

# ブロードバンド通信対応の地域IX実現に向けた実証実験と評価

長田 智和<sup>†</sup> 谷口 祐治<sup>††</sup>

近年、インターネットが普及し、ギガビットイーサネット、ATMなどを用いたネットワークの高速化が急速に進んでいる。最近では、ADSLをはじめとするブロードバンド通信サービスがエンドユーザに普及し、主に首都圏に設置されているインターネットエクスチェンジ（IX）では負荷の急増によってパケット損失や通信遅延が引き起こされ、首都圏から離れた地域における通信性能にも影響を与えている。この問題を解決するため、我々は沖縄県に地域IXを実装し、上位ネットワークの状態に依存しない地域内通信環境を実現した。さらに、ブロードバンド通信対応の地域IX構成モデルを考案し、シミュレーションによる評価を行った。本論文では、まず、我々が実装した地域IXである沖縄インターネットエクスチェンジ（OIX）について述べる。次に、ブロードバンド通信対応の地域IX構成モデルを提案し、シミュレーションによる評価を行う。最後に、地域内における通信環境および、今後急速に普及が予想されるブロードバンド通信環境における提案モデルの有効性を示す。

## An Experiment and Evaluation of Regional IX to Optimize for Broadband Communication

TOMOKAZU NAGATA<sup>†</sup> and YUJI TANIGUCHI<sup>††</sup>

In recent years, network load become serious problem with the popularity of high-speed networks using such technologies as ATM, Gigabit Ethernet and xDSL. The network load have been increasing burden on Internet eXchanges installed mainly on metropolitan areas. And the load on these IXs have been causing network problems like packet losses and communication delays, which have adverse effect on the network far from them. In order to improve the network load, regional IX, which is not depend on the status of high-order network, is needed. Therefore, we implemented a regional IX in Okinawa prefecture to realize a regional communication environment. In this paper, we first describe the detail of the Okinawa Internet eXchange (OIX) in detail. Second, we suggest technique for constructing a regional IX supporting broadband communication and evaluate its performance by simulation. Third, we show effectiveness of suggested method in regional area and in coming broadband network environment.

### 1. はじめに

近年、インターネットの普及やネットワークの高速化が急速に進んでいる。最近では、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) をはじめとするブロードバンド通信サービスがエンドユーザに普及し、主に首都圏に設置されているインターネットエクスチェンジ (以下、IX:Internet eXchange) では負荷の急増によってパケット損失や通信遅延が引き起こされている。

このことは、特に地理的に首都圏のIXから離れた

地域では大きな問題となる。つまり、物理的に通信経路が長くなる地域においては、従来から、経路上の機器障害や回線障害、さらに、経路制御の不安定性による頻繁な経路変更や通信ループ、非対称経路などの影響を受けやすいという問題があったが、エンドユーザへのブロードバンド通信サービスの普及による首都圏のIXの負荷増大は、これらの問題をますます助長する可能性がある。

この問題を解決するため、首都圏の限られたIXだけで集中的に通信トラフィックを交換するのではなく、複数のIXを設置して、通信トラフィック交換の負荷を分散させることが考えられる。特に、地域IXの効果は文献1)~7)で指摘されており、首都圏のIXへの負荷軽減だけでなく、地域内の通信性能改善など、様々な効果を期待することができる。これらのことから、我々は、沖縄県に地域IXを実装してその効果を検証

<sup>†</sup> 琉球大学理工学専攻総合知能工学専攻  
Department of Information Engineering, University of the Ryukyus

<sup>††</sup> 琉球大学総合情報処理センター  
Center for Integrated Information Processings, University of the Ryukyus

し、さらに、ブロードバンド通信対応の地域IX構成モデルを考案してシミュレーションによる評価を行った。

本論文では、まず、2章でIXの分類と地域IXの概要について述べる。次に、3章では我々が実装した地域IXについて述べ、統計データから定量的な評価を行う。さらに、4章では実装した地域IXや地域IXにおける一般的な問題点から、ブロードバンド通信対応の地域IX構成モデルを提案してシミュレーションによる評価を行い、提案モデルの有効性を示す。最後に、5章でまとめとする。

## 2. 地域IXについて

### 2.1 IXの分類と地域IXの概要

IXは、その性格から大きく3つに分類される。まず、主に国際通信トラフィックを交換するInternational IX、次に、主に国内通信トラフィックを交換するNational IX、そして、地域内通信トラフィックを交換するRegional IXである(図1)。

このうち、International IXは、主に米国に集中している。また、日本国内においては、National IXとして、WIDEプロジェクト<sup>8)</sup>のNSPIXP(Network Service Provider Internet eXchange Point)<sup>9)</sup>や、商用のJPIX(JaPan Internet eXchange)<sup>10)</sup>、MEX(MEdia eXchange)<sup>11)</sup>、インターネットマルチフィード<sup>12)</sup>などが運用されている。

一方、Regional IX(以下、地域IX)は近年国内各地に設置されている。代表的なものに、東北地域内インターネット相互接続(TRIX)<sup>13)</sup>や山梨地域情報ネットワーク相互接続機構(Y-NIX)<sup>14)</sup>、岡山県情報ハイウェイ(OKIX)<sup>15)</sup>などがある。これらの地域IXはアップリンクなどのリソース共有によるコスト削減や、IX参加者ルータ間の通信経路短縮による通信性能改善(パケット損失や通信遅延の軽減)などを目的として運用されている。

さらに、地域内通信トラフィックを地域IXで閉じて交換することによって、以下の効果が得られることが文献1)、2)で示されている。

- (1) 上位アップリンク障害時にも地域内通信が可能
- (2) 上位アップリンクに対する通信負荷の軽減

まず、(1)は特定の地域IX接続参加組織のアップリンクが何らかの原因で通信不能になった場合でも、他の地域IX接続参加組織への通信を確保できることを意味する。また、(2)は地域内の通信トラフィック

