

第16部

ネットワーク相互接続の実証実験 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の形成に関する実証実験を行う。

NSPIX 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 (NSPIX)プロジェクトとして行われている。NSPIX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、NSPIX-3、NSPIX-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節にてプロジェクトの背景と現在の構成を述べ、第3節にて本年度の研究成果を報告する。最後に第4節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

NSPIXプロジェクトは、1994年のNSPIX-1運用開始、1996年のNSPIX-2運用開始、1997年のNSPIX-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NSPIX-3、ならびにこの2つのIXを結合した、NSPIX-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2020年1月時点での、各IXの実証実験拠点を示す。

また、2020年1月時点での、DIX-IEならびにNSPIX-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。PIX-IEは実験的IXで

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
NSPIX-3	NTT テレパーク堂島拠点
NSPIX-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

あるため、構成図に利用しているスイッチの機種名も明記した。紫色の枠にて囲まれているスイッチが、PIX-IEを構成しているOpenFlowスイッチとなる。

PIX-IEにおけるOpenFlowコントローラは、東京エリアと大阪エリアでそれぞれ設置している。これは、コントローラ間の通信に障害が発生した場合、遠隔拠点のOpenFlowスイッチが制御できなくなることを防ぐため、それぞれのエリア(東京・大阪)単位でOpenFlowコントローラを設置する構成を選択した。

このように、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、高信頼性を実現するための冗長化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、前述のような多様な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

ク制御を行うためにOpenFlow技術を導入したIXの構築に取り組んだ。

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。この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)
- Lagopusソフトウェアスイッチ(NTTコミュニケーションズ大手町拠点)
- Pica8 (NTT Data大手町拠点)
- Allied Telesis AT-x930-28GTX (NTTテレパーク堂島拠点)

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。また、NTTテレパーク堂島拠点は、新たに平成29年7月にPIX-IE拠点到追加された。この拠点到て利用されたスイッチはAllied Telesis社のスイッチであり、初の導入となる。NTTテレパーク堂島拠点におて設置されたPIXIEスイッチの様子を図3に示す。図中の赤丸にて囲まれた1UサイズのスイッチがPIX-IEのスイッチであり、その上部にマウントされているBrocadeのスイッチがNSPIXP-3となっている。

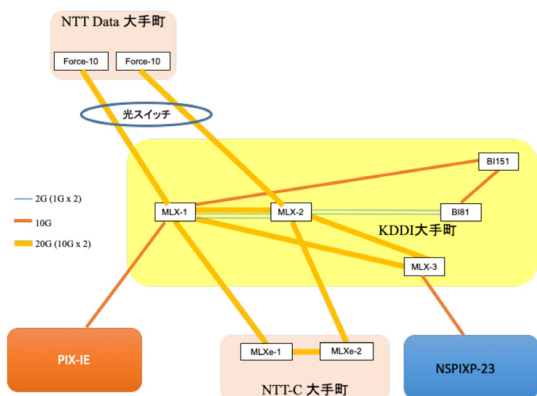


図1 DIX-IEならびにNSPIXP-23構成図

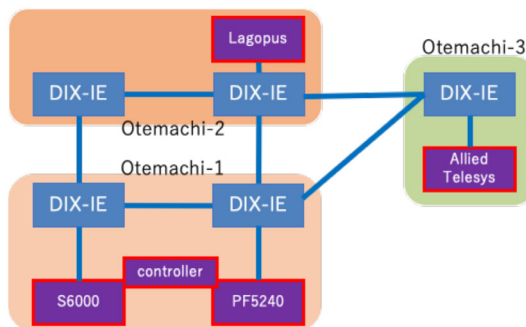


図2 PIX-IE構成図

さらに、PIX-IE NTTテレパーク堂島拠点では、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

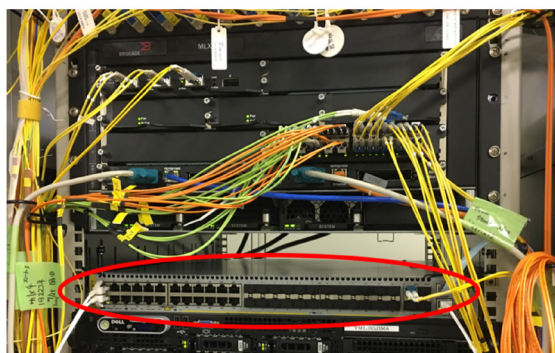


図3 PIX-IE NTTテレパーク堂島拠点

- Vendor neutral stacking of Openflow switches
- Policy based forwarding to offload processing to external systems (Eg 802.1x 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に関する詳細は論文*3 “ENDEAVOUR : A Scalable SDNArchitecture 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

