

第16部

高度情報インフラストラクチャの構築に関する研究 ネットワーク相互接続の実証実験 (NSPIXP) Programmable Internet Exchange in EDO (PIX-IE)

関谷 勇司、山本 成一、遠峰 隆史、Marc Bruyere、加藤 良輔、岩本 裕真、西野 大

第1章 はじめに

本研究では、商用インターネットを相互に接続する場合の問題点を明確にし、それを解決するための技術や手法の研究開発ならびに実証実験を行う。特に、近年成長し続ける動画系のインターネットトラフィックや、スマートフォンのファームウェア更新などによる突発的なトラフィック増大、スマートフォンアプリの流行にともなう一時的なトラフィック増大等の傾向に対して、トラフィックの輻輳を防ぎ、ユーザへの応答性を保つためのトラフィックエンジニアリング手法の検討と検証を行う。また、大規模災害等の障害にも対応できるための強固なインターネットバックボーン形成に関する実証実験を行う。

NSPIXP WGとして近年注力している研究テーマは、Software Defined Network (SDN)技術のIXへの導入である。SDN技術をIXに導入することにより、トラフィックの柔軟な制御や、攻撃を防御するためのセキュリティ機能をIXに提供できる。本年度は、このSDN技術を用いた次世代IXである、PIX-IE (Programmable Internet Exchange)の実現を目指した研究活動について述べる。さらに、PIX-IEに続くさらなる次世代アーキテクチャとして研究を開始した、PIX-IE++の概要についても述べる。

本研究は、WIDE Projectのサブプロジェクトである Network Service Provider Internet exchange Point (NSPIXP)プロジェクトとして行われている。NSPIXPプロジェクトは、日本初のIXを構築・運用したプロジェクトであり、現在はDIX-IE、NSPIXP-3、NSPIXP-23と呼ばれるIXを運用し、インターネットがより信頼性を有した高度情報インフラストラクチャとして機能するために必要

となる機能の検証や開発、ならびにその実証実験を行っている。PIXIEはこれらのIXに続く、実験的なIXとして構築・運用されている。

本報告書では、第2章にてプロジェクトの背景と現在の構成を述べ、第3章にて本年度の研究成果を報告する。最後に第4章にてまとめとこれからの展望について述べる。

第2章 プロジェクトの背景と現状

NSPIXPプロジェクトは、1994年のNSPIXP-1運用開始、1996年のNSPIXP-2運用開始、1997年のNSPIXP-3運用開始を経て、現在は、東京エリアに分散配置されたDIX-IEと、大阪に配置されたNSPIXP-3、ならびにこの2つのIXを結合した、NSPIXP-23、SDN技術を導入したIXであるPIX-IEという、4つのIXを運用している。全てのIXはIPv4/IPv6デュアルスタックにて運用されている。表1に2021年1月時点での、各IXの実証実験拠点を示す。

表1 各IX拠点一覧

DIX-IE	KDDI 大手町拠点
	NTT コミュニケーションズ大手町拠点
	NTT Data 大手町拠点
NSPIXP-3	NTT テレパーク堂島拠点
NSPIXP-23	KDDI 大手町拠点
	NTT コミュニケーションズ大手町拠点
	NTT テレパーク堂島拠点
	NTT Data 大手町拠点
PIX-IE	KDDI 大手町拠点
	NTT コミュニケーションズ大手町拠点
	NTT Data 大手町拠点

また、2021年1月時点での、DIX-IEならびにNSPIXP-23の構成トポロジを図1に示す。同様に、2020年1月時点における、PIX-IEの構成図を図2に示す。2019年度までは実験構成であったPIX-IEであるが、2020年度は最終形態に向けた構成変更が進み、WDMなどの光デバイスを用いて最終形態に近い構成が実現された。

