に示すように、OpenFlow Switch の外部に OpenFlow Controller があり、ルーティング等は Controller で判断され、OpenFlow Switch には、スイッチ転送に必要な情報のみが OpenFlow Protocol を介して設定される。また OpenFlow ネットワークでは、経路制御情報を管理するサーバ (OpenFlow Controller) と、パケットを転送するスイッチノード (OpenFlow Switch) は独立して動作し、Controller は、ネットワーク全体のトラフィック転送経路をきめ細やかに制御することが可能になる。なお図-2 では Switch 1

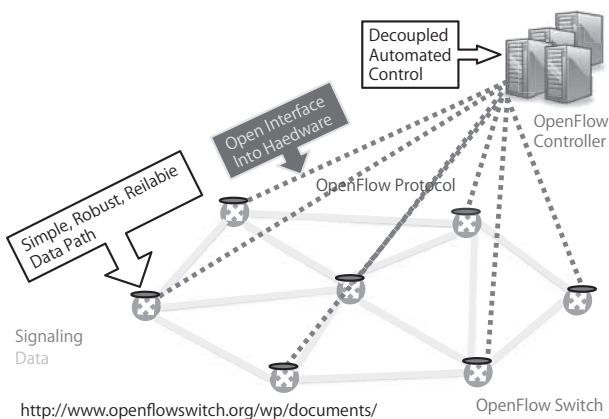


図-3 OpenFlow の動作概要

台に Controller 1 台の構成であるが、実際には 1 台の Controller が複数の Switch を制御する構成になる。

図-3 に、OpenFlow の動作概要を示す。OpenFlow Switch 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ければ、そのルールに従ってパケットを転送する。フローテーブルがない場合は、OpenFlow Controller に新たに経路を問い合わせ、OpenFlow Controller 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う。また、OpenFlow Controller は上位の外部アプリケーションと連携し、OpenFlow Switch 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る。

OpenFlow Controller と OpenFlow Switch 間の制御チャンネルのトラフィックに着目すると、新しくトラフィックが発生したときのみ問い合わせが発生し、OpenFlow Switch 側にフローに関する知識が蓄積するにつれて、問い合わせの頻度も少なくなる。したがって、比較的少ない OpenFlow Controller で、ある程度大きなネットワークの制御が可能であることは、GENI や Campus ネットワーク等の実際のネットワークの運用実績からも報告されている。また OpenFlow Controller 自体のロバスト性や性能スケールアウトに関しても、新しいネットワーク研究と

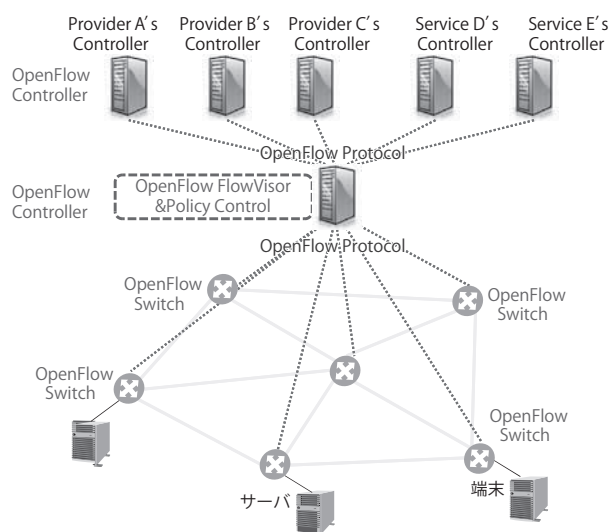


図-4 OpenFlow FlowVisor による多元的なネットワーク利用

コンピューティング技術の組合せによる検討が進んでいる。

OpenFlow の定義する API は、図-3 の OpenFlow Controller と OpenFlow Switch 間のインタフェースで、OpenFlow Controller 側のコントローラソフトウェアの作りには一切関与しない。つまり、ネットワークプロバイダは自由に自分のネットワーク制御に最適なソフトウェアを構築することが可能になる。

