

広域ネットワークにおける SDNソリューションへの取り組み

SDN Solution for Wide Area Network

● 宮下卓也

● 鈴木智博

● 宗宮利夫

● 山田亜紀子

あらまし

クラウド化の進展に伴い、広域ネットワークにおけるトラフィックの増大が続いている。この増大に効率良く対応し、新サービスを提供する技術として期待されているのがSDN(Software-Defined Networking)である。ネットワークに柔軟性をもたらすことで、即時的かつ効率的な運用ができる。また、サービス導入を機敏にすることで、ネットワークに更なる付加価値を提供できると期待されている。SDNは、データセンター内のネットワークから適用が始まっているが、広域ネットワークへのSDN適用はまだ本格化していない。これは、社会基盤である広域ネットワークには、品質、性能などの厳しい要件が存在するためである。また、広域ネットワークでのSDN適用に当たっては、オープンソースのプラットフォームが注目されており、ベンダーロックインの回避とオープンイノベーションによる市場拡大が期待されている。

本稿では、まず広域ネットワークへのSDN適用の課題について述べる。次に、広域ネットワーク向けのSDNソリューションについて述べ、最後に広域ネットワークにおける制御技術とオープンソースへの富士通の取り組みについて紹介する。

Abstract

In tandem with the progress of cloud computing, the amount of data traffic in wide area networks (WAN) continues to grow. Software-defined networking (SDN) is seen as a technology that is potentially capable of countering this situation efficiently while offering new services. By rendering the network flexible, SDN can make its operation timely and more efficient. Also, a prompt installation of such services is expected to enhance the value attached to the network. SDN has already been applied to networks within data centers, but its application to WAN is yet to be seen. This is because WAN is part of social infrastructure, which demands strict quality and functionality and has other requirements. Meanwhile, SDN to be applied for WAN would benefit from open-source platforms, as these would contribute to avoiding vendor lock-in, and to market expansion through open innovation. This paper first describes the challenges inherent in the attempt to adapt SDN to WAN, then it explains the SDN solution for WAN, and finally it introduces Fujitsu's projects on control technology for WAN and open-source initiatives.

まえがき

社会基盤である広域ネットワークでは、クラウド化の進展や動画サービスの拡大などにより、トラフィックが増大し続けている。IoT（Internet of Things）の時代では、500億台のデバイスがネットワークに接続されると言われ、更なるトラフィックの増大が見込まれている。

止まらないトラフィックの需要増加に対して、効率的に回線を提供することや新サービスの展開による売上増が通信キャリア（電気通信事業者）の喫緊の課題となっている。この解決策として期待を集めているのがSDN（Software-Defined Networking）である。

SDNの基本コンセプトを図-1に示す。SDNは、ソフトウェアによって仮想的なネットワーク環境を作る技術やコンセプトの総称であり、その定義は様々なものがあるが、一般的には以下の特徴を備えるものである^{(1),(2)}