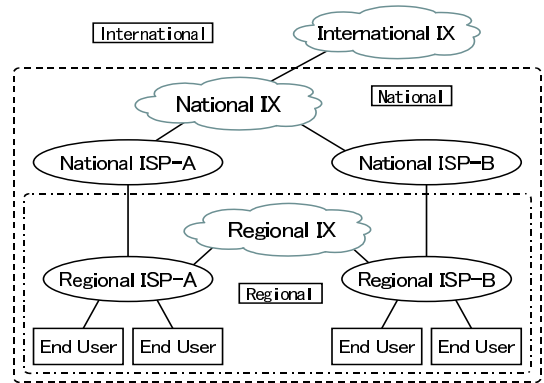


図1 IXの種別  
Fig. 1 Kinds of IX.

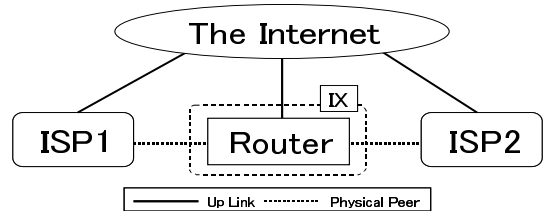


図2 レイヤ3接続構成モデル  
Fig. 2 Connection structure model based on layer 3.

を地域IXで閉じて交換することによって、上位アップリンクへの通信負荷を軽減することである。

以上のように、地域IXは、地域内の通信性能改善やコスト削減、アップリンクへの負荷軽減などを目的に運用され、近年注目されている。しかし、実際には個々の地域IXの運用形態は地域の特性によって大きく異なり、さらに、技術者不足や運営基盤の問題、不明確な費用対効果などの問題も指摘されている<sup>3)</sup>。

### 2.2 地域IXの接続構成モデル

地域IXをその接続形態に着目して、レイヤ3接続構成モデルとレイヤ2接続構成モデルに分類する。

レイヤ3接続構成モデルの基本構成は、IX上のルータにIX参加者ルータを接続し、経路制御およびトラフィック交換を一括管理するものである(図2)。レイヤ3接続構成モデルの特徴は、地域IXにおける経路制御やセキュリティなどのポリシー管理をIX上のルータで容易に管理できることがあげられる。しかし、独自ポリシーによるIX参加者ルータ間の論理接続(ピアリング)への対応が比較的困難である。

これに対して、レイヤ2接続構成モデルの基本構成は、IX上のスイッチや共用型専用線を用いてIX参加者ルータを接続し、IX参加者間のピアリングを個別に行うものである(図3)。レイヤ2接続構成モデルの

OKIXでは、独自のアップリンクによる地域外通信トラフィックのトランジットも行われている。

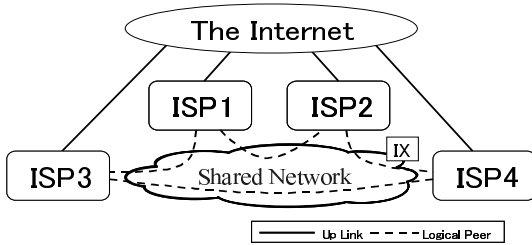


図3 レイヤ2接続構成モデル

Fig. 3 Connection structure model based on layer 2.

特徴は、独自ポリシーによるIX参加者ルータ間のピアリングが容易に行えることがあげられる。しかし、レイヤ3接続構成モデルに比べて経路制御やセキュリティなどのポリシー管理を地域IX上のルータなどで統一的行うことが比較的困難である。特に、地方における地域IXではユーザの技術レベルの問題もあり、地域IX上のルータで集中的なポリシー管理を求められるケースも多く、レイヤ2接続構成ではこのようなユーザの要求に柔軟に対応することが難しい。

一般に、地域IXは、通信トラフィックの交換を地域内に閉じているものと、地域IXが独自のアップリンクを保有して地域外への接続性を提供しているものがある。前者は、IX参加者が独自のアップリンクのほかに地域IXにも接続し、地域内の通信性能改善を主な目的とするものであり、後者は、アップリンク共有によるアップリンクコストの削減を主な目的とするものである。

### 2.3 地域IXの課題

1章で述べたとおり、エンドユーザへのブロードバンド通信サービスの普及は、首都圏のIXの負荷を増大させるだけでなく、首都圏から離れた地域における通信性能にも影響を与える可能性がある。また、現在の多くの地域IXではIX参加者との接続回線帯域が数Mbps程度であり、10Mbps～100Mbps以上といった広帯域通信を行うには不十分である。さらに、特に地方においては、BGP4による経路制御などの高度なネットワーク運用技術を持つ技術者は限られている。

これらのことから、地域IXでは以下の接続環境の実現が課題である。

- (1) ブロードバンド通信対応の広帯域接続環境
- (2) 様々なレベルの接続形態に対応可能な接続環境

まず、(1)の実現には高速回線を用いた接続を行うことが考えられるが、一般的な専用線サービスは金額的な導入・運用コストで問題がある。そのため、共用型専用線サービスや、安価になりつつある高速無線LANを導入することが考えられる。また、(2)の実現には

シリアル専用線、イーサネット、無線LANなどの多様な回線接続や、BGP4、OSPF、RIPv2などの動的経路制御および静的経路制御など、様々な接続形態および運用技術レベルに対応可能である必要がある。