DIX-IEに関しては、2021年度をもって運用を終了する予定である。具体的な終了日程については、十分な余裕を持ってアナウンスを行った後に運用を終了する。なお、

DIX-IEに接続している組織は、そのままPIX-IEにて接続を継続できるよう移行を行い、接続組織側では変更の必要無く移行ができるよう作業を行う予定である。

このように、本研究においては拠点障害に対応するための分散IXアーキテクチャの構築と運用に関する実証実験を行っている。

第3章 研究成果

(1) 新たなトラフィック傾向に対応したIXサービスアーキテクチャの研究

近年のスマートフォンの普及や動画コンテンツによるトラフィックの増大、ならびにIoTに代表されるような新たなトラフィックの動向に対して、コストバランスを持って対応することのできるIXの構築に関して取り組んだ。ポイントとしては、従来のIXのような高価かつ大規模な装置を使うのではなく、低価格かつ小規模な装置を連結することで、広域IXを構成することを目指した。さらに、前述のような多種のトラフィック動向に対して、BGPによる経路制御のみならず、より細かな粒度でトラフィック制御を行うためOpenFlow技術を導入したIXの構築に

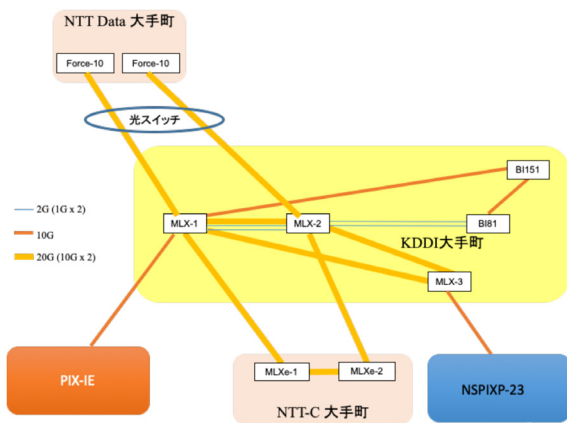


図1 DIX-IEならびにNSPIXP-23構成図

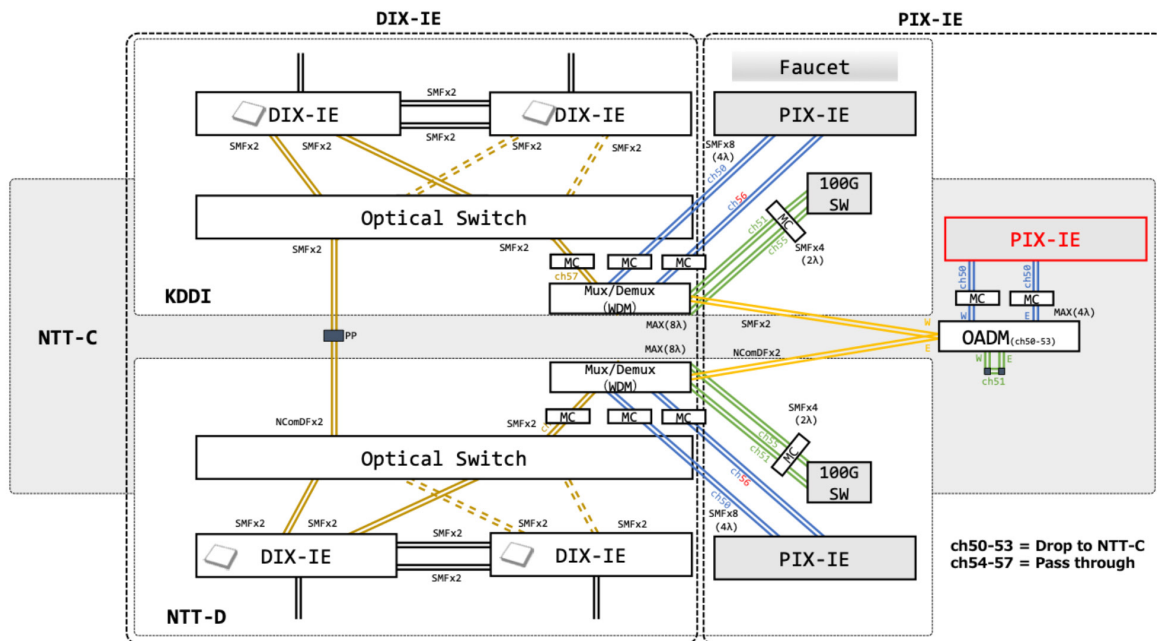


図2 PIX-IE構成図

取り組んだ。

その結果として、前年度の報告書においても報告した通り、東京エリアの複数拠点においてPIX-IEと呼ばれるSDN技術を用いたIXを構築し、運用を開始した。現状PIX-IEにて利用している機材は、以下の通りである。