*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>

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易に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/ND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。

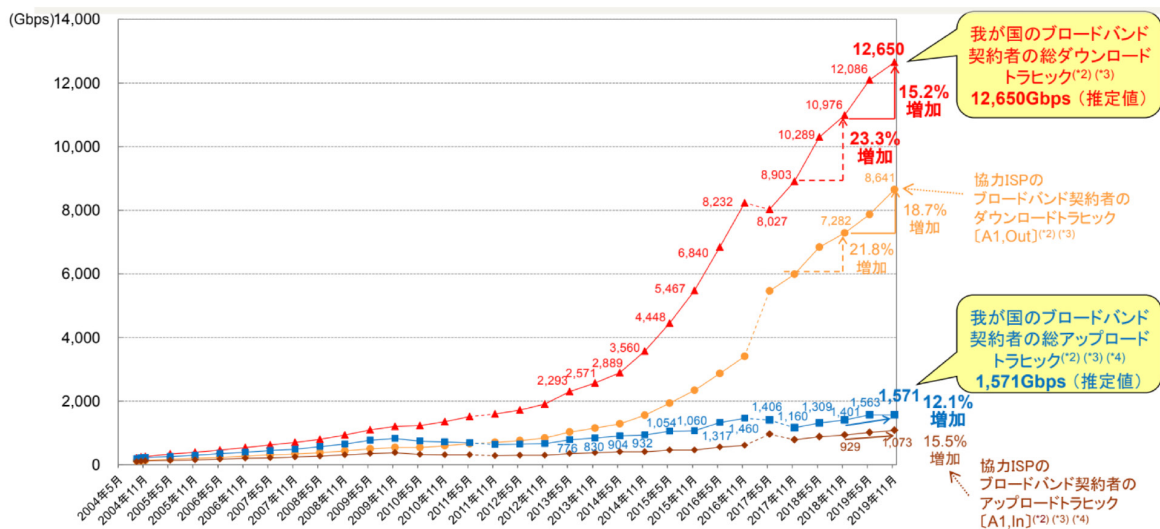


図4 日本国内における総トラフィック量の推定

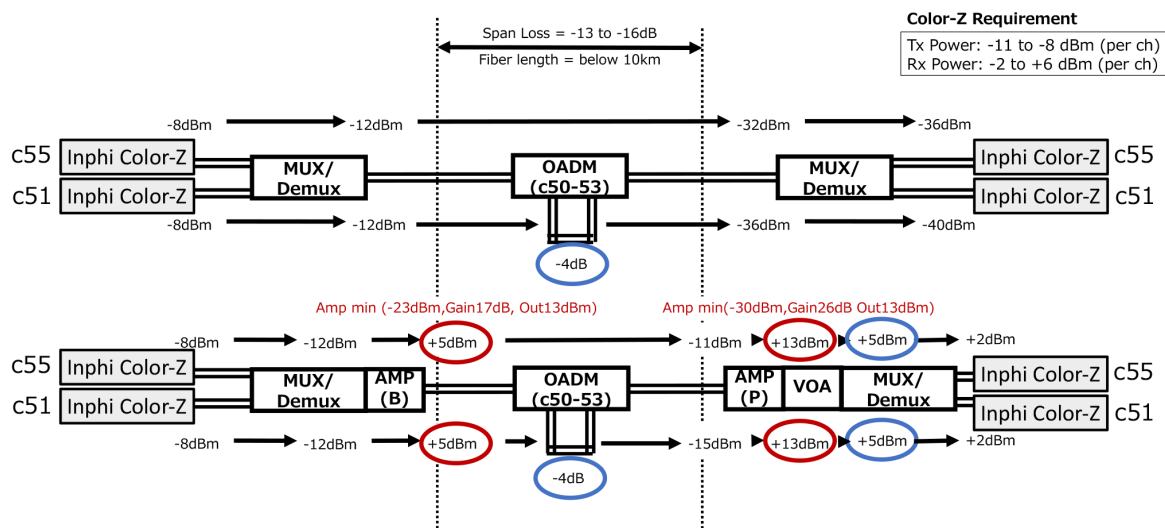


図5 波長多重化によるサイト間複数100Gbps通信

(2) サードパーティオプティクスを活用した安価な通信路の実現

昨今、インターネットにて交換されるデータ量は順調に増大している。総務省が公開している、日本における総トラフィック量の推移を図4に示す。

そのため、IXに求められる帯域も増大しており、他の商用IXにおいては100GbpsにてIX接続を行うカスタマーが増加している。まだDIX-IEおよびPIX-IEは、カスタマーへの100Gbps接続を提供していないが、近い将来に提供することを計画している。そのためには、スイッチ間接続ならびにサイト間接続を100Gbps以上の帯域にて実現する必要がある。

100Gbpsの光モジュールである、QSFP28サイズの100G-LR4や100GCWDM4等は昨年あたりから急激に価格が下がっており、スイッチ間の接続を安価に100Gbpsにて行うことが可能となっている。しかし、サイト間接続の場合には、100G-LR4や100G-CWDM4では光レベルが弱く利用することができない。そのため100G-ER4等の利用もしくは光アンプ装置による光レベルの増幅が必要となる。さらに、サイト間の接続を100Gbps以上にて行う場合には、サイト間にて100Gbps回線が複数本必要となる。IXの構成や特性上、サイト間の回線にキャリアサービスを用いることは考えにくく、ダークファイバと呼ばれる芯線貸し出しを行うサービスを用いてサイト間接続を構築する。