クラウド時代のエンドツーエンド ネットワーク技術

Virtualization and Softwarization Technologies for End-to-end Networking

● 小口直樹 ● 片桐 徹 ● 松井一樹 ● Wang Xi ● 関屋元義

あらまし

近年、IoT(Internet of Things)、第5世代移動通信(5G)といった技術の登場やクラウドサービスの進展により、業種やサービスごとにユーザーデバイスからクラウドに至るエンドツーエンドの閉じたネットワーク空間(ネットワークスライス)を、オンデマンドかつ簡単に構築する仕組みが求められている。従来、一つのネットワークインフラ内では、SDN(Software Defined Networking)技術により仮想ネットワークを構築し、ネットワークスライスを実現できていた。しかし、クラウドとユーザー拠点のように複数のネットワークインフラにまたがるネットワークスライスを構築する場合は、ネットワークインフラごとに設定方法が異なることに加え、ユーザーはそれらの間をつなぐVPN(Virtual Private Network)などに対する配慮が必要であり、専門知識がないと構築が困難であった。そこで、複数のネットワークインフラを単一のネットワークインフラとして仮想化し、簡単にネットワークスライスを構築できる仕組みを提案する。

本稿では、ユーザーデバイスからクラウドに至るネットワークスライスの統合的な構築、 運用、管理の課題、および解決のアプローチを、仮想化、ソフトウェア化の流れの中で論 じる。また、その上で展開される情報指向ネットワーク技術などの最新研究を紹介する。

Abstract

The emergence of 5G wireless and Internet of Things (IoT) technologies, as well as the continuous evolution of cloud services, is creating an increasing need for easy and on-demand creation of network slices, which are logically isolated (closed) network spaces spanning user devices and the cloud, tailored for individual businesses and services. While creating network slices within a single network infrastructure using software-defined networking (SDN) is possible, creating an end-to-end network slice across multiple network infrastructures remains a challenging task. Skilled network engineers must configure each infrastructure using different protocols and procedures and configure an array of virtual private networks (VPNs) for interconnecting them. In this paper, we explain the issues associated with the creation, operation, and management of end-to-end network slices and our approach to addressing them by using virtualization and softwarization. Specifically, we present the One Network architecture, which virtualizes multiple network infrastructures as one infrastructure and facilitates the creation of network slices on top of it. We also discuss several of the latest research topics such as information centric networking technology deployed over such network slices.

まえがき

従来、ネットワークはルータやスイッチなどの物理的な機器をつなぐことで構成されていた。こうした機器は、それぞれがデータ転送(データプレーン)と経路制御(コントロールプレーン)の機能を有して自律的に動作する分散制御が基本であった {表-1 (a)}。ネットワークの構成要素が自律的に転送を制御するため、部分的な障害などに強いというメリットがある一方、ネットワーク全体を見た経路選択や統合的な管理が困難であるというデメリットもあった。また、構成を変更する際は、ケーブルの抜き差しや機器の設定を一つひとつ変更する必要があった。

クラウドの進展により、データセンターにおけるサーバやストレージの仮想化が進み、ネットワークもソフトウェア的に構築する必要が生じた。SDN(Software Defined Networking)の登場により、データプレーンとコントロールプレーンの機能を分離し、従来装置ごとに設定が必要であったデータプレーンの操作が1台の制御装置でカバーできるようになった。その結果、ソフトウェアによって仮想ネットワークを定義・制御・構築することが可能になり {表-1 (b)}、更に NFV(Network Functions Virtualization)技術を用いることで、ソフトウェア化されたより高度なネットワーク機能を利用することも可能となった。

近年, IoT (Internet of Things), 第5世代移動通信 $(5G)^{(1)}$ といった技術の登場により, IoT デバイスで発生したより多くのデータをクラウド に格納し, ビッグデータ解析のように様々な分野でこれらのデータを活用することが考えられてい

る。このようなクラウド時代のネットワークでは、 図-1に示すように、ユーザー拠点内のデバイスからクラウドまでエンドツーエンドで、業種やサービスごとの閉空間(以下、ネットワークスライス)を作ることで、安全かつ効率良くネットワークを利用することが想定されている。

