

第5部

特集5 ホワイトボックスルータに基づくWIDEネットワークアーキテクチャの検討

近藤 賢郎

第1章 はじめに

WIDEバックボーンネットワーク(WIDE-BB)は国内はもとより海外にも拠点(NOC, Network Operation Center)を持つ広大なレイヤ2およびレイヤ3ネットワークである。WIDE-BBは各接続組織の対外接続ネットワークとして活用されるだけでなく、インターネットの新技术を開発している研究者、開発者らの新技术の運用実験の場としても頻繁に活用されている。その運用はTWO (Team of WIDE Internet Operators)ワーキンググループ(TWO WG)に参加する各NOCの運用者による定常的な運用に支えられている。

本稿ではTWO WGが主導するWIDE-BBの再設計・再実装に関する取組を紹介すると共に、主に汎用計算機上のソフトウェアやホワイトボックス・スイッチに基づいたルータ(Whitebox Router)によるバックボーン・ネットワークの構築法に関して検討する。Whitebox Routerは近年のルータ機器実装のコモディティ化に対応して、従来からのone-fits-allで垂直統合型のルータ実装ではなくルータを構成する機能毎の水平分業分割を可能とする。結果的にWhitebox Routerを用いることで、バックボーン・ネットワークの運用者視点での要求事項に基づいた機能のカスタマイズが可能となる。

以下に本稿の構成を示す。2章では現在のWIDE-BBの概略を示す。3章では再設計・再実装に関わらず維持すべきWIDE-BBの役割・ミッションを述べる。4章ではこれまでに実施してきた再設計・再実装に関わる活動を示すと同時に、Whitebox Routerに基づくWIDE-BBの再設計・再実装の方針を述べる。5章では現在WIDE-BB内で実施を進めているWhitebox Routerの実証試験について述べて、

7章で本稿をまとめる。

第2章 WIDE-BBの構成

図1に現在のWIDE-BBの構成を示す。現在のWIDE-BBの構成は主に、2000年代初期から始まった10Gbps化プロジェクト(たいしたもんだプロジェクト)、及び2015年度より実施した100Gbps化プロジェクトが元になっている。

国内には100Gbps回線で接続される8つの主要拠点(NTT大手町, KDDI大手町, 根津(東京大学), 藤沢(慶応大学・SFC), 矢上(慶応大学・矢上), 堂島, 小松(JAIST), 奈良(NAIST))がある。それらの主要拠点に接続する形でその他の拠点(日吉(慶応大学・日吉), 秋葉原(IPA ICS-CoE), 筑波(筑波大学), 仙台(CySOL), 福岡(九州大学), 岡山(OKIX), 左京(京都大学)など)はWIDE-BBに接続する。

各拠点間の接続は主に100Gbps回線と10Gbps回線に基づく。基本的にはダークファイバによって接続されているため、TWO WGによる運用範囲はIP網に限らず光伝送網にも及ぶ。東阪間や北陸との接続といった一部の中長距離系の回線はSINET/JGNによる回線サービスを利用する。

対外的な接続については、国内商用系ネットワークへの接続は主にDIX-IE/PIX-IEを、国内・国際の学術系ネットワークへの接続は主にT-LEX/T-REXを経由する。国内の学術ネットワークとしてはSINET, JGN, MAFFINに接続する。国際の学術ネットワークとしてはAPAN, CENICに接続する。トランジット経路は主にGIN (AS2914)から受信する。

第3章 WIDE-BBが担うミッション

WIDE-BBの再設計・再実装を進めるに辺り、WIDE-BBが担うミッションについて今一度本章にて整理する。これらのミッションについては、再設計・再実装を進めた後も維持する必要がある。

(i) コモディティ・インターネットへの接続性の提供: WIDEに参加する学術研究機関に対して、インターネットへの接続性を提供する必要がある。このことはインターネットへの接続性をサービスとして提供するというに加えて、インターネットの運用技術や日々の運用の中で生ずる問題や課題を運用者自身が身をもって獲得する場としても機能する。インターネットへの接続性をサービスとして提供するという特性をもつので、堅牢なサービスの提供が求められる。但しその一方で、運用者自身が運用技術について試行錯誤する場であり、(後述の通り)実験網としての役割もWIDE-BBは担うことから、ここでの堅牢性とはやむを得ず生じる障害については許容しそ