(1) プログラマビリティ

ネットワークリソースを制御できるだけでなく、ネットワークリソースを制御するためのアプリケーションを作ることができる。

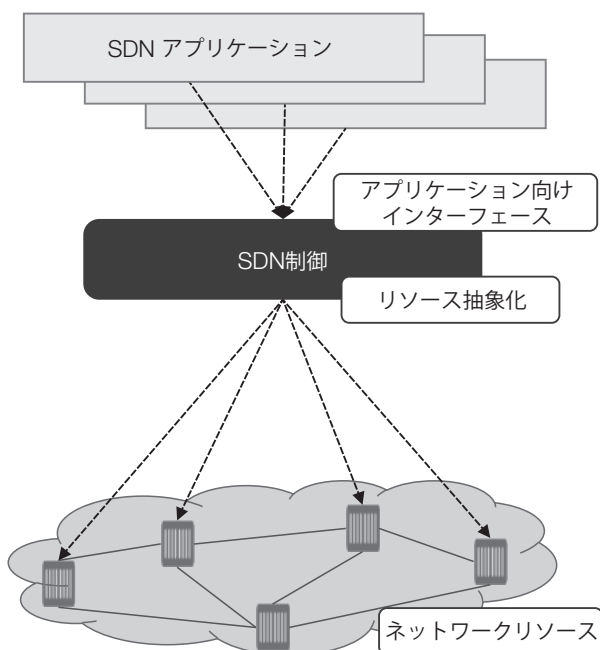


図-1 SDNの基本コンセプト

(2) ネットワークリソースの抽象化

ネットワークリソースを標準化されたモデルによって抽象化し、物理実体とは異なるネットワークをユーザーに見せることも可能とする。

(3) ネットワーク制御機能の分離と集中制御

ネットワーク機器から制御機構を分離することで、汎用的なネットワーク機器を使用できる。

(4) サービス導入の機敏さ

ネットワークサービスを短期間で提供できる。

これらの特徴により、ネットワーク帯域を有効利用するとともに、ネットワークにて更なる付加価値を提供できる。

本稿では、富士通のSDNへの取り組みを、広域ネットワークにおけるSDN適用に向けた課題、SDNソリューションの紹介、分散ネットワーク制御技術、およびオープンソースの取り組みに分けて紹介する。

広域ネットワークにおけるSDN適用に向けた課題

広域ネットワークにSDNを適用するためには、データセンターのような限られた領域内での制御に加えて、以下を実現する必要がある。

まず広域ネットワークは、ルータやスイッチで構成されるパケットレイヤー、伝送装置で構成されるトランスポートレイヤーといったマルチレイヤーで構成されている。これらは運用方法も異なることから、レイヤーごとに運用部門が存在する。現状はネットワークを開通するときには運用部門間の調停に時間を要しており、効率的な運用を実現するためには、これを短縮する必要がある。次に、ネットワークはマルチベンダーの機器で構成されており、それぞれ制御方法が異なるため、作業ミス発生の要因となっている。このようなミスを回避するために、運用者にマルチベンダーを意識させない制御が求められる。

通信キャリアは、SDNに対して新たな収益を生み出すこと（マネタイズ）にも期待している。現状では、新規ネットワークサービスを開発するにはシステム拡張が伴うため、入念な計画が必要となり、容易に着手することが難しい。そのため、通信キャリアが新規サービスをスモールスタートでき、競合他社と差別化できるサービスをいち早く実現する環境を整える必要がある。

また、広域ネットワークには既に多数の機器が

配備されており、全ての機器をSDN対応の機器に置き換えることは、サービス中断に加え機器導入費用および検証費用が膨大となるため現実的ではない。したがって、既存ネットワークからSDNネットワークへの低コストかつ既存サービスを維持しながらスムーズな移行が必要となる。

広域ネットワークは多数のユーザーが利用する社会基盤であり、SDNを適用した場合にコントローラー上の機能に不具合が発生したときに与える影響も非常に大きなものになってしまう。したがって、安定したネットワーク運用のためのコントローラーとして高い信頼性（キャリアグレード品質）の確保が必須である。

SDNネットワークへの移行後の運用についても、考慮が必要である。広域ネットワークは、息の長い運用となることが前提であるため、SDN導入後、将来的にシステムを発展させていく仕組みが求められる。これを実現するために、オープンなSDNプラットフォーム上で、通信事業者がネットワークを拡張できるようにする必要がある。

以上述べた、広域ネットワークにSDNを適用するための課題を以下にまとめる。

(1) 効率的な複合ネットワークの制御

- (2) 早期マネタイズ機会の創出
- (3) キャリアグレード品質の確保
- (4) SDNネットワークにおける低コスト、スムーズな移行
- (5) プラットフォームのオープン化

次章では、これら課題の解決について詳述する。

FUJITSU Network Virtuora NCを用いた 広域ネットワーク向けSDNソリューション

富士通は、広域ネットワーク向けのSDNコントローラーとして位置づけられるFUJITSU Network Virtuora NC（Virtuora NC）の提供によって、前記課題を解決した（図-2）。

(1) 複合ネットワークの制御

Virtuora NCは、パケットレイヤーとトランスポートレイヤーの双方を対象として、これらの通信経路や通信帯域などをマルチレイヤーで制御可能である。パケットレイヤーに対しては、ネットワークトポロジを管理し、SNMP（Simple Network Management Protocol）⁽³⁾ による監視、CLI（Command Line Interface）やNETCONF（Network Configuration Protocol）⁽⁴⁾、OpenFlow⁽⁵⁾ プロトコルによる制御を行う。トランスポートレイヤーに対しては、パケットレイヤーとの物理接