随時生じるサービス要求の速い変化に柔軟に対応するために、ユーザーやアプリケーションが、人手を介すことなく、必要なときにオンデマンドで簡単に構築し、柔軟に変更できることがこうしたネットワークスライスに求められている。また、安定したサービスを提供できるように、これらのネットワークスライスはリンク帯域やネットワーク処理性能を保証する必要がある。そこで、これらの要件を満たすために、筆者らは異なるデータプレーンを仮想化して見せる仮想データプレーンアーキテクチャーを提案している {表-1 (c)} (6)

また、仮想データプレーンはどの端末装置やIoTデバイスまでを含めるかといった空間的な制約を持つ。しかし、将来はこれに加えて、指定した時間だけ仮想データプレーンを作るといった時間的な制約や、データに含まれるコンテンツに基づいて仮想データプレーンを作るといったコンテンツ的な制約を持つものと考えている。今後は、これら全ての要素を踏まえた3D(3次元)仮想データプレーンが求められる {表-1 (d)}。

本稿では、クラウドからユーザー拠点までをオンデマンドで簡単、迅速、セキュアにつなぎ運用するための鍵となる仮想データプレーン技術と、その上で展開される情報を中心とした情報指向ネットワーク技術を含む将来の制御技術の最新研究を紹介する。

(a) 従来 (b) SDN (c) クラウド時代 (d) 将来 C C C 時間的 CC アーキテクチャー C+D C+D C+DVD 空間的 D D 1ンテシッ // // // // // // 的制約 D D D 制約 D D D コントロール方式 自律分散 1点集中制御 個別集中 個別集中 帯域・性能保証 リンク帯域保証 なし リンク帯域, 処理性能保証 リンク帯域, 処理性能保証

表-1 制御技術の変遷

C:コントロールプレーン D:データプレーン VD:仮想データプレーン

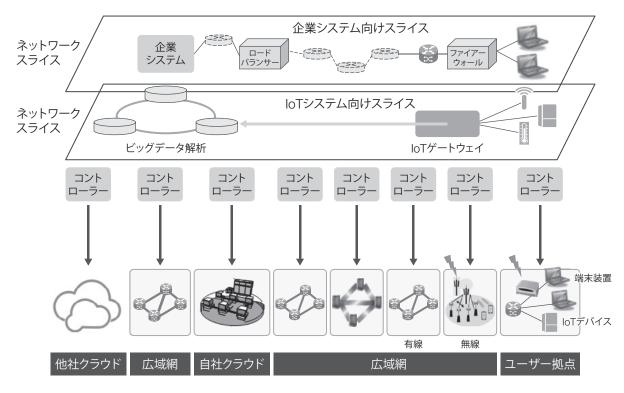


図-1 エンドツーエンドのネットワークスライス

エンドツーエンドのネットワークスライス 実現に向けた課題

本章では、前章で述べたネットワークスライス を構築するための課題について述べる。

■ 異なるネットワークインフラにまたがるネットワークスライスの一元管理・構築

ネットワークスライスをオンデマンドに構築する方法として、仮想ネットワークの利用が考えられている。② 仮想ネットワークとは、サーバ仮想化を実現する仮想化ソフトウェアやSDN対応機器などの内部に、ソフトウェア的なスイッチやルータを構築することにより構成されるネットワークである。従来、SDN技術を用いることで、図-2に示すように必要な論理ネットワークを実現する仮想ネットワークを構築できた。

ところが、図-3に示すように、異なる企業が運用し異なる管理ポリシーを持つネットワークインフラにまたがってエンドツーエンドのネットワークスライスを構築する場合は、ネットワークインフラごとに異なる設定方法を理解する必要があった。これに加え、ユーザーはネットワークインフラ間をつなぐためのVPN(Virtual Private Network)や、VXLAN(Virtual eXtensible Local Area

Network)⁽³⁾などの仮想ネットワークを意識する必要があり、専門的なネットワークの知識を持たない管理者がネットワークを設計することは困難であった。

● 普遍的なリソースを不変的に見せる

IoTや5Gで求められるネットワークスライスは、リンク帯域やネットワーク処理性能の保証が必要となる場合がある。しかし、エンドツーエンドの仮想ネットワークは、ソフトウェアで実現される仮想ネットワーク機能を含むため、ほかのトラフィックの影響や物理装置の故障などの影響を受けやすい。この問題を解決するために、ネットワーク性能の揺らぎをユーザーに見えにくくし、サービスが安定して動くための仕組みが必要である。