れらができる限り早く復旧させれば足りることを意味する。

(ii) 広域実験ネットワークとしての役割: WIDEに参加する学術研究期間に対して、広域に跨がる実験ネットワークを提供する必要がある。WIDEプロジェクトはインターネット技術に関わる研究開発プロジェクトであることから、その中で行われる研究開発活動に対するテストベッドとしての役割を提供する必要がある。TWO WGはWIDEプロジェクトに所属する研究者に対して、ソフトウェア/ハードウェアを問わず(悪意を含まない)任意の実装をWIDE-BBに導入することを許容する。上述の通りWIDE-BBには収容する学術研究機関からコモディティ・インターネットへのトラフィック(コモディティ・トラフィック)が流れているため、テストベッドとしてのWIDE-BBは実トラフィックに基づいた任意の実装に対しての実証試験が可能となる。

(iii) トラフィック計測基盤としての役割: WIDE-BBを流れるトラフィックの観測を通してインターネットの

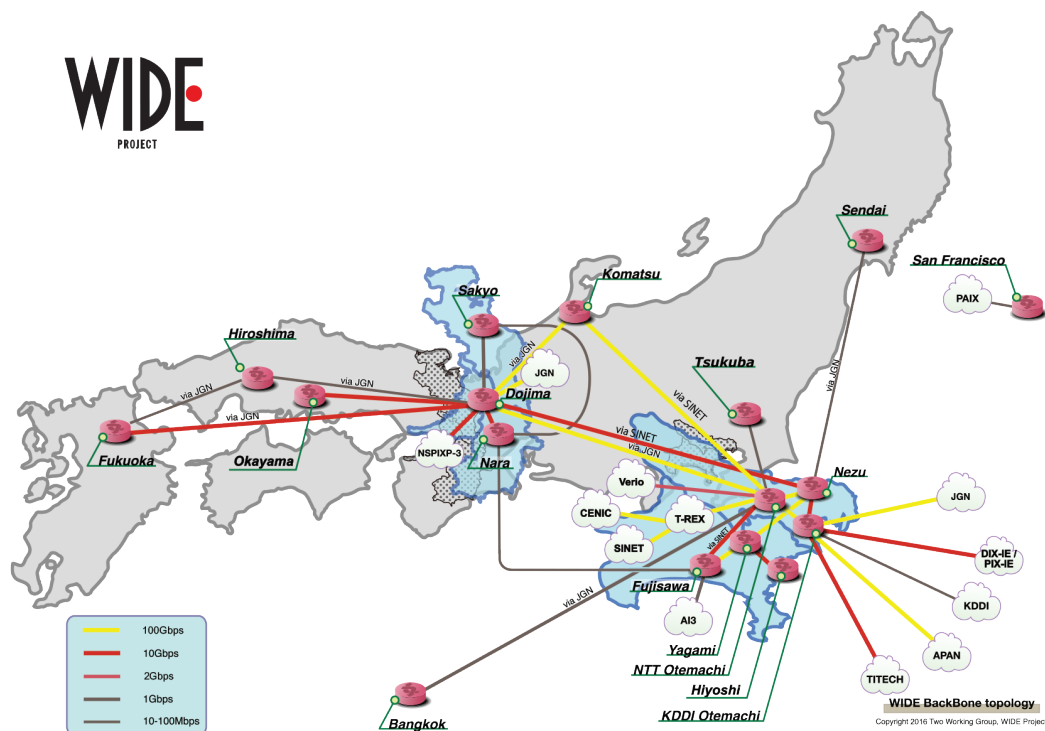


図1 WIDEバックボーントポロジ

動態を把握できる必要がある。WIDEプロジェクトではMAWI (Measurement Activities of WIDE Internet) ワーキング・グループを中心に、インターネット・トラフィックの動態を解析する研究活動を実施する。これらの研究活動はWIDE-BBで観測されるトラフィック情報(e.g., PCAP, xflow)を元に実施される。WIDE-BBはそれらのトラフィックの計測活動を支える基盤として正確なトラフィック計測を実現する環境を構築する必要がある。