以上の課題を克服するため、次章では実装した地域IXの評価を行い、その結果からブロードバンド通信対応の地域IX構築手法を提案する。

## 3. 沖縄インターネットエクスチェンジ(OIX)

### 3.1 概要

沖縄インターネットエクスチェンジ(以下、OIX: Okinawa Internet eXchange)<sup>6)</sup>は、沖縄県における地域内の通信性能改善および、ネットワーク関連技術の研究開発<sup>17)~21)</sup>を目的として我々が実装した地域IXである。平成9年に沖縄県のネットワーク技術者グループから構想が提起され、平成10年に試験的な相互接続が実施された。平成11年4月からは本格的な運用が開始され、平成14年2月現在、地域系ISP4組織、学術研究機関4組織が接続参加している。

### 3.2 ネットワーク構成

OIXは、1.5Mbpsのシリアル専用線および10/100Mbpsのイーサネットを用いて接続参加組織と相互接続を行っており、前述した接続構成モデルではレイヤ3接続構成モデルとなっている。すべての接続参加組織の回線はOIX基幹ルータに収容し、OIX基幹ルータにおいて通信トラフィックの交換を一括して行っている。また、独自のアップリンクは持っておらず、地域外通信トラフィックのトランジットは行っていない。経路制御にはBGP4、OSPF、RIPv2を用いており、OIX基幹ルータでは接続参加組織からアノンスされる経路を再配布(redistribute)することによって、接続参加組織間の通信経路確保を実現している。さらに、サーバセグメント上にインターネットサービスホストを設置し、WWW、FTP、IRC、Newsなどのアプリケーションサービスを提供している(図4)。

### 3.3 評価

OIXの性能評価のため、図4におけるUniv1に実験ホストを設置し、パケットdumpによる通信トラフィック解析および、ping、pathchar、tracerouteによるRTT(Round Trip Time)、回線帯域(ボトルネック帯域)、ホップ数の測定を行った。

まず、図5、図6は1カ月間(測定期間: H13/12/1～12/31)のUniv1-OIX間の通信トラフィック量の変化とサービスごとの割合を表したものである。これによると、通信トラフィック全体ではTCPが約98%を占め、UDPが約1%、その他は約1%となっている。ま

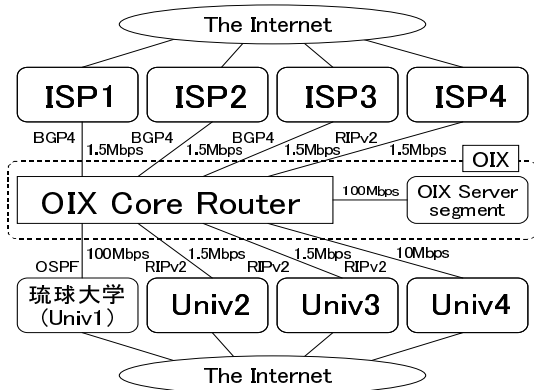


図 4 OIX 接続構成  
Fig. 4 Structure of OIX.

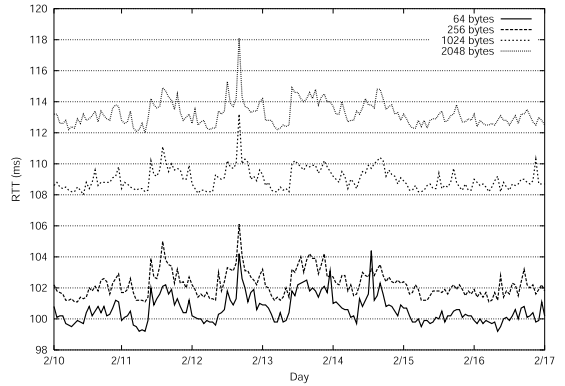


図 7 RTT (非 OIX 経由/測定区間: Univ1-ISP1)  
Fig. 7 RTT between Univ1 and ISP1 not through OIX.

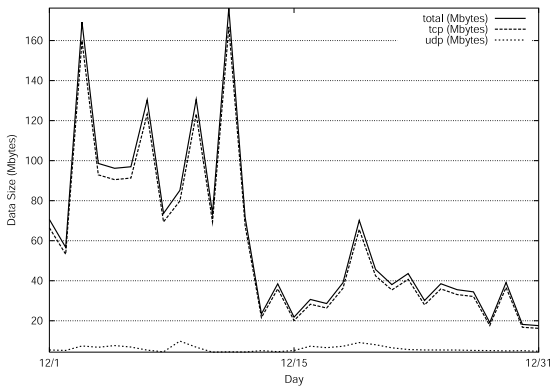


図 5 通信トラフィック (測定区間: Univ1-OIX)  
Fig. 5 Communication traffic between Univ1 and OIX.

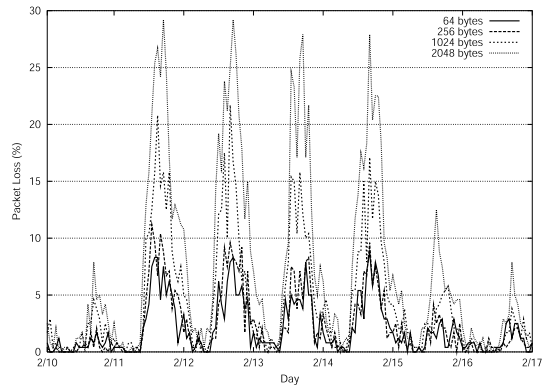


図 8 パケット損失率 (非 OIX 経由/測定区間: Univ1-ISP1)  
Fig. 8 Packet loss rate between Univ1 and ISP1 not through OIX.

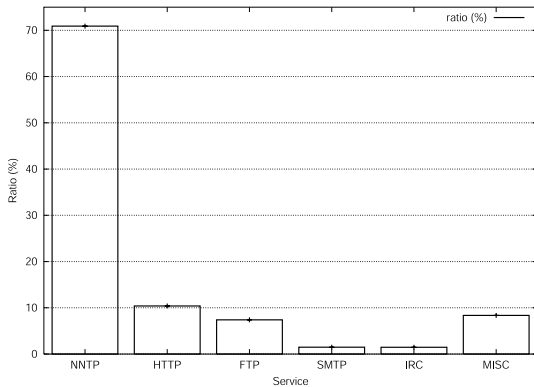


図 6 サービスごとの通信トラフィック  
Fig. 6 Communication traffic ratio of services.