● ネットワークスライスの生成・変更を自動化

IoTや5Gで求められるネットワークスライスは、ユーザーやサービスアプリケーションからの明示的な要求に応じて構築・削除できる必要がある。更に、今後はクラウドが提供するサービスと有機的に結びつけてクラウドを有効活用できるように、明示的な要求がなくともユーザーの意図を汲み取って、自動で複数のネットワークインフラにまたがるネットワークスライスを作ることが求めら

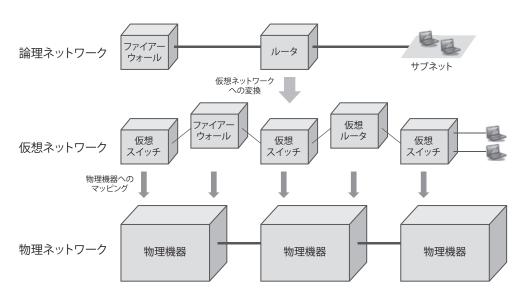


図-2 SDNによる論理ネットワークの物理ネットワークへのマッピング

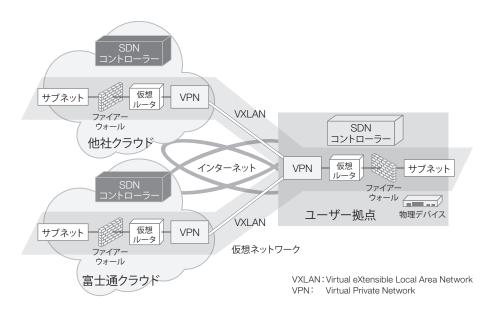


図-3 異なるネットワークインフラにまたがるネットワークスライスを構築する際の課題

れる。また、そのネットワークスライスに参加する端末装置やIoTデバイスのダイナミックな増減に合わせた管理メカニズムも必要となる。

One Networkアーキテクチャー

筆者らは、複数の異なるネットワークインフラにまたがるネットワークスライスを一つのAPI (Application Programming Interface) で扱えるようにするOne Networkアーキテクチャーを提案し、前章で述べた課題の解決を図った。

One Networkアーキテクチャーは、図-4に示す

ように複数のネットワークインフラを単一の仮想ネットワークインフラとして見せ、一つの仮想インフラコントローラにより制御する。ネットワークスライスを構築しようとするユーザーやアプリケーションは、仮想インフラコントローラにアクセスすることで、複数のネットワークインフラにまたがるネットワークスライスを一つのAPIで構築できる。これにより、業務やサービスごとのネットワークスライスを動的かつ自動的に構成し、安全かつ安定した性能でサービスを利用できるようになる。

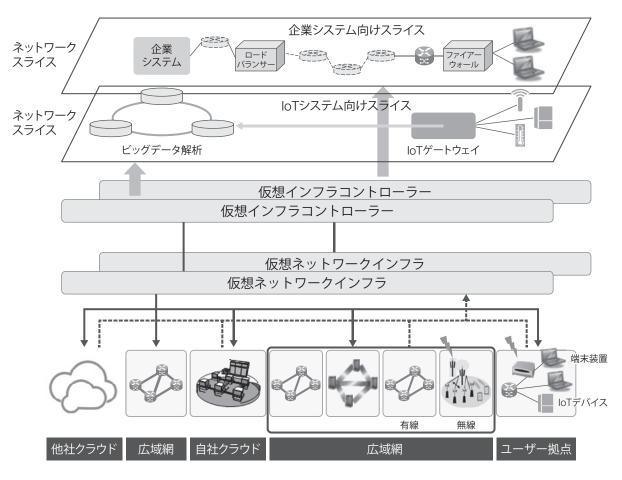


図-4 One Networkアーキテクチャー

こうしたOne Networkアーキテクチャーを利用 することにより、例えば以下のようなユースケー スが考えられる。

● ユースケース

(1) 新規オフィス・店舗展開

新たにオフィスや店舗を立ち上げる際に、現場で必要な業務アプリケーションがクラウドとつながり、即座に利用できる。利用する端末やユーザー(店員のロールなど)、アプリケーションに応じて、適切なネットワークスライスに振り分けることで安全性を担保する(図-5)。