第4章 Whitebox Routerに基づく再設計・再実装

4.1 再設計・再実装に関わるこれまでの活動

TWO WGでは2章で述べたWIDE BBの構成を再設計・再実装するための検討を実施してきた。2章で述べた現在のWIDE-BBの構成は10Gbps化/100Gbps化プロジェクトに基づいたものとなっているが、これらの取り組みは広帯域な回線に基づいたバックボーン・ネットワークの構築を目的としたものであった。今後も特に広域実験ネットワークとしての役割を担うために、国内・国際共にバックボーン・ネットワークのさらなる広帯域化は継続する必要がある。しかし、他の学術ネットワークプロジェクトとの差異化を図るためには、広帯域化に併せてさらなる付加価値をWIDE-BBには追加する必要があるとTWO WGでは考えるに至った。

WIDE-BBの再設計・再実装に関する議論を始めたのは2016年12月に国立天文台水沢観測所で実施したTWO WGの合宿に遡る。そこで現在のWIDE-BBの構成をTWO WG内で確認すると共にTWO WGに属する運用者が抱える問題意識を共有した。その後TWO WG内部での検討を重ねて、2018年12月に東京大学本郷キャンパスにて開催したWIDE研究会のプレナリセッションにてTWO WGを超えた議論を実施し、2019年3月には合宿テーマを“WIDE-BB再設計・再実装”と据えたWIDE合宿を開催した。

4.2 Whitebox Routerに基づいたWIDEインターネット・アーキテクチャ

本稿は4.1節の議論に基づいてこれからのバックボーン・ネットワークが備えるべく機能が運用者視点の要求事項

に従ったカスタマイズ可能性であるとの立場に立ち、そのようなバックボーン・ネットワークを実現するための実験ネットワークとしてWIDE-BBを再設計・再実装する取り組みについて論ずる。従来からのネットワーク機器はNetworkProcessorやCAMといった機能をASICベースのハードウェアを元に実装しており、これらの機能は単一のベンダによる垂直統合型(one-fits-all)の機器に実装されていた。それらの中には運用者の視点で必ずしも必要ない機能が含まれていたり逆に必要な機能が不足している場合においても、ネットワーク機器に含まれる機能のカスタマイズは事実上不可能な状態となっていた。

一方で昨今ソフトウェアベースの高速I/O技術や所謂 merchant siliconと言われる汎用的なフォワーディング・チップの普及が進んだことにより、それらの機能を水平分業型に分解して運用者からの要求に従って機能を取り替え可能なネットワーク機器(Whitebox Router)の普及が現実的となっている。具体的には、運用者視点でのトラフィック・エンジニアリングの必要性に基づいた、Segment Routing, BGP Flowspec, VPLSといった機能実装の選択, L7 firewall等のnetwork security function機能実装の選択が挙げられる。

Whitebox Routerを積極的に取り入れていくことで運用者視点でカスタマイズ可能性を満たすバックボーン・ネットワークを構築するための広域実験環境としてWIDE-BBを構成するとともに、それらの機器を中長期的な期間にわたって運用する際の技術課題を洗い出すことを目的とすることを、本稿では今後のWIDE-BBが備えるべく新しいミッションであると考えている。

第5章 WIDE-BBにおけるWhitebox Routerの実証試験

5.1 Whitebox Routerの導入

4.1節で述べた2019年3月のWIDE合宿以降、WIDE-BBには複数のWhitebox Router機器が導入されており、その実証試験が現在実施されている。具体的にはNTTコミュニケーションズ社製のKamuee (図3)が藤沢拠点に導入され、KDDI社製のThararctOS (図5)が矢上拠点に導入されている。何れの機器も100Gbpsインターフェイスにてそれぞ

れ順に藤沢拠点と矢上拠点に接続(図2,4)されている。
 Kamueeは汎用計算機上で動くソフトウェアルータであり、高速I/O技術としてDPDK, BGP IPv4フルルートを超える経路表の高速ルックアップ技術としてPoptrieが用いられている。ThalarctOSはホワイトボックス・スイッチ機器に基づいたルータ機器であり、現在はBroadcom製のチップセットを前提としたファブリックデーモンの開発が進められている。何れの機器についても制御プレーンの機能(e.g., ospfd, bgpdなど)は現在オープンソースを用いた実装となる。