## 多元的なネットワーク利用

OpenFlow 技術は自由な研究プラットフォームの構築を目的として検討されてきた経緯もあり、共通のネットワークを仮想的に多元的に利用する場合の仕組みを有している。

図-4 に示すように、サービスプロバイダ A, B, C がそれぞれ異なる OpenFlow Controller を有しネットワークインフラを共用する。さらには、サービス D, E 等のサービス単位に OpenFlow Controller を定義して、ネットワークインフラを共用するケースも考えられる。このような利用を実現するために、OpenFlow では OpenFlow FlowVisor & Policy Control という機能を中継者として定義する案が考えられている。OpenFlow FlowVisor & Policy Control は、語義の通り、ある運用ポリシーのもとに、フローで

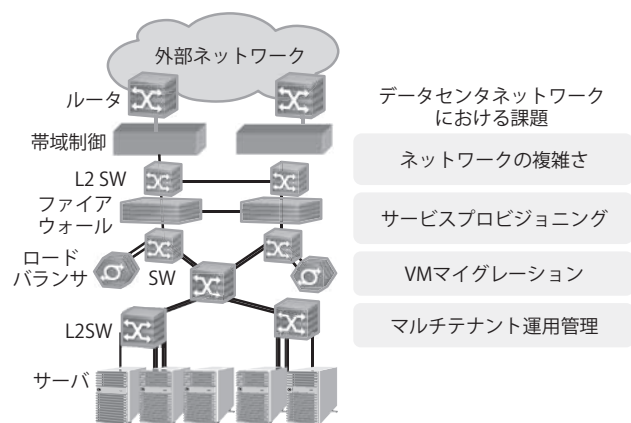


図-5 複雑なデータセンタのネットワーク構造

定義されるネットワークリソース全体を監督する役目を実行する。この監督下において、各プロバイダ、各サービスの自由な OpenFlow Controller の実装を許容する。OpenFlow コンソーシアムにおいて、OSS (Open Source Software) 版の OpenFlow FlowVisor が公開されている。

また OpenFlow FlowVisor & Policy Control は機能であり、実際の実装構成を特定するものではない。図-4 は OpenFlow FlowVisor & Policy Control の実装例であり、OpenFlow Controller を多段とし、1 段目は OpenFlow FlowVisor を実行し、2 段目の OpenFlow Controller が各プロバイダおよび各機能単位のフロー管理/設定を行う。Policy Control 機能に関しては、OpenFlow Controller と OpenFlow Switch で機能分担を行う。

## データセンタネットワークへの OpenFlow 技術適用

現在のデータセンタでは、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 スイッチ等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る。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/省電力化等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る。マルチ