た、サービスごとに見ると通信トラフィックの約70%をNNTPが占め、次いでHTTP,FTP,SMTP,IRCの順となっている。NNTPの割合が大きい要因は、OIXサーバセグメントで行っているNewsサービスによるものである。また、IRCの通信トラフィックが比較的

多いのもOIXの特徴の1つである。

次に、RTTとパケット損失率の1週間の変化を測定した。図7、図8は非OIX経由時(測定期間: H14/2/11~H14/2/17)であり、図9、図10はOIX経由時(測定期間: H14/2/17~H14/2/24)を表したものである。RTTとパケット損失率は、Univ1の実験ホストから各接続参加組織のWWWサーバにpingを送出して測定を行った。また、パケットサイズによる通信性能への影響を確認するため、ICMPパケットサイズを64,256,1,024,2,048バイトに設定し、それぞれ5分ごとに1秒間隔で20回測定を行った。さらに、図7~10は1時間ごとに平均値を求めて1日24サンプルとして表したものである。これらの結果によると、OIX経由時は非OIX経由時に比べて、RTTおよびパケット損失率が低いことが確認できる。これは、OIX経由時は経由するルータ数が少なく、経路途中のボトルネックルータの影響を受けにくいことが要因である。また、両者ともパケットサイズが大きくな

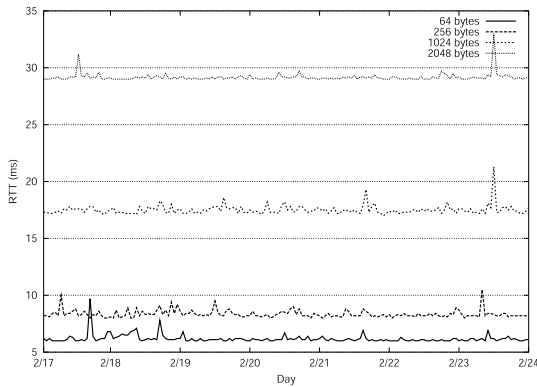


図9 RTT ( OIX 経由/測定区間: Univ1-ISP1 )  
Fig. 9 RTT between Univ1 and ISP1 through OIX.

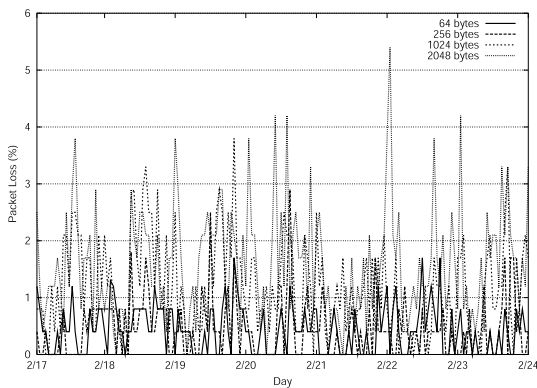


図10 パケット損失率 ( OIX 経由/測定区間: Univ1-ISP1 )  
Fig. 10 Packet loss rate between Univ1 and ISP1 through OIX.

るにつれて、RTT、パケット損失率が大きくなっていることが確認できる。これは、経路途中に負荷の高いルータやバッファサイズの小さなルータが存在するためである。すなわち、RTTは経路途中における物理伝送遅延とルータのパケット転送処理時間によって決定されるもので、物理伝送遅延はつねにほぼ一定であるため、大きなサイズのパケットがルータでの処理時間に影響を与えている。具体的には、OIX 経由時においてパケットサイズが大きくなるにつれてルータ上でバッファ溢れが発生していることを、SNMPを使ってルータのインタフェースの入出力バッファの状態を観察することで確認した。また、OIX 非経由時にはOIX 接続組織以外のルータの状態は確認できないが、同様にルータでのバッファ溢れが発生していると推測できる。さらに、このようにルータの負荷が高くなり、バッファ溢れが発生することからパケット損失にも影響を与えていると考えられる。

次に、ジッタ(パケット到着時間のばらつき)を確認するため、測定した OIX 経由時と非 OIX 経由時

表 1 RTTとパケット損失率(非 OIX 経由時)

Table 1 RTT and packet loss rate not through OIX.

区間	hop	RTT (ms)	パケット損失率 (%)
Univ1 - ISP1	18	109.0(108.5)	4.4(22.9)
Univ1 - ISP2	19	99.4(100.3)	6.6(17.9)
Univ1 - ISP3	21	138.4(152.5)	4.1(7.9)
Univ1 - ISP4	19	113.1(112.6)	0.8(2.2)
Univ1 - Univ2	5	31.9(32.0)	4.2(20.4)
Univ1 - Univ3	5	24.9(24.5)	0.0(0.1)
Univ1 - Univ4	5	61.3(228.2)	52.6(228.0)

( )内は標準偏差

表 2 RTTとパケット損失率(OIX 経由時)

Table 2 RTT and packet loss rate through OIX.