5.2 WIDE-BBにおける実証試験の状況

WIDE-BB内では2019年5月27日より矢上拠点にてThalarctOSの実証試験が、2019年8月20日より藤沢拠点にてKamueeの実証試験がそれぞれ開始され現在に至る。ThalarctOSにはWIDE-BB内のOSPF経路(IPv4/IPv6)、KamueeにはWIDE-BB内のBGP経路(IPv4/IPv6)がインストールされている。

現在までの実証試験の中で、主に以下のような課題が確認されている。

- (i) **RIBとFIBの不一致**: 実証試験を開始した当初は特にnetlink通信の信頼性に起因すると推定される要因により、RIBとFIBの間でのエントリの不一致が散見されていた。現在までにこれらの問題は解消されたことを確認している。
- (ii) **一部の実運用上必要な機能の未実装**: 例えばAccess Control List (ACL)といった機能はバックボーン・ネットワークの運用者の視点でのtraffic filteringを行うのに必要不可欠な機能と考えられるが、これらの機能をサポートするための実装が不足していることを確認した。

これらの問題が生じる要因としては、Whitebox Router機器の開発においてquality controlを十分に実施するための仕組みが不足していることが考えられる。実運用に耐える機器を開発するためにはその運用環境に即した



図2 Kamuee(藤沢NOC設置)



図4 ThalarctOS(矢上NOC設置)

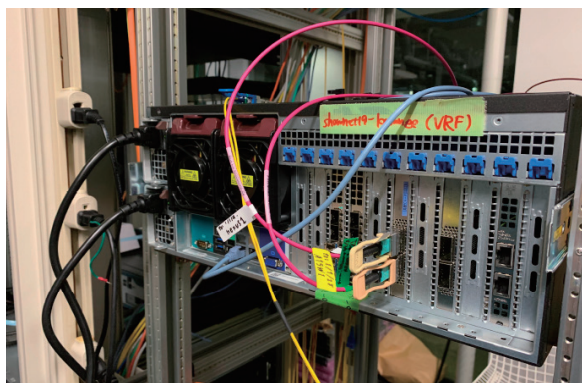


図3 Kamueeのインターフェイス(100Gbps接続)



図5 ThalarctOSのインターフェイス(100Gbps接続)

機能要件の確認や、実装された機能に対して必要十分なテストケースを用意する必要がある。これらのquality controlのための仕組みを作るには運用者に多大なコスト負担を要求するのが現状であり、この点が研究開発上の課題と考えられる。

第6章 今後の方向性

WIDE-BBへのWhitebox Routerの導入に関しては、現在導入済みの藤沢拠点と矢上拠点はWIDE-BBのトポロジ上はエッジに近い拠点なのに対して、WIDE-BBのトポロジ上でコアに近い拠点への導入を計画している。具体的には、NTT大手町及び堂島拠点へのKamueeの導入、KDDI大手町拠点へのThararctOSの導入を計画中である。

Whitebox Routerをバックボーン・ネットワークで使用するための研究課題としては、5.2節で述べたようなquality controlを十分に実施するための仕組みの開発が必要といえる。つまり運用者によるWhitebox Routerの開発を抽象化するSDKや高位なフレームワークの作成や、作成した実装に対するvalidation/evaluationテストの自動化機構が必要といえる。

第7章 まとめ

本稿では、TWO WGが主導するWIDE-BBの再設計・再実装に関する取組を紹介すると共に、主に汎用計算機上のソフトウェアやホワイトボックス・スイッチに基づいたルータ(Whitebox Router)によるバックボーン・ネットワークの構築法に関して述べてきた。2019年3月のWIDE合宿以降、WIDE-BBへのWhitebox Routerの導入とそれらの機器の実証試験が進んでいる。

その中で運用者によるWhitebox Router機器の開発に際してquality controlを簡易化する機構の研究開発が必要であると現在認識するに至った。今後それらの機構の開発をWIDE内で進めると共に、WIDE-BBへのWhitebox Router機器のさらなる導入を進めていく所存である。