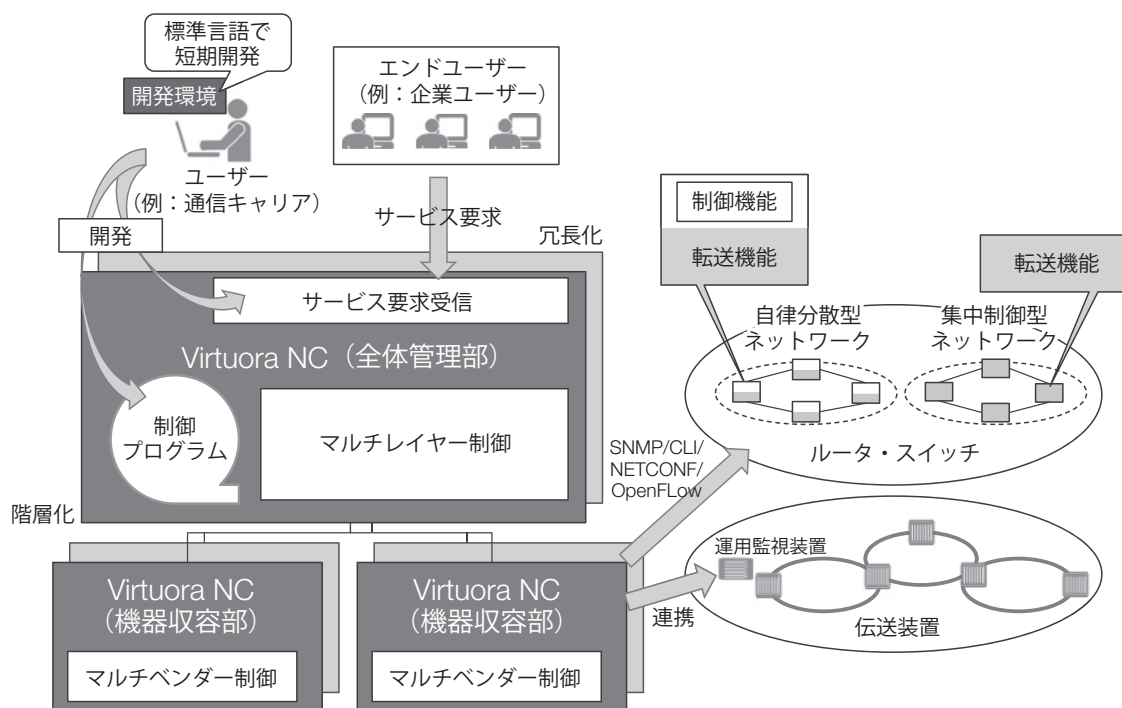


図-2 Virtuora NCによる課題解決

続関係を管理し、伝送装置の運用監視装置と連携することによって、トランスポートネットワーク上に論理回線を設定できる。また制御においては、他社製の機器も対象としており、各社機器に合わせて制御プロトコルを選択・使用して、動作に必要な設定を行うことが可能である。このような機能を具備することによって、複合ネットワークの制御課題を解決する。

(2) 早期マネタイズ機会の創出

ネットワークに対するエンドユーザーからの要件にいち早く応えるため、Virtuora NCでは標準的な言語を使った開発環境を提供している。通信事業者自らが本開発環境を用いることによって、エンドユーザーから入力されるサービス要求を受信するためのインターフェース定義や、要求に従った機器の制御プログラムを開発でき、ベンダーなどの協力なしにサービスを早期に提供できる。このような開発環境の提供により、早期マネタイズ機会の創出課題を解決する。

(3) キャリアグレード品質の確保

Virtuora NCでは、信頼性を高めるために冗長化と階層化のアーキテクチャーを採用している。運用系と待機系の構成を採用することにより、運用系に障害が発生した場合は待機系に切り替えて業務を継続する。また、機器を収容する機能部と、全体を管理する機能部との階層構造を採用することにより、収容機器が増加した場合には、機器を収容する機能部だけを増設することで対応できる。このように、障害時および拡張時に対応可能なアーキテクチャーにより安定した通信を提供し、キャリアグレードの品質を確保している。しかし、高負荷なコントロールプレーン（制御信号）の処理については課題が残っており、次章でその取り組みを述べる。