区間	hop	RTT (ms)	パケット損失率 (%)
Univ1 - ISP1	3	18.0(28.5)	1.7(7.7)
Univ1 - ISP2	4	18.9(18.6)	0.7(1.7)
Univ1 - ISP3	4	23.6(23.6)	0.5(7.0)
Univ1 - ISP4	4	18.2(17.8)	0.0(2.2)
Univ1 - Univ2	4	20.2(20.2)	0.0(0.3)
Univ1 - Univ3	3	22.2(22.2)	0.0(0.0)
Univ1 - Univ4	3	11.1(10.5)	1.8(4.2)

( )内は標準偏差

の RTT からそれぞれの RTT の標準偏差を計算した。また、ジッタによるパケット損失率への影響を確認するため、パケット損失率とその標準偏差を計算して比較を行った(表1,表2)。これによると、非 OIX 経由時は OIX 経由時に比べて RTT の標準偏差が大きく、ジッタが大きいことが確認できる。特に、Univ1-Univ4 間では、非 OIX 経由時のジッタが非常に大きくなっている。これは、Univ4 のアップリンク帯域が 128 Kbps であり、OIX 接続回線帯域の 1.5 Mbps に比べて非常に小さく、アップリンクで頻繁に輻輳が発生しているためである。また、パケット損失率についても非 OIX 経由時は OIX 経由時に比べて標準偏差が大きいことが確認できる。これらの結果から、回線帯域の大小や通信経路の長さの違いは、ジッタだけでなく、パケット損失にも影響を与えているといえる。

一般に、動画や音声などのリアルタイム通信を用いたアプリケーションでは、ジッタやパケット損失が通信品質に与える影響が大きい。このことから、OIX 経由時は非 OIX 経由時に比べて、このようなアプリケーションを利用するうえでより適した通信環境を提供していると結論できる。さらに、OIX 接続回線の帯域(1.5 Mbps)と同等のスループットが得られるアップリンク回線を同程度のコストで導入することは現実的に不可能である。したがって、地域内通信性能改善および、回線コストの観点からも OIX の有効性を主張

することができる。

#### 4. 提案モデル

##### 4.1 要求仕様

3章では実装した OIX の評価を行い、通信遅延やパケット損失、ジッタなどの通信性能改善が実現されていることを確認した。しかし、エンドユーザへのブロードバンド通信サービスの普及や、地域内の情報流通基盤としてのユーザに対する地域 IX への接続の容易性を確保すること、さらに、柔軟な拡張性や高度なオペレーションへの対応などのスケラビリティを考慮すると、現在の OIX の構成形態では十分ではない。具体的には、動画像などのストリーミング配信による広帯域通信が 1.5 Mbps 程度の回線帯域では困難であることや、独自ポリシーによる IX 参加者間のピアリングが困難であるといった問題があげられる。

これらの問題に対処するため、2.3 節で述べた地域 IX の課題もふまえて、以下のような地域 IX を設計する。

- (1) 接続参加組織と地域 IX との接続に広帯域回線を使用 (要求仕様 1)
- (2) 運用コスト低減のため安価な広帯域回線の使用 (要求仕様 2)
- (3) レイヤ 3 接続構成モデルおよびレイヤ 2 接続構成モデルの複合型接続構成モデル (要求仕様 3)

以上の仕様を満たした地域 IX を実現するため、次に示すモデルを提案する。

##### 4.2 提案モデルの概要

まず、要求仕様 1 および 2 を満たすため、イーサネット専用線サービスを利用する。イーサネット専用線は、従来多く利用されていたシリアル専用線に比べ、TA などの機器が必要ないことによる初期コストの低さや、帯域あたりの運用コストの低さが導入の利点としてあげられる。回線帯域としては、10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps が提供されている場合が多いが、今回は最も低コストである 10 Mbps を選択する。

また、イーサネット専用線サービスは“網形態”として使用する (以下、イーサネット専用網サービス)。具体的には、通常、イーサネット専用線サービスは VLAN によって利用者ごとのセグメントを分割して提供されるが、これを複数の利用者で同一 VLAN を共用することによって、透過的に広域な同一セグメントの HUB を形成するものである。このように、共用型専用線サービスを利用することによって、回線運用コスト削減や、回線集約のための機器 (スイッチなど) を独自に管理する必要がなくなるなどの利点がある。

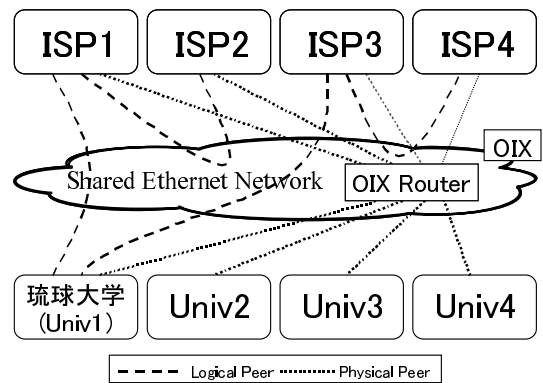


図 11 提案手法に基づく OIX 構成イメージ

Fig. 11 Image of OIX structure based on proposal method.

れる。

さらに、要求仕様 3 を満たすため、レイヤ 3 接続構成モデルとレイヤ 2 接続構成モデルの「複合型接続構成モデル」による地域 IX の構築を行う。具体的には、イーサネット専用網サービスによって、地域 IX ユーザが個別にピアリングできる接続形態 (レイヤ 2 接続構成モデル) を提供しながら、さらに地域 IX 上にルータを設置して、シリアル専用線などを直接ルータへ収容する接続形態 (レイヤ 3 接続構成モデル) も提供する。これによって、たとえば、個別ピアリングによる BGP4 の運用が困難なユーザに対しても簡易な接続形態 (RIPv2 や静的な経路制御) を提供することが可能となる。OIX ルータに収容する地域 IX ユーザと、それ以外の地域 IX ユーザ間の通信は、OIX ルータが個別の地域 IX ユーザとピアリングを行うことによって到達性を確保する。