したがって、サイト間に複数本のファイバが必要となるが、サイト数が増えたり、サイト間にて接続の冗長性を確保するためにトポロジをメッシュ構成にすることで必要となる芯線数が増大し、ファイバ調達にかかるコストが増大する。そこでDIX-IE / PIX-IEでは、WDM等の波長多重化技術を用いることで、なるべくサイト間に必要となるファイバの芯線数を抑え、かつ波長多重に必要となる機材のコストを抑えたIXのモデルに関する検討を行った。

その一つの工夫が、光モジュール(QSFP28)における波長多重化のサポートである。通常の100G-LR4等では、利用する波長帯が同一であるため、複数の100G回線を束ねて同一のファイバで通信を行うためには、WDM装置による波長変換と波長の合成が必要となる。しかし、WDM

装置は一般的に高価であり、サイト間で用いる場合には両端に導入する必要があるため、コストが増大する。そこで現在導入を検討しているのが、Inphi社のColor-Z光モジュールに代表されるような、利用する波長帯を変更することができる光モジュールである。このような光モジュールを導入し、IXを構成するスイッチに対してこのようなQSFP28光モジュールを直接挿すことによって、波長変換を行う必要が無く複数の波長を利用した100Gbps通信が可能となる。Color-Zを利用した場合のサイト間100Gbps接続構成図を図5に示す。

この構成においては波長変換装置は必要ないものの、波長を合成するための装置や、光アンプ装置は必要となる。これらの装置もなるべく安価なものにて構成することを検討している。

(3) さらなる次世代IXを実現するためのアーキテクチャ検討

現在、SDN技術を利用したIXとして、PIX-IEの試験運用を行っている。一方で、前述の通りIXに求められる帯域やサイト数は増大しており、IXを構成する機材やその管理のコスト削減が大きな課題となっている。

そこで本プロジェクトでは、PIX-IEのさらに次の次世代IXアーキテクチャの検討を開始した。仮称としてPIX-IE++と命名し、アーキテクチャの検討を開始した。具体的には、データセンターにて用いられているCLOSアーキテクチャをIXにも導入し、サイト間の接続を冗長性と帯域を向上させる形態にて実現することを目指す。検討中のアーキテクチャを図6に示す。