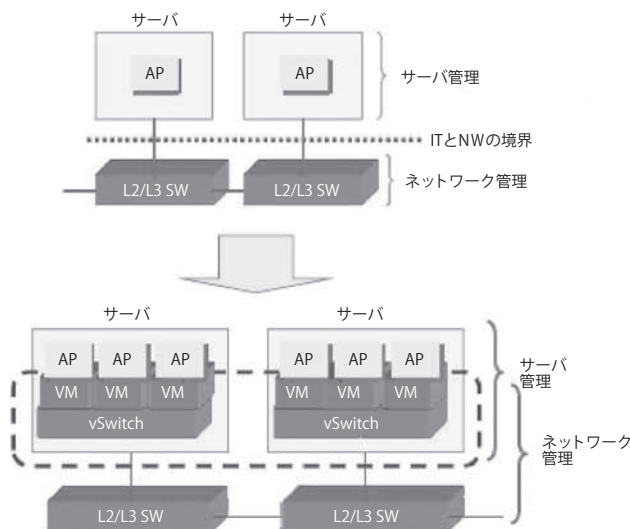


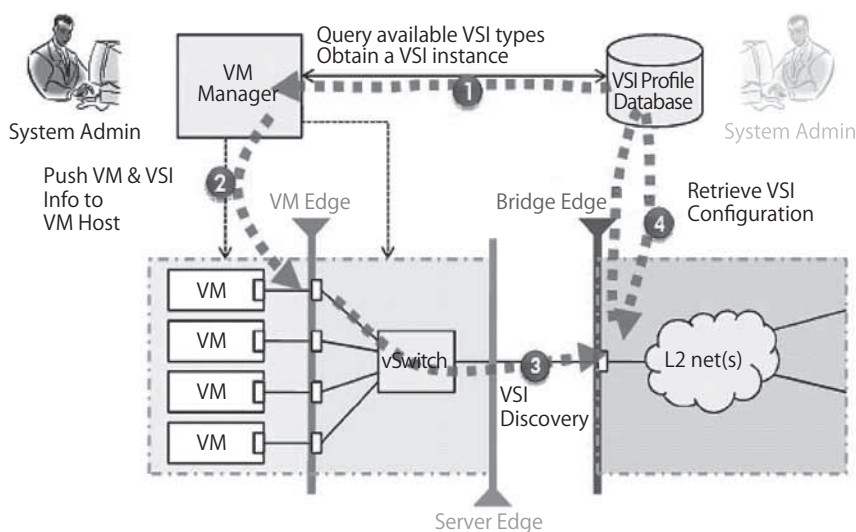
図-6 vSwitch 技術の台頭と IT/ネットワーク領域の変化

テナント環境の状況になると、さらに運用管理が煩雑になり、各テナントにあわせたサービスプロビジョニングの提供が困難になる。図-5 は、現状のデータセンタネットワークのモデルと課題を記載した図である。

また図-6 に示すように、プロセッサのマルチコア/メニコアへの進化に伴い、複数の VM (Virtual Machine) が 1 台のサーバ上で動作するようになった。これに伴い、サーバ内において VM 間のスイッチ処理を行う仮想スイッチ (vSwitch: Virtual Switch) が必要となる。

さらに負荷調整や省電力化等のシステム全体の最適化に合わせて、VM 自身が異なるサーバに動的に移動する運用も増えつつある。仮想スイッチ (vSwitch) と VM 移動の運用導入が行われると、外部のネットワーク機器だけを管理しても、ネットワークトポロジの全体を把握することは困難であり、図-7 に示すように、従来は独立に行われていたサーバ側の管理とネットワーク機器の管理を、連携させる必要がある。

OpenFlow 技術は、上記のように複雑化した現在のデータセンタネットワークの諸課題の解決にも有効である。以下に、OpenFlow 技術を利用することによりどのようなメリットがあるかを説明する。



<http://www.ieee802.org/1/files/public/docs2010/evb-hudson-tlvooverview-0110-v09.pdf>

図-7 サーバ管理とネットワーク管理の統合

## 1) データセンターの見える化、運用性の向上

OpenFlow 技術を使うことにより、IT 側もしくはアプリケーション側が OpenFlow コントローラを介して、自分の利用するネットワークの経路やパスをすべて制御することができる。さらに OpenFlow コントローラとサーバ管理 (VM) を連携させることにより、アプリケーション、サーバ、VM、ネットワーク経路の全体の相関を可視化することが可能になる。

これにより、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する。これまで手間がかかっていた顧客ごとに行う VLAN などの設定がきめ細かく容易にできるようになる。また、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る。

図-8 は、NEC の開発した ProgrammableFlow ソリューションにおける、データセンター可視化システムの Viewer である。ProgrammableFlow は、既存のネットワーク機能に加えて、OpenFlow 機能を利用することができる。OpenFlow 機能の利用により、システム全体の可視化が可能である。

## 2) ダイナミックリソース運用管理機能

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)、ロードバランサー (LB) を L2 スイッチ等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る。一方、OpenFlow 技術を用いることにより、ネットワークの仮想化が容易になり、図-9 に示すようにシンプルなデータセンター構成が可能になる。図-9 は、OpenFlow 技術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ファイアウォール等のネットワークアプリケーション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る。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、ユーザおよびサーバ間の通信トラフィックの転送パス制御を OpenFlow Controller から一括制御することができる。これにより、常にデータセンター全体の負荷変動に合わせた、最適なりソース割り当てを動的に実現することができる。