以上のように、安価なイーサネット専用網サービスを用いた複合型接続構成モデルとすることによって、既存のレイヤ 2 接続構成モデルおよびレイヤ 3 接続構成モデルに対し、それと同等の回線帯域を確保し、かつ回線コストを低減することが可能となる。さらに、ユーザへ地域 IX への容易な接続性を提供することも可能となる。

以上の提案モデルに基づく OIX 構成イメージを図 11 に示す。

##### 4.3 シミュレーション

提案モデルによって実装された IX の評価のため、ns2<sup>22)</sup>を用いて IX 経由時と非 IX 経由時を想定したシミュレーションを行い、通信スループット、RTT、パケット損失率を調べた。図 12 はシミュレーションに使用したネットワークモデルであり、OIX を想定している。

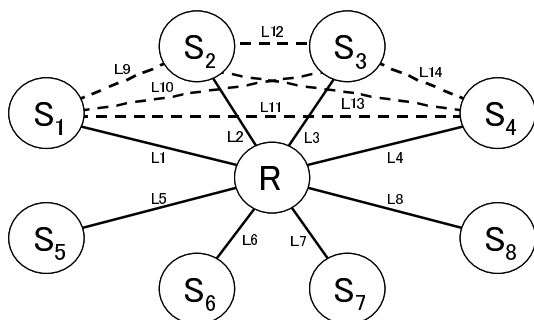


図 12 シミュレーションネットワークモデル  
Fig. 12 A simulation network model.

表 3 リンク帯域幅  
Table 3 Link bandwidth.

リンク	IX 経由時 (提案手法) (想定値)	非 IX 経由時 (実測値)
L <sub>1</sub>	10.0	12
L <sub>2</sub>	10.0	7.9
L <sub>3</sub>	10.0	7.5
L <sub>4</sub>	10.0	12
L <sub>5</sub>	100.0	100.0
L <sub>6</sub>	10.0	1.5
L <sub>7</sub>	10.0	1.5
L <sub>8</sub>	10.0	0.128
L <sub>9</sub> ~ L <sub>14</sub>	10.0	-

単位: Mbps

図 12 において, S<sub>1</sub> ~ S<sub>8</sub> はエンドシステムであり, S<sub>1</sub> ~ S<sub>4</sub> が図 11 における ISP1 ~ ISP4 に該当し, S<sub>5</sub> ~ S<sub>8</sub> が Univ1 ~ Univ4 に該当する. R はルータ, L<sub>1</sub> ~ L<sub>14</sub> はエンドシステム間またはエンドシステムとルータ間のリンクを表しており, L<sub>1</sub> ~ L<sub>8</sub> の RTT およびパケット損失率は 3.3 節の評価実験で得られたデータ (表 2) をもとに設定し, L<sub>9</sub> ~ L<sub>14</sub> の RTT およびパケット損失率はそれぞれ 5 ms, 0% と設定した. また, S<sub>1</sub> ~ S<sub>4</sub> はイーサネット専用網サービス (L<sub>9</sub> ~ L<sub>14</sub>) で直接接続を行い, 各リンク回線帯域は表 3 (IX 経由時) のとおり設定した. S<sub>5</sub> ~ S<sub>8</sub> は R を経由することで他のエンドシステムとの到達性を確保する. ここで, 従来手法との比較のため, 各リンクの回線帯域を図 4 をもとに設定した場合のシミュレーションも行う. さらに, 非 IX 経由時との比較のため, L<sub>9</sub> ~ L<sub>14</sub> を削除し, R を透過的にインターネットアップリンクと見なした場合のシミュレーションも行う. このとき, L<sub>1</sub> ~ L<sub>8</sub> の RTT およびパケット損失率は 3.3 節の評価実験で得られたデータ (表 1) をもとに設定し, 回線帯域は pathchar を用いた実際の測定結果から, 表 3 (非 IX 経由時) のとおり設定した.

シミュレーションは, すべてのエンドシステム (S<sub>1</sub>

表 4 シミュレーション結果 (非 IX 経由時)  
Table 4 A simulation result not through IX.

	RTT (ms)		パケット損失率 (%)		通信スループット (Mbps)	
	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>
C <sub>1</sub>	114.9	115.3	3.7	3.8	0.70	0.62
C <sub>2</sub>	132.2	132.0	6.7	6.6	6.64	6.73
C <sub>3</sub>	131.1	131.6	6.7	6.7	6.73	6.71

C<sub>1</sub>: HTTP 通信 C<sub>2</sub>: FTP 通信  
C<sub>3</sub>: HTTP&FTP 混在通信

表 5 シミュレーション結果 (従来モデル/IX 経由時)  
Table 5 A simulation result through IX (traditional method).

	RTT (ms)		パケット損失率 (%)		通信スループット (Mbps)	
	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>
C <sub>1</sub>	18.9	22.9	1.2	1.1	0.72	0.41
C <sub>2</sub>	19.1	24.7	2.1	2.3	1.33	1.32
C <sub>3</sub>	19.0	25.4	2.2	2.5	1.32	1.32

C<sub>1</sub>: HTTP 通信 C<sub>2</sub>: FTP 通信  
C<sub>3</sub>: HTTP&FTP 混在通信

表 6 シミュレーション結果 (提案モデル/IX 経由時)  
Table 6 A simulation result through IX (proposal method).

	RTT (ms)		パケット損失率 (%)		通信スループット (Mbps)	
	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>
C <sub>1</sub>	16.1	19.3	0.1	0.1	4.71	4.34
C <sub>2</sub>	18.5	22.8	0.9	1.3	8.72	8.42
C <sub>3</sub>	18.4	22.1	0.8	1.2	8.84	8.62

C<sub>1</sub>: HTTP 通信 C<sub>2</sub>: FTP 通信  
C<sub>3</sub>: HTTP&FTP 混在通信

~ S<sub>8</sub>) 間でメッシュ状に, HTTP 通信, FTP 通信, HTTP および FTP 混在通信 (HTTP および FTP 通信量の比率は約 7:3 とした) の 3 つの通信環境を想定したトラフィックを発生させた. また, 観測点は S<sub>1</sub> および S<sub>5</sub> とし, それぞれを始点とするすべての通信トラフィックの通信スループット, RTT, パケット損失率の測定を行った. さらに, シミュレーション時間は 120 秒とし, すべての通信トラフィックはシミュレーション開始と同時に発生するものとした.