(2) 工場ラインシェアリング

生産機器を持たないファブレス企業に対して,空いている生産ラインを開放(シェアリング)し,シェアリング中に必要なネットワークスライスを構築しつつ,他ライン環境へデータが流出しないようにセキュアなネットワークスライスを実現する。

● One Networkアーキテクチャーを実現する技術

One Networkアーキテクチャーを実現する仮想ネットワークインフラを構成するために、筆者らはインフラ抽象化技術と、これに付随する自動補完技術、最適配置技術、オートスケール技術、および自動回復技術を開発している。また、仮想インフラコントローラを実現する技術として、ユーザーやアプリケーションが要求するサービスに応じて、自動でネットワークスライスを構築するネットワークスライス自動構築技術の開発にも取り組んでいる。以下では、これらの技術について紹介する。

(1) インフラ抽象化技術

仮想ネットワークインフラを実現するために、ソフトウェア的なオブジェクト(以下、仮想ネットワークオブジェクト)を用い、これに複数のネットワークインフラをマッピングする技術を開発した。仮想ネットワークオブジェクトは、ユーザーが利用できる仮想ネットワークインフラ全体を示

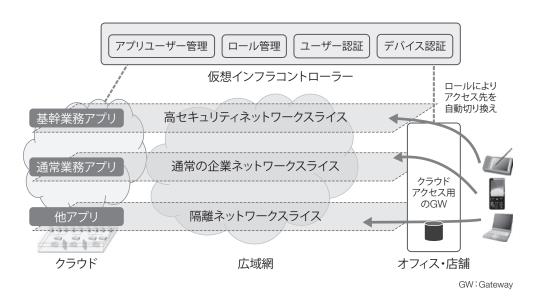


図-5 ユースケース (新規オフィス・店舗展開)

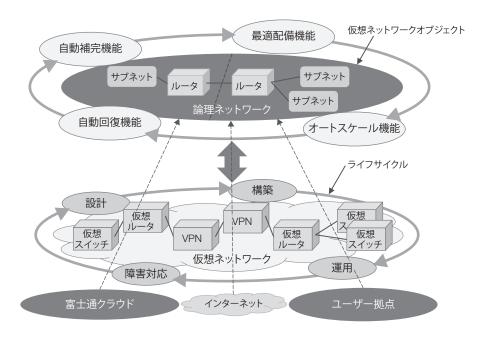


図-6 インフラ抽象化技術

しており、各ネットワークインフラは仮想ネットワークオブジェクトに含まれるサブオブジェクトとして表現される。仮想ネットワークオブジェクトは、仮想インフラコントローラからの指示や、各ネットワークインフラで生じるイベントに対する処理をメソッドとして備えており、これらのイベントに対して自律的に動作する。

これにより、**図-6**に示すように、ユーザーは 仮想ネットワークオブジェクトの上で論理ネット ワークをデザインするだけで、ネットワークイン フラ間のVPNなどの接続を意識することなく,エンドツーエンドの仮想ネットワークを簡単に構築,管理できるようになる。また,エンドツーエンドの仮想ネットワークのライフサイクル(設計,構築,運用,監視,保守,破棄)管理を,論理ネットワークのライフサイクル管理として扱えるようになる。

これまで仮想ネットワークオブジェクトのコンセプトを,光ネットワークを管理する技術として提案してきた。(4). (5) 今回,本技術をエンドツーエンド仮想ネットワーク管理アーキテクチャーに適用

し、具体的な管理システムとして実現した。60, (7)

(2) 自動補完技術

ユーザーによる論理ネットワークの設計をより 簡単にするため、論理ネットワーク内の構成要素 の接続状況から設計者の意図を抽出することによ り、仮想ネットワークの構築に必要な機能を自動 で補完する技術を開発した。

図-7に示すように、ユーザーによって設計された論理ネットワークにおける構成要素間のリンクに着目し、リンクの両端に位置するネットワークインフラやサブネット・ノードといった異なるレベルの構成要素の接続を確認することで、設計者の意図を判別し、必要となる仮想ネットワーク機能を自動的に補完する。

(3) 最適配備技術

最適配備技術は、マルチクラウドなどの複数のネットワークインフラで構成されるエンドツーエンドのネットワークに対し、課金や性能が最適になるように仮想ネットワーク機能を適切に配置する技術である。