ProgrammableFlowのネットワーク



図-8 IT/ネットワーク全体の可視化

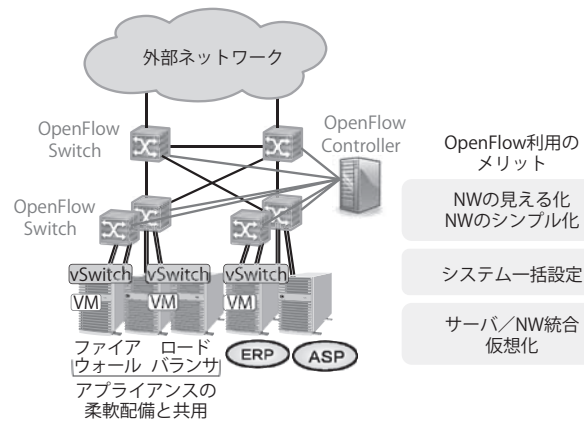


図-9 OpenFlow 技術利用による次世代データセンタ構成

## 今後の展開

次世代のネットワークのプラットフォーム技術の1つとして、北米を中心に日米欧の大学・企業を含むコミュニティから OpenFlow 技術が提唱され、徐々に研究利用が拡大しつつある。本技術はスイッチ等のネットワークノードを動的に外部から制御するための制御インターフェースであり、ICT サービス側、アプリケーション側がネットワークを自由にコントロールすることができるようになる。

また、OpenFlow 技術は、ネットワークの Open 化を促す技術として見なすこともできる。したがって OpenFlow 技術の真価を發揮させるためには、本技術の利用コミュニティを広げ、本技術をどのようにに活用するか、本技術を用いて多様なネットワークアプリケーション、グリッドアプリケーションをどのように創出できるかが、重要になる。

今後の IT とネットワークの運用統合や技術マイグレーションを想定すると、ネットワーク研究から生まれた OpenFlow 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発展することができるとも考えられ、今後の技術発展が期待されている。

## 参考文献

- 1) AKARI, <http://akari-project.nict.go.jp/>
- 2) NSF NeTS FIND Initiative, <http://www.nets-find.net/>
- 3) Seventh Framework Programme (FP7), <http://cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm>
- 4) GENI, <http://www.geni.net/>
- 5) McKeown, N. et al. : OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Network, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.38, No.2, pp.69-74 (Apr. 2008).

(平成 22 年 5 月 11 日受付)

西原基夫 (正会員) m-nishihara@ab.jp.nec.com

ネットワーク開発研究本部, 中央研究所にて, ATM 通信システム, IP ルータ, 広域イーサネット専用線システム, ネットワークフロントエンドシステム, セキュリティアプライアンスなどの開発に従事。2004 年第 18 回独創性を拓く先端技術大賞, フジサンケイ・ビジネスアイ賞受賞を受賞。現在, システム IP コア研究所 統括マネージャとしてネットワーク & IT 技術・製品の企画・研究開発に従事。

岩田 淳 (正会員) a-iwata@ah.jp.nec.com

1988 年東京大学工学部電気工学科卒業, 1990 年同大学院修士課程修了, 2001 年同大学院電気工科学科工学博士。1990 年 NEC システム研究所入社。1997~98 年まで University of California, Los Angeles (UCLA) 客員研究員。2009 年以後, IP ネットワーク事業部 シニアエキスパート勤務。

矢野 由紀子 yano@ab.jp.nec.com

インターネット技術研究所, ユビキタス基盤開発本部にて, ネットワークプロトコル, IP モビリティ, インターネットセキュリティ, オペレーティングシステムなどの開発を経て, 現在, Future Internet システムの研究開発に従事。システムプラットフォーム研究所研究部長。