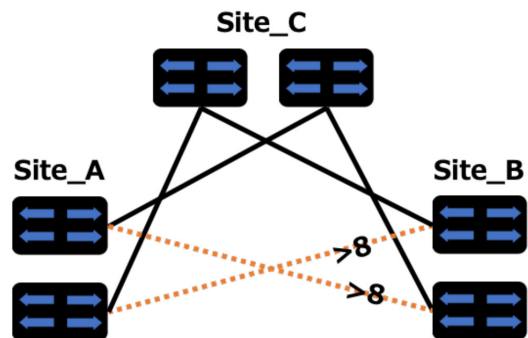


図6 新たなサイト間アーキテクチャ

この構成により、フルメッシュに近い形のサイト間接続を実現することで、サイト間帯域と冗長性の向上を目指す。しかし、この構成は従来のL2技術では管理が難しく、通信の制御も難しい。そこで、このアーキテクチャにSDN技術を適用することを検討したが、冗長性の制御が複雑なものとなるため、SDN技術よりL2 over L3技術の方が適しているとの検討結果になった。すべてのスイッチをL3構成にて接続し、BGPによるL3経路制御を行うことによってトラフィック制御と冗長性を実現する。また、通常のIXカスタマー同士の通信は、L2ではなくL3にて実現することを目指す。これにより、L2特有の障害の発生を抑え、管理コストを低減することが可能となる。現在実現を目指しているPIXIE++の構成概要を図7に示す。

PIX-IE++のアーキテクチャは、2年後の実現を目指して検討を開始している。このアーキテクチャ実現のためには、前述の光モジュール導入による、サイト間通信コストの削減が必須であり、安価なサイト間通信路の実現とあわせて、PIXIE++の実現を目指す。

第4章 まとめ

本報告書では、2019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、次世代IXを目指す注力技術として、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。さらに、IXサイト間通信を強化するための光モジュール構成検討や、さらなる次世代IXを目指したPIX-IE++の検討を開始した。

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。

特に、PIX-IE++本研究における最重要テーマであり、その実現に関して最優先に取り組んでいく所存である。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、NSPIX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。

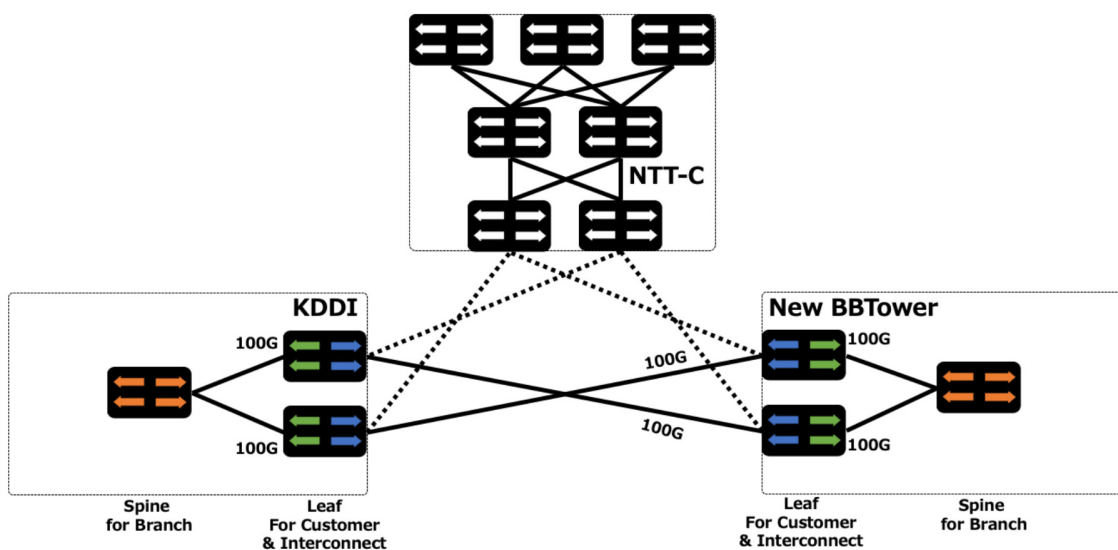


図7 PIX-IE++が目指すアーキテクチャ