#### 4.4 評価

表 4, 表 5, 表 6 にシミュレーション結果を示す. 表 4 は非 OIX 経由時, 表 5 は従来モデルにおける IX 経由時, 表 6 は提案モデルにおける IX 経由時における結果である. なお, シミュレーション結果の通信スループット, RTT, パケット損失率は測定時間内における平均値となっている. 表 5 および表 6 によると, 提案モデルにおける IX 経由時の通信性能は従来

モデルによる IX に比べて、通信スループット、RTT、パケット損失率のすべてにおいて優れており、特にスループットは使用する回線帯域が大きいいため、大幅に性能が改善できている。

また、表 4 および表 6 によると、提案モデルによる IX 経由時は非 IX 経由時に比べて RTT およびパケット損失率が低いことが確認できる。特に、HTTP 通信においては IX 経由時にパケット損失がほとんど発生していない。これは、HTTP 通信トラフィックが、その性質上、連続的に大量の通信が発生する FTP や他のストリーム系のトラフィックとは異なり、断続的に通信が発生する特徴があり、非パースト的なものであるため、ルータのバッファ使用率が低くバッファ溢れが発生することが少ないためである。一方、FTP 通信ではパースト的な通信トラフィックが定常的に発生するため、HTTP 通信のみの場合と比べて RTT、パケット損失率とも大きくなっているが、それでも IX 経由時は非 IX 経由時に比べて大幅に低くなっている。HTTP および FTP 混在通信においても FTP 通信の影響が大きいため、FTP 通信のみの場合とほぼ同じ傾向となっている。

さらに、提案モデルによる IX 経由時は非 IX 経由時に比べて、通信スループットも優れている。これは、IX 経由時は実効帯域が大きく、さらに通信遅延が小さいことから、帯域遅延積による通信スループット低下の影響が少ないためである。逆に、非 IX 経由時は、回線帯域が IX 経由時に比べて大きい場合もあるが、RTT が大きいいため、帯域遅延積により実効帯域が抑制されている。また、IX 経由時には、 $S_1$  を始点とする通信トラフィックのスループットが、 $S_5$  を始点とする通信トラフィックのスループットに比べてやや大きい。これは、 $S_1$  を始点とする通信トラフィックのうち  $S_5 \sim S_8$  への通信トラフィック以外はボトルネックルータ  $R$  における輻輳の影響を受けずに直接通信を行えるため、平均の通信スループットが高くなっているためである。

以上のシミュレーション結果より、提案モデルにおけるネットワークモデルは、従来モデルおよび非 IX 経由時に比べて、10 Mbps 程度の広帯域通信環境下において、通信スループット、RTT、パケット損失の通信性能改善に有効であると予見することができる。

ここで、提案モデルによる運用コストについて言及する。まず、提案モデルによって地域 IX 側の運用コスト（ルータのオペレーションやポリシー管理）が大きくなることが考えられる。しかし、地域特有の運用環境下ではすべての地域 IX ユーザが必ずしも同じ形

態で接続参加できるとは限らない。このため、様々な接続形態への対応など地域 IX ユーザへ柔軟な接続性を提供することは地域 IX の役割を考えると必要である。また、近年ではイーサネットサービスなど広帯域で安価な回線サービスも普及しつつあり、これらを用いることによって回線コストも低く抑えることが可能である。

以上のことから、提案モデルによる地域 IX は、通信性能改善および総合的なコストの面からもその有効性を予見することができる。

## 5. まとめ

### 5.1 結論

本論文では、まず、地域内の通信性能改善のために実装した OIX について評価を行った。その結果、OIX による地域内の通信トラフィック交換によって、通信スループット、RTT、パケット損失、ジッタにおいて、通信性能改善を確認することができた。特にジッタについては、OIX による効果が顕著であった。次に、ブロードバンド通信対応の地域 IX 構成モデルを提案し、シミュレーションによって従来モデルおよび提案モデルにおける IX 経由時と、非 IX 経由時の簡易的な通信性能評価を行った。その結果、通信スループット、RTT、パケット損失において提案モデルにおける IX の有効性を予見することができた。さらに、コストの面においては、提案モデルによる地域 IX では運用コストが大きくなることが考えられるが、地域 IX ユーザへの柔軟な接続性を提供できるメリットが得られる。また、近年普及しつつある安価で広帯域な回線サービスを用いることによって回線コストも低く抑えることが可能であり、総合的なコストの面からもその有効性を予見することができた。

### 5.2 今後の課題

インターネット通信トラフィックは、その大部分が地域外のものであり、地域内の通信トラフィックは全体量から考えるとわずかである。このため、地域 IX を経由する通信トラフィックを増加させ、地域における主要な情報流通基盤として機能させるためには、さらなる環境改善が必要である。具体的な試みとしては、次世代 IX 研究会<sup>23)</sup>が提唱している、分散 IX への接続参加があげられる。分散 IX とは、複数の IX を相互接続し、透過的に広域的な IX を実現するものである。分散 IX に参加することによって、地域 IX を経由した通信トラフィック量の増加が見込まれ、首都圏の IX への通信負荷をより軽減することができると考えられる。



また、本論文では、ブロードバンド通信対応の地域 IX 構成モデルを提案したが、実際の地域 IX への実装は行われていない。したがって、提案手法を実装し、その運用データから定量的な評価を行う必要がある（これについては、平成 14 年 4 月より OIX において提案手法を実装し、評価を行う予定である）。