(4) SDNネットワークにおける低コスト、スムーズな移行

Virtuora NCは、集中制御型ネットワークに加え、既存の自律分散型ネットワークについても収容可能である。自律分散型ネットワークに対しては、パケットレイヤーではSNMP、CLI、NETCONFといったプロトコルを使い、トランスポートレイヤーでは既存の伝送装置の運用監視装置との連携によって制御する。集中制御型ネットワークに対

しては、OpenFlowによって制御する。このように、一つのVirtuora NCに両ネットワークを一元的に収容できるため、段階的にスムーズに集中制御型ネットワークへの移行を可能にするだけでなく、SDN導入後の運用コストの削減も実現する。

(5) プラットフォームのオープン化

前述の「早期マネタイズ機会の創出」で挙げた開発環境が、標準的な言語によって利用可能な点でオープン化に対応している。プラットフォームとしてのオープン化については、後述の「オープンソースの取り組み」の章で述べる。

分散ネットワーク制御技術

SDNの一つの特徴は、ネットワークの制御が集中型の構成となることである。このため、大量の通信パケットを転送するスイッチで構成される広域ネットワークを新たにSDNとして運用する場合、ユーザー数の増大に伴いコントローラーに負荷が集中し、スムーズなサービス提供ができなくなる。また、コントローラー自体が障害を起こすと、管理しているスイッチが制御できなくなるという問題がある。

そこで筆者らは、複数台のコントローラーを論理的に1台のコントローラーとして動作させ、1000台規模のスイッチを集中制御するクラスタ型分散ネットワーク制御技術の研究開発に取り組んできた^{(6),(7)}。

(1) 課題

クラスタ型分散コントローラーでは、集中型のコントローラーと異なり、複数のコントローラーが連携して競合することなく動作する必要がある。また、どのコントローラーが障害となっても処理を継続する必要があるため、一部のコントローラーに負荷の集中や障害が発生したときの対処を自動実行することが難しい。このため、該当するコントローラーが管理しているスイッチ群の処理が遅くなることや、制御が継続できなくなるのが課題である。

(2) クラスタ型分散ネットワーク制御技術

・アーキテクチャー

筆者らが提案するクラスタ型分散ネットワークコントローラーのアーキテクチャーを図-3に示す。経路計算などを動作させるアプリケーションと、



図-3 クラスタ型分散ネットワークコントローラー

ネットワーク機器の設定を行うコントローラ部を分離させ部品として扱い、それぞれVM (Virtual Machine) や物理サーバで実行可能なインスタンスとして独立させている。この特徴により、各インスタンスをネットワーク規模などに応じてスケールアウトできる。

スイッチに未知のパケットが到着すると、そのスイッチを管理するコントローラ部にパケットを上げる。コントローラ部は、未知のパケットの中身を解析し、該当するアプリケーションにメッセージングシステムを介して転送する。アプリケーションでは、例えば経路計算を行った場合には、メッセージングシステムを介して経路設定情報を各コントローラ部に転送する。各コントローラ部は、OpenFlowプロトコルを用いてスイッチに経路設定を行う。

- ・ロードバランス技術

分散コントローラー対応モジュールに搭載する負荷チェック機能を開発した（図-3右）。これにより、コントローラー部それぞれの負荷情報（CPU使用率、スイッチ台数など）を収集できる。例えば、コーディネーションシステムが、モジュールの管理番号などからリーダーとして選出した一つの分散コントローラー対応モジュールで定期的に負荷情報をチェックすることで、負荷の偏りを検出する。ロードバランス要否判定ロジックで負荷の均一化が必要と判定された場合、変更するスイッチを決定し、CPU使用率やスイッチ台数といったポリシー

に応じてロードバランス方法を決定する。その結果、変更したスイッチとコントローラ部の対応関係をコーディネーションシステムに登録し、分散コントローラ対応モジュールが更新された情報に従いスイッチを付け替えることで、ロードバランスを実行する。

- ・無停止でのリカバリー技術

分散コントローラー対応モジュールに搭載する障害チェック機能を開発した(図-3右)。動作はロードバランスの場合と同様で、リーダとして選出された分散コントローラー対応モジュールがコントローラー部の障害を検出し、障害を起こしたコントローラーに接続されたスイッチを管理する新たなコントローラー部を決定する。CPU使用率やスイッチ台数などのコントローラー部負荷情報に基づき、自動的に負荷分散されるようにコントローラー・スイッチ対応情報を更新する。障害の発生していない分散コントローラー対応モジュールが情報更新と連動して動作することにより、スイッチを管理するコントローラーを切り替え、サービスを停止することなく継続運用できる。切替え先のコントローラーの決定にロードバランス技術を用いることで、コントローラー部の負荷が極端に上昇し、処理が止まってしまうといった問題が発生しないようにする。