(4) オートスケール・自動回復技術

仮想ネットワークは、ソフトウェアで実現され

る仮想ネットワーク機能を含むため、ほかのトラフィックや、物理機器の故障などの影響を受けやすく、一般に帯域や性能を保証できない。この問題を回避するために、仮想ネットワークオブジェクトがリソース、通信品質、障害などの情報を収集する。影響が懸念される場合は、ユーザーが明示的に対処しなくても仮想ネットワーク機能の数を自動的に拡張したり、障害を自動的に迂回したりすることで、仮想ネットワークに対するこれらの影響をユーザーに見えにくくし、サービスが安定して動くようにする。

(5) ネットワークスライス自動構築技術

ユーザーの意図をくみ取り、自動でクラウドが 提供するサービスを活用するネットワークスライ ス自動構築技術を開発した。本技術は以下の特徴 を持つ。

・デバイス、ユーザー、アプリケーションの属性情報や挙動を収集するクラウドアクセスのためのゲートウェイ(GW)をユーザー拠点などに配置する。これによって、用途に応じたネットワークスライスを自動的に生成するのに必要な情報を集める(図-8)。

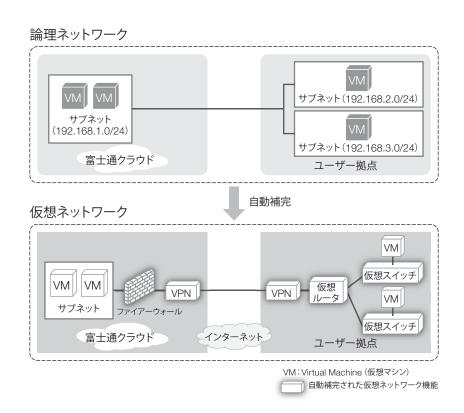


図-7 自動補完機能

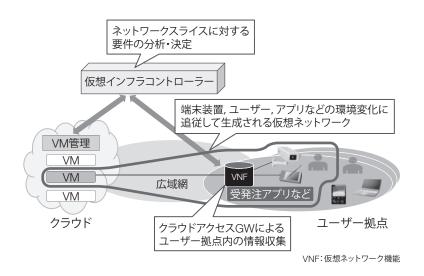


図-8 ネットワークスライス自動構築技術

・デバイス,ユーザー,アプリケーションなどの環境変化に応じて、ネットワークスライスに対する安全性、応答性などの要件を自動的に分析し、決定する。

また将来的には、人工知能(AI)を利用した高度なつなぎ方を実現することで、環境変化への追従性の高度化と、更なるユーザー体感品質の向上を目指す。

今後の課題と将来への展望

これまで、One Networkアーキテクチャーはデバイスやサービスの場所に基づき、空間的なネットワークスライスを構築するためのものとして紹介してきた。今後、異なる企業同士が協力して新しいサービスを提供する状況では、データの内容やコンテンツに基づき、異なる企業が持つネットワークスライス間で簡単かつ安全にデータを共有する仕組みが求められる。本章では、こうした将来のネットワークの姿と、それに対する筆者らの取り組みについて紹介する。

今日,クラウド上で様々なサービスを開発し, 異なるサービスをAPIでつなげることで,自社の みでは成し得ない新しいサービスを開発・提供す るケースが増えている。一方,自社のデータをク ラウド上に展開することに対して,セキュリティ や性能に対する不安から各企業拠点上のシステム を堅持する要求も存在する。このような場合でも, クラウド上のサービスとの連携や,異なる企業拠 点のシステム間の連携によって新規サービスの開発・提供を促進する仕組みが必要になってくる。

これに対して、図-9に示すようなクラウドや異なる企業拠点のシステム上などに広域に散在するデータを、安心・安全・簡単に流通させる場をネットワーク上に実現する、データ流通ネットワーク (VPX: Virtual Private digital eXchange) 技術の研究開発を進めている。⁽⁸⁾ 本技術では、クラウド、広域網、および複数の企業拠点がそれぞれ属する複数のネットワークスライス間で、特定のデータに対してのみアクセスを許可するセキュアなネットワークスライスを作る。そして、それに参加する企業やユーザー、サービス間では、安全かつ簡単に情報の共有が可能になる。