さらに、地域 IX はいまだ発展途上であり、統一的な構築および評価モデルはなく、技術的な検証も十分ではない。このことから、我々は今後も地域 IX におけるネットワーク関連技術の研究開発および技術検証を行い、その成果を公表していく予定である。

具体的な研究課題としては、

- 地域 IX における通信トラフィックの詳細な特性分析と解析のモデリングに関する研究
- 地域 IX における経路制御や帯域制御などのポリシー管理システムの構築とその効果に関する研究
- データセンタとの連携による地域情報流通基盤システムの構築とその効果に関する研究
- 学校における地域内情報教育コンテンツ流通システムの構築とその効果に関する研究

などがあげられる。

最後に、OIX は地域内の通信性能改善やネットワーク関連技術の研究開発のほかに、地域技術者グループの情報交流コミュニティとしての役割を担っており、技術者育成に貢献している。また、今後は OIX 運用技術者グループによる、学校や福祉施設などへの OIX 接続参加のための技術支援も積極的に行う予定である。

謝辞 本研究の遂行にあたっては、OIX 接続参加組織の技術担当者の方々に多くの協力をいただいた。ここに感謝の意を表するものである。

## 参 考 文 献

- 1) 八代一浩，笹本正樹，平川寛之，山本芳彦，林英輔：地域 IX ( Y-NIX ) の運用とネットワーク特性，情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会報告，Vol.99-DSM-13, No.13, pp.49-56 (1999).
- 2) 八代一浩，笹本正樹，平川寛之，山本芳彦，林英輔：地域 IX を用いた通信環境改善手法の実現と評価，情報処理学会論文誌，Vol.41, No.12, pp.3245-3254 (2000).
- 3) 中川郁夫，米田政明，安宅影隆：国内における地域 IX の動向，情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会報告，Vol.97-DSM-7, No.7 (1997).
- 4) 中川郁夫：地域 IX における地域内経路制御の実現，情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会報告，Vol.98-DSM-11, No.11

(1998).

- 5) 林 英輔：地域ネットワークの目的と新しい展開，情報処理，Vol.41, No.1, pp.3-7 (2000).
- 6) 中川郁夫：地域 IX の現状と今後の展望—新しい相互接続のかたち，情報処理，Vol.41, No.1, pp.8-13 (2000).
- 7) 中川郁夫，米田政明，安宅影隆：地域 IX による安定した地域内通信環境の実現と評価，情報処理学会論文誌，Vol.42, No.12, pp.2887-2896 (2001).
- 8) WIDE プロジェクト．<http://www.wide.ad.jp/>
- 9) NSPIX (Network Service Provider Internet eXchange Point)．<http://nspixp.sfc.wide.ad.jp/>
- 10) JPIX (JaPan Internet eXchane)．<http://www.jpix.ad.jp/>
- 11) MEX (MEdia eXchange)．<http://www.mex.ad.jp/>
- 12) インターネットマルチフィード．<http://www.jpnap.net/>
- 13) 東北地域内インターネット相互接続 ( TRIX )．<http://www.tia.ad.jp/trix/>
- 14) 山梨地域情報ネットワーク相互接続機構 ( Y-NIX )．<http://www.y-nix.or.jp/>
- 15) 岡山県情報ハイウェイ ( OKIX )．<http://www.okix.ad.jp/>
- 16) 沖縄地域インターネットエクステンジ ( OIX )．<http://www.oix.jp/>
- 17) 長田智和，谷口祐治：沖縄地域インターネットエクステンジの有効性と検証，第 51 回電気関係学会九州支部連合大会論文集，p.57 (1998).
- 18) 長田智和，谷口祐治：沖縄インターネットエクステンジにおける技術検証と開発研究，第 58 回情報処理学会全国大会講演論文集，pp.581-582 (1999).
- 19) Nagata, T., Tamaki, S., Onaga, K. and Taniguchi, Y.: Verification and Development of Network Technology On the Okinawa regional Internet eXchange, *Proc. IEEE TENCON99*, Vol.1, pp.757-760 (1999).
- 20) 長田智和，谷口祐治，玉城史朗，翁長健治：ネットワークトラフィック解析に基づく沖縄圏 IX の検証と考察，沖縄情報通信ワークショップ予稿集 (1999).
- 21) 長田智和，谷口祐治，玉城史朗：沖縄地域インターネットエクステンジ接続実験の概要，情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会報告，Vol.99-DSM-16, No.98, pp.1-6 (1999).
- 22) McCanne, S. and Floyd, S: Network Simulators (version2)．<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- 23) 次世代 IX 研究会．<http://www.distix.net/>

(平成 14 年 3 月 18 日受付)

(平成 14 年 9 月 5 日採録)



長田 智和(学生会員)

昭和 49 年生。平成 10 年琉球大学工学部情報工学科卒業。平成 12 年同大学院理工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。現在、同大学院理工学研究科総合知能工学専攻博士後期課程在学中。ネットワークアーキテクチャ、ネットワーク運用管理、通信プロトコルに関する研究に従事。修士(工学)。



谷口 祐治(正会員)

昭和 31 年生。昭和 54 年琉球大学理工学部電気工学科卒業。昭和 55 年同大学工学部研究課程修了(研究生)。昭和 56 年同大学工学部電子・情報工学科教務技官。昭和 63 年同大学短期大学部電気工学科助手。平成 5 年同大学工学部情報工学科講師。平成 10 年同大学総合情報処理センター講師。現在に至る。現在、ネットワークアーキテクチャ、情報教育に関する研究に従事。日本教育工学会、電子情報通信学会、IEEE 各会員。

---