- DELL S6000-ON (KDDI大手町拠点)
- NEC PF5240 (KDDI大手町拠点)
- Allied Telesis AT-x930-28GTX (NTTコミュニケーションズ大手町拠点)
- Allied Telesis AT-x930-28GTX (NTT Data大手町拠点)

どの機材も1Uサイズのスイッチ、もしくはサーバ機材を利用したソフトウェアスイッチであり、従来IXにて利用されていた機器より小型で低価格なものとなっている。これらを連結して論理的に1台のL2スイッチを構成し、かつ必要なトラフィックのみが疎通するよう構築されたものがPIX-IEである。多くの拠点においてAllied TelesisのOpenFlowスイッチが利用され始めている。これはPIX-IEの最終形態においてはすべての拠点をAllied TelesisのOpenFlowスイッチにて構成する予定である。理由としては、Allied TelesisのOpenFlowスイッチがOpenFlow 1.3規格への準拠度が高く、PIX-IEが求める機能を安価な価格帯にて実現している唯一のスイッチであるためである。

さらにPIX-IEでは、制御のためのSDNコントローラに新たなソフトウェアを導入した。東京エリアでのPIX-IEでは、NSPIX Projectによって自作されたコントローラを利用していた。しかし、自作のコントローラの場合、利用するOpenFlowスイッチの種類が増えた場合に自身で動作を検証する必要があり、新たな機能を実装しようとした場合にもその機能を一から作成する必要があった。そのため、今回新規導入したPIX-IE NTTテレパーク堂島拠点では、FAUCET^{*1}と呼ばれるオープンソースのSDNコントローラを導入した。FAUCETはPython言語にて記述されており、OpenFlowスイッチにてファブリック

を構築するためのSDNコントローラである。複数種類のOpenFlowスイッチをサポートし、それらを連結して論理的に1台のOpenFlowスイッチやL2スイッチ、L3スイッチを構成することができる。FAUCETの公式Webページによると、以下の機能がサポートされている。

- VLANs
- IPv4 and IPv6 support
- IPv6 neighbor solicitation and router advertisement support
- Static and BGP routing
- Flexible port and VLAN based Access Control Lists
- Port mirroring
- Fast configuration reloads
- Vendor neutral stacking of Openflow switches
- Policy based forwarding to offload processing to external systems (Eg802.1x via hostapd)
- Configurable learning: Control unicast flooding by port and by VLAN
- Dataplane for NFV - Offload functions such as DHCP, NTP, Firewall, and IDS
- CouchDB support for storing flows from switches to enable north bound applications
- Influx support for time-series OpenFlow port statistics
- Prometheus integration for monitoring and instrumentation of FAUCET
- Grafana based dashboards for monitoring

すなわち、OpenFlowスイッチを利用して、通常のL2スイッチやL3スイッチが有する機能を手軽に実現することができる。この中でIXの構築に利用できる機能は少ないが、このFAUCETの上にTouSIX Projectにて開発された

Umbrella^{*2}という方式を実装することで、OpenFlowスイッチを用いたIXを実現した。Umbrellaに関しての詳細は論文^{*3} “ENDEAVOUR : A Scalable SDN Architecture for Real-World IXPs”に述べられている。今回この方式の作者である、Marc Bruyere研究員をNSPIX Projectに迎え

*1 <http://faucet.nz/>

*2 <https://blog.apnic.net/2017/05/08/tousix-project-sdn-ixps-design-production/>

*3 <http://www.dia.uniroma3.it/~compunet/www/docs/chiesa/endeavour-jsac.pdf>

入れ、PIX-IEにて利用する新たなSDNコントローラを構築した。

Umbrella方式の利点は、各OpenFlowスイッチやSDNコントローラが通信の状態を保持することなくIXに接続されたユーザ同士のトラフィック交換が行えることである。現在東京エリアで用いられている独自開発のPIX-IE SDNコントローラにおいても、各スイッチは基本的に静的なルールのみを利用しているが、ARPやNDPの処理にOpenFlowのPacketIN、PacketOUTという処理を用いているため、OpenFlowスイッチとSDNコントローラの間での通信が頻繁に行われる。その点Umbrella方式では、ARPやNDPも静的ルールのみで解決されるため、不必要なARPやNDP、事故によって発生する突発的なブロードキャストやマルチキャストを除外しながら、必要なARP、NDPトラフィックを確実に伝達することができる。すなわち、IXでの通信事故を防いだ、より信頼性の高いIXを構築することができる。また、FAUCETの上にUmbrella方式を実装することにより、OpenFlowスイッチの種別を意識することなく、FAUCETの機能を利用してより簡単にPIX-IEの付加機能を実現することが可能となるため