更に、リーダモジュール自身が障害になった場合でも、コーディネーションシステムがセッションの切断を検知し、新たなリーダを選出し、その

リーダモジュールがスイッチを管理するコントローラーの決定を再実施する。

(3) 効果

今回開発した技術をクラスタ型分散コントローラーに適用することで、急激な負荷が一つのコントローラーに集中しても、クラスタを構成するほかのコントローラーに負荷を分散できる。また、コントローラー障害時にもネットワークサービスを停止することなく継続できるため、広域ネットワークの安定的かつ高信頼な運用を実現する。

(4) 今後の取り組み

SDNのプラットフォームとして、オープンソースのプラットフォームがユーザーから求められている。分散ネットワーク制御技術はオープンソースプラットフォーム上で実現する必要があるため、次章でその取り組みについて述べる。

本研究開発の一部は、平成24年度の総務省委託研究「広域災害対応型クラウド基盤構築に向けた研究開発（環境対応型ネットワーク構成シグナリング技術）」の成果である。

オープンソースの取り組み

現在、オープンソースのSDNプラットフォームとして注目を集めているものに、OpenDaylight⁽⁸⁾とONOS（Open Network OS）⁽⁹⁾がある。

OpenDaylightはLinux Foundationのもとで開発が進められている。モデル駆動のインターフェースYANG⁽¹⁰⁾をサポートすることで、多様なネットワーク機器に対応できることが特徴である。

ONOSは、スタンフォード大学やカリフォルニア大学バークレー校を母体とした研究機関であるON.Labを中心に開発が進められている。キャリア向けのSDNプラットフォームを指向していることが特徴である。高性能、高信頼性、スケールアウト可能なアーキテクチャーを強みとしている。また、通信キャリア向けの様々なSDNユースケースをONOS上に実装することで、SDNの価値と実現性をPoC（Proof of Concept）として示す活動を進めている。

ONOSは、大きく三つの要素から構成される（図-4）。

(1) 分散制御部

ネットワークの状態を分散システム上で管理する機能を提供する。これにより、高信頼性とスケールアウトを実現している。

(2) インテントフレームワーク

アプリケーションと分散制御部間のインターフェースを提供する。要求と振舞いを明確に分離することが特徴である。つまり、アプリケーションはシステムに対して「何」をしてほしいかを要

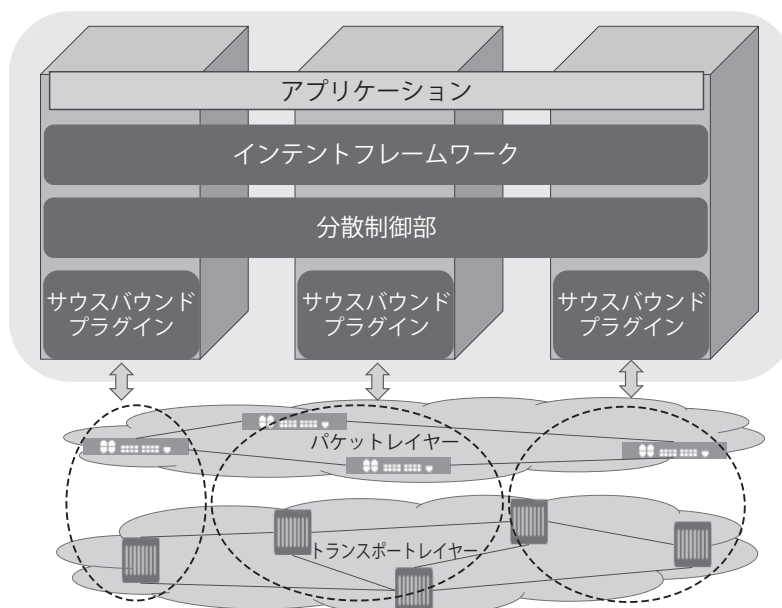


図-4 ONOSアーキテクチャー

求し、インテントフレームワークは「どのように」振る舞うかに翻訳する。このように、インターフェースの抽象性を高めることで、多様なサービスニーズに対応できる。

(3) サウスバウンドプラグイン

ネットワーク装置とONOS間のインターフェースの多様性を吸収するための機構を提供する。OpenFlow, NETCONF, PCEP (Path Computation Element Protocol), TL1 (Transaction Language 1)などをサポートしている。