VPX技術は、図-10に示すように流通させるデータに応じたセキュアなネットワークスライスを作るために、ブロックチェーン技術と分散Web技術を活用している。ブロックチェーンが持つ堅牢な取引検証と台帳共有の特徴を、データアクセスを担うネットワークゲートウェイの機能として拡張した。具体的には、許可したデータのみを信頼できる相手に共有可能とするセキュリティポリシー管理機能、ユーザーが望むデータを簡単に発見・接続するためのデータ発見・アドレス解決機能、およびデータにアクセスする際の認証・認可と証跡管理機能となる。データアクセスの要求に応じて、特定のネットワークスライス上のデータごとにWebインターフェースを自動構築・アドレス公

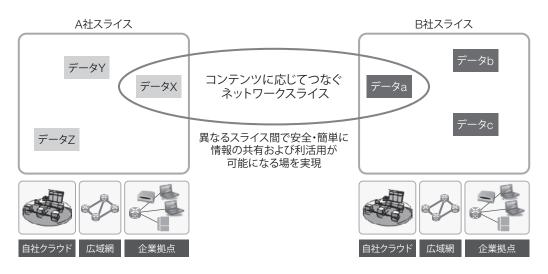


図-9 VPX技術概念図



図-10 VPX技術の構成

開し、当事者間をピアツーピアで接続し、データ を暗号化して転送することによりセキュアなデー タ共有を可能にしている。

むすび

IoTや5Gといった技術の登場や、クラウドサービスの進展により、ユーザーやサービスを提供するアプリケーションから異なるネットワークインフラにまたがるネットワークスライスを、オンデマンドかつ簡単に構築できることが求められるようになった。

本稿では、こうしたエンドツーエンドのネット ワークスライスを一つのポータルから構築可能な One Networkアーキテクチャーと、それの実現に 必要な技術について説明した。また今後は、IoTから生じるデータや異なる企業間でのデータ流通とその利活用が活性化する場面を踏まえ、データの内容やコンテンツに基づき、簡単・安全にユーザーに情報を届ける仕組みが必要となると考えており、それに向けた将来のネットワーク技術についても紹介した。これらの技術は研究段階であり、解決すべき課題も多いが、ネットワークを介した新たなサービスの創出に向け研究を進めていく予定である。

参考文献

(1) 5G PPP Architecture Working Group: View on 5G Architecture.

https://5g-ppp.eu/white-papers/

- (2) B. Sayadi et al.: SDN for 5G Mobile Networks:

 NORMA perspective. The 10th Competition Law
 and Economics European Network (CLEEN)

 Workshop, May 2016.
- (3) Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN): A Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks. IETF RFC7348, Aug. 2014.
- (4) Xi Wang et al.: Object-oriented Network Virtualization — An Evolution from SDN to SPN (Invited Paper). Photonic Networks and Devices (Networks) 2014 Paper NT1C.2, as part of Advanced Photonics for Communications Congress, San Diego, California, July 2014.
- (5) X. Wang et al.: SPN OS: Managing network services with virtual network objects. 2015 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Network (NFV-SDN), p.149-155, San Francisco, CA, 2015.
- (6) N. Oguchi et al.: Proposal of building and operating method for end-to-end virtual networks. IEICE technical report NS2016-191, Vol.116, No.484, p.193-197, Mar. 2017.
- (7) 富士通研究所:ハイブリッド・マルチクラウドのネットワークインフラを一括設計・運用する技術を開発. http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/03/7.html
- (8) 富士通:ブロックチェーンの応用による安心・安全 なデータ流通ネットワークを実現するソフトウェアを 開発.

http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/06/5.html

著者紹介



小口直樹(おぐち なおき) ネットワークシステム研究所 サービスネットワークプロジェクト エンドツーエンド仮想ネットワーク管 理技術の研究開発に従事。



片桐 徹 (かたぎり とおる) ネットワークシステム研究所 ネットワークアーキテクチャプロジェ クト ネットワーク運用管理技術の研究に 従事。



松井一樹 (まつい かずき) ネットワークシステム研究所 サービスネットワークプロジェクト 人やモノを高度につなぐネットワーク サービス基盤技術の研究開発に従事。



Wang Xi 米国富士通研究所 Networking Technology Laboratory ネットワークソフトウェア化の研究に 従事。



関屋元義(せきや もとよし) ネットワークシステム研究所 ネットワークシステムの研究開発に 従事。