である。また、このFAUCETをPIX-IE堂島拠点に導入するにあたって、以下のテスト項目を実施した。

- ARP unicast試験
- ICMPv6 ND unicast試験
- ルール不適合パケット破棄試験
- IPv4/IPv6 unicastトラフィック試験
- ARP/NDPを送信しながらのスループット試験
- FAUCETコントローラ再起動時におけるトラフィック挙動試験

これらのテスト項目をすべてパスしたOpenFlowスイッチは、LagopusとAllied Telesis x930であった。そのため、PIX-IE堂島拠点にAllied Telesis x930を導入した。

PIX-IEに構築されたFAUCET SDNコントローラの構成図を図3に示す。

GAGUGEはOpenFlowスイッチからトラフィック情報などの統計情報を収集するモジュールであり、Grafanaは可視化ツールである。

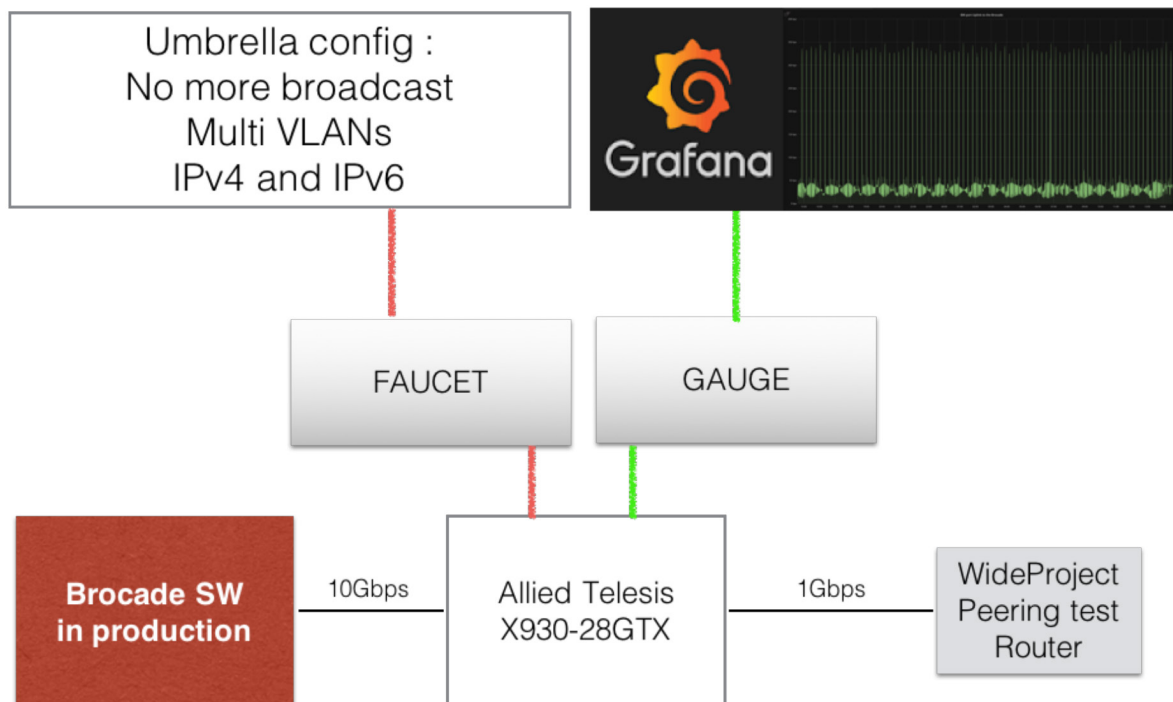


図3 FAUCET SDNコントローラ構成図

現在、NTTテレパーク堂島拠点のみこのFAUCET + UmbrellaによるSDNコントローラを利用してPIX-IEが運用されているが、本年度後半から来年度にかけて、東京地区のSDNコントローラもFAUCET + Umbrellaに置き換えることを計画している。