また、ONOSでは、OSGi (Open Services Gateway initiative) によるモジュール機構がサポートされており、今後の保守性、拡張性も考慮されたアーキテクチャーとなっている。

ONOSのユースケースの活動は、ビジネスを行う企業の共存関係を促進するSDNのエコシステム構築に向けたユニークな活動になっている。参加者は、それぞれの経験や立場を踏まえた役割を担っている。ON.Labはアーキテクチャー上の技術面でリードし、通信キャリアはユースケースの要件定義を行う。そこに複数のベンダーが参加し、ソースコードの提供、システム評価などの技術貢献を行う。また、企業からの参加以外にも、個人による貢献も歓迎している。

様々なユースケースの検討が進められているが、本稿では富士通も参加しているPacket-Opticalのユースケースを紹介する。このユースケースの目標は、マルチレイヤー連携によるオンデマンドな帯域提供である。パケット機器の設定と光伝送装置の設定を効率的に自動連携させることで、クラウド時代に適した機敏なサービス展開が可能となる。また、パケットレイヤーとトランスポートレイヤーにまたがる運用が一元化されることで、運用の効率化が図れる。この成果は、2015年6月に開催されたONS (Open Networking Summit)⁽¹¹⁾で実演した。

オープンソースのプラットフォームを活用した広域ネットワークでのSDNシステムの構築は、始まったばかりである。従来のように、通信キャリアとベンダーに加えて、オープンソースコミュニティとも連携していく必要がある。富士通では、今後もオープンソースコミュニティとのコラボ

レーションを進めるとともに、社会システムへの適用を目指していく。

む す び

本稿では、広域ネットワークへのSDN適用における課題とその製品を紹介するとともに、広域ネットワークにおける制御技術とオープンソースへの富士通の取り組みについて紹介した。

広域ネットワークのSDN市場は、2016年には本格的な商用展開が見込まれている。富士通では、市場の立上がりに向けて製品のユースケースを拡充し、SDNに対するキャリアの多様なニーズに応じていく。

参考文献

- (1) ONF : SDN Architecture issue 1, June 2014.
- (2) ITU-T : Framework of software-defined networking (Y.3300), June 2014.
- (3) SNMP : RFC 1157.
<https://tools.ietf.org/html/rfc1157>
- (4) NETCONF : RFC 4741.
<https://tools.ietf.org/html/rfc4741>
- (5) OpenFlow.
<https://www.opennetworking.org/ja/sdn-resources-jan/onf-specifications>
- (6) 清水 翔ほか：SDNにおける分散型ネットワークコントローラの検討および性能評価ツールの開発。電子情報通信学会総合大会，2013.
- (7) 引地謙治ほか：分散型SDNコントローラにおけるスケーラビリティ向上手法に関する検討。電子情報通信学会ネットワーク仮想化時限研究専門委員会，Mar. 2015.
- (8) OpenDaylight.
<http://www.opendaylight.org>
- (9) ONOS.
<http://onosproject.org>
- (10) YANG.
https://wiki.opendaylight.org/view/OpenDaylight_Controller:MD-SAL
- (11) ONS.
<http://opennetsummit.org/>

著者紹介



宮下卓也 (みやした たくや)

ネットワークソリューション事業本部
SDNソリューション事業部 所属
現在、広域ネットワークSDNの企画開発に従事。



宗宮利夫 (そうみや としお)

ネットワークシステム研究所
次世代ネットワークアーキテクチャプロジェクト 所属
現在、仮想ネットワーク管理技術に関する研究開発に従事。



鈴木智博 (すずき ともひろ)

ネットワークソリューション事業本部
SDNソリューション事業部 所属
現在、広域ネットワークSDNの企画開発に従事。



山田亜紀子 (やまだ あきこ)

ネットワークシステム研究所
次世代ネットワークアーキテクチャプロジェクト 所属
現在、分散ネットワーク制御技術に関する研究開発に従事。