さらに、IXP Manager^{*4}と呼ばれるIXの管理ソフトウェアと連携し、FAUCETのコンフィグを自動生成、投入するシステムを開発した。PIX-IEの最終形態として、DIX-IEからの移行を行う際には、IXP ManagerとFAUCETを連携させたシステムにて、運用を開始する予定である。

(2)さらなる次世代IX(PIX-IE++)の設計と構築

本研究プロジェクトにおいては、PIX-IEへの移行とともにさらなる次世代IXの研究開発に取り組んでいる。具体的には、Layer-3を基盤としたIP CLOSアーキテクチャで構築された多拠点IXのアーキテクチャ研究に取り組んでいる。IP CLOSアーキテクチャにて構築されたL3網の上に、VXLANを用いたオーバーレイネットワークL2網の上でトラフィック交換を行う、もしくはL3網におけるトラフィック交換を実現することを目指す。IP CLOSアーキテクチャに基づいたPIX-IE++のコンセプトアーキテクチャを図4に示す。

さらに、拠点間の大容量通信をサポートするために、光回線の多重化を低コストで行うことを目指す。そのため、安価なWDMや光アンプ、OADMなどの機材と拠点間ダークファイバを用いたIXアーキテクチャの構築を目指す。具体的に導入を検討している機材を図5に示す。

現在、これら機器を用いた拠点間接続の実証実験を行っている。波長のチャネルを使い分け、チューナブルレーザを採用した光モジュールなどを検証しながら、現在図6に示す構成を構築している。

第4章 まとめ

本報告書では、2020年度におけるNSPIXプロジェクトでの研究開発と実証実験に関して、その成果をまとめた。特にPIX-IEに関して、移行を含めた構築の最終段階に入っており、2021年度中のDIX-IEからPIX-IEへの完全移行を予定している。そのために、新たなコントローラ導入を含めた研究開発と実証実験を行った。NSPIXプロジェクトでは、これからのISPやコンテンツ事業者に求められる、高度情報インフラストラクチャとしてのIXサービスのありかたを常に念頭におき、より強固なインターネッ

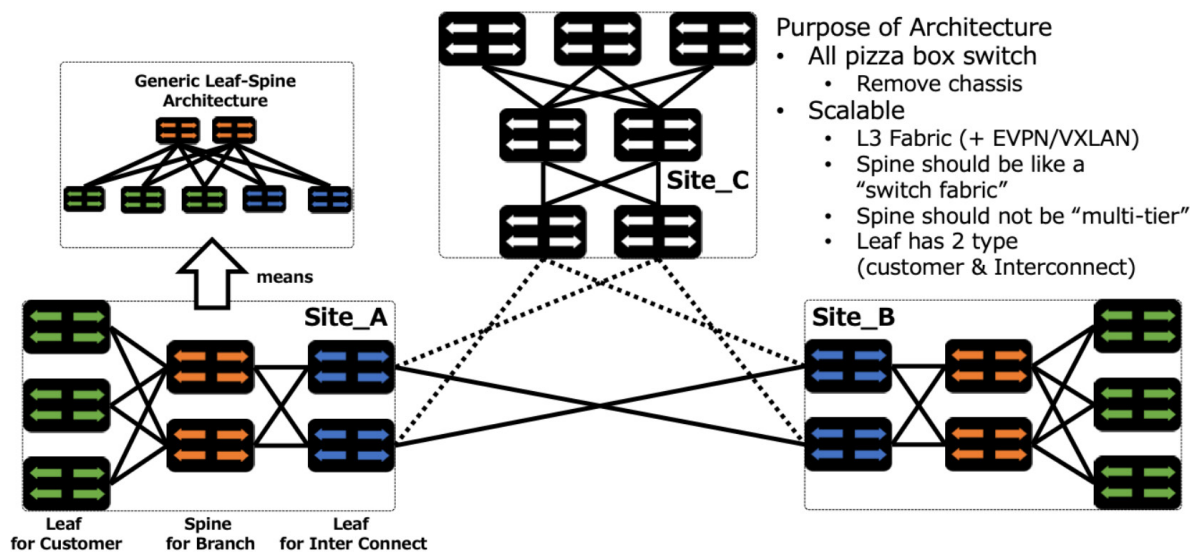


図4 PIX-IE++のアーキテクチャ

*4 <https://www.ixpmanager.org/>

トバックボーンとサービスを実現するための、高度な運用技術の研究開発ならびに実証実験を行っていく所存である。

さらに、PIX-IEの次のアーキテクチャである、PIX-IE++に関するアーキテクチャ研究を開始した。安定性と機能性、そして安価なコストを実現した次世代IXを、世界規模での運用に発展させることが、NSPIXPプロジェクトの社会貢献であり、存在意義であると考えている。

• **100G Transponder**

- Inphi Color-Z
 - 50G PAM4 (1ch 2λ WDM)
 - QSFP28 Formfactor



• **QSFP28 Media Converter**

- Smartoptics DCP-108
 - QSFP28 x 8 Media Converter
 - Half 1U Size



• **WDM**

- FS.com WDM parts
 - EDFA x2, VOA x1, DCM, (Mux/Demux x1, OADM x1 is already used.)

図5 PIX-IE++における光デバイスの検討

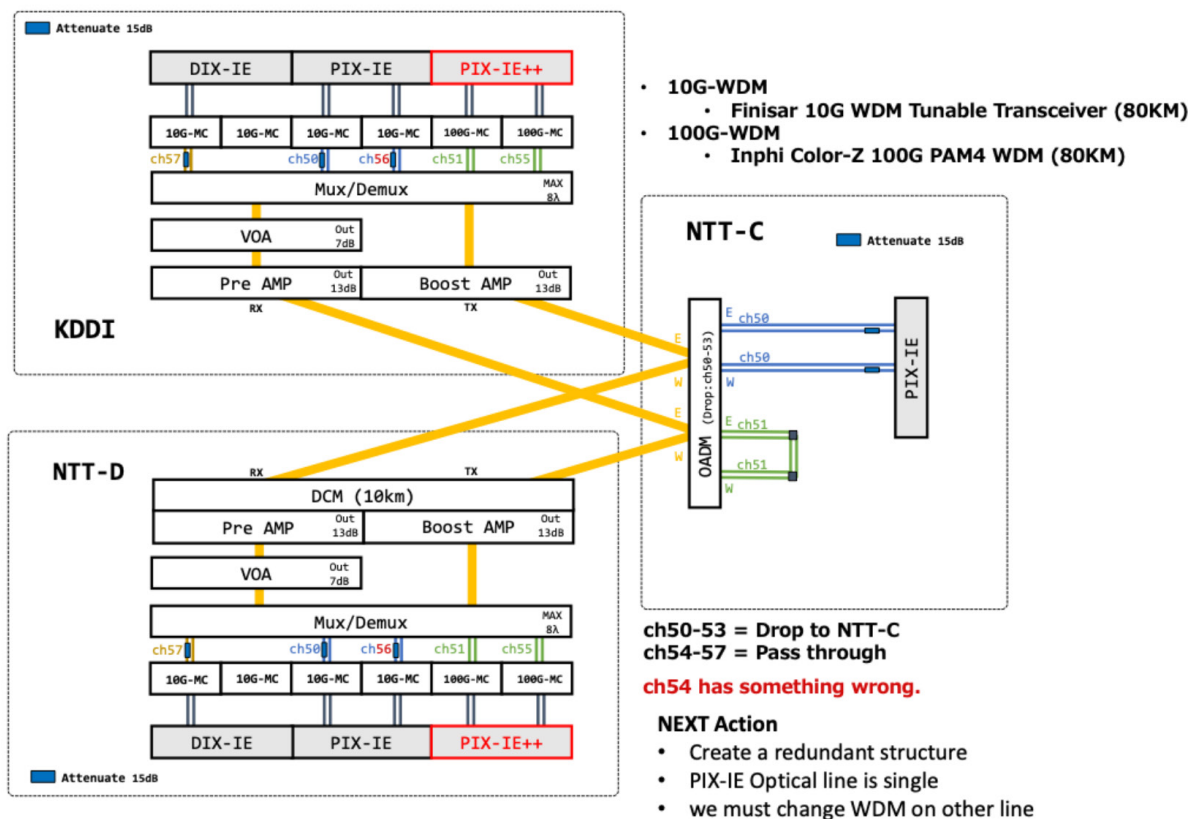


図6 拠点間接続における光デバイスの導入と設計