

## 高知応用層交換所の構築

菊池 豊<sup>t1</sup> 菊地 時夫<sup>t2</sup> 今井 一雅<sup>t3</sup>  
松本 浩明<sup>t4</sup> 濱崎 哲一<sup>t5</sup> 澤本 一哲<sup>t6</sup> 武市 統<sup>t7</sup> 今西 孝也<sup>t7</sup>  
杉山 道子<sup>t1</sup> 西内 一馬<sup>t1</sup> 廣瀬 崇夫<sup>t1</sup> 正岡 元<sup>t1</sup>  
蒲原 浩<sup>t8</sup> 寺田 浩詔<sup>t1</sup>

高知工科大学 情報システム工学科<sup>t1</sup> 高知大学 情報科学科<sup>t2</sup>  
高知工業高等専門学校 電気工学科<sup>t3</sup> 高知システムズ<sup>t4</sup>  
富士通高知システムエンジニアリング<sup>t5</sup> シティネット<sup>t6</sup>  
高知県工業技術センター<sup>t7</sup> 高知県情報企画課<sup>t8</sup>

### 概要

地域指向のインターネットトラフィック交換方式にPIXモデルがある。1999年より高知県においてPIXモデルの実証実験KPIXがはじまった。本稿ではKPIXの構築の際に得られた知見や考察について述べる。

## Making of Kochi Pseudo Internet eXchange

KIKUCHI Yutaka<sup>t1</sup>, KIKUCHI Tokio<sup>t2</sup>, IMAI Kazumasa<sup>t3</sup>,  
MATSUMOTO Hiroaki<sup>t4</sup>, HAMASAKI Tetsuichi<sup>t5</sup>,  
SAWAMOTO Kazutetsu<sup>t6</sup>, TAKECHI Osamu<sup>t7</sup>, IMANISHI Koya<sup>t7</sup>,  
SUGIYAMA Michiko<sup>t1</sup>, NISHIUCHI Kazuma<sup>t1</sup>,  
HIROSE Takao<sup>t1</sup>, MASAOKA Hajime<sup>t1</sup>,  
KAMOHARA Hiroshi<sup>t8</sup>, TERADA Hiroaki<sup>t1</sup>

Kochi University of Technology<sup>t1</sup>, Kochi University<sup>t2</sup>,  
Kochi College of Technology<sup>t3</sup>, Kochi Systems Corporation<sup>t4</sup>,  
Fujitsu Kochi System Engineering Corporation<sup>t5</sup>, Citynet Corporation<sup>t6</sup>,  
Kochi Prefecture Industrial Technology Center<sup>t7</sup>, Kochi Prefecture<sup>t8</sup>

### Abstract

PIX is a regional oriented model for exchanging the Internet traffic. We have been working on an experimental network named KPIX to establish the model since 1999. We will show some know-how and discussions while constructing the network.

## 1 はじめに

従来より、インターネットサービスプロバイダ (Internet Service Provider, ISP) 間の IP 交換を行なうサービス (Internet eXchange, IX) を地方において実現する活動が行われて来た。

我々は応用層でのコンテンツ交換を基礎とする PIX モデルを提唱し、これまでの OSI2 層～3 層での交換技術による IX より地域インターネットに適していると主張している [1]。

さらに我々は、PIX モデルの有効性を確認し構築技術のノウハウを確立するため、1999 年より高知県において実証実験を進めている。本稿では、これまでの実証実験で得られた知見について報告する。

### 1.1 背景

地域 IX や PIX モデルが要求されるようになった背景についての概要を述べる。詳細については [2][1] に述べられている。

インターネットの機能を実現するためには、OSI ネットワーク層 (第3層) による IP データグラムとの交換が必要である。プロトコルスタックから考えると、ユーザから見ればネットワーク層での交換が行われていることが肝要であり、その経路についてはむしろ捨棄されることが望ましいとも言える。事実、現在の日本における交換は東京を中心として行われており、上の意味では必要を満たしている。

しかし、以下の観点から考えるとこの状況は望ましくない。

- 対障害性  
通信経路上に障害が生じた際、それがまったく別の地域での障害であっても、通信に影響を与える。近年は災害時の通信路としてインターネットが用いられる例が増えて来ており、災害地域と無関係なエリアでの障害が問題となる。
- レスポンス・スループット  
東京中心の通信経路であることにより、地域内での通信のレスポンスやスループットが他地域の通信の混雑状況に影響を受ける。これ

によりユーザが加入する ISP によってサービス品質が激変するという状況がおり、特に通信インフラとしてインターネットを用いることで地域情報化を進める場合に問題となる。

- 人的資源や経済活動が地域に根付かない  
トラフィックが東京中心に交換されることにより、それを支える技術者や経済活動も東京に集中する状況が起こる。大手 ISP や IX に近い場所にデータセンターを置く事が妥当であり、トラフィックやコンテンツも集中する。これにより直接地方税である固定資産税や法人税も東京に集中する事になり、地域内での通信が発生する経済活動が地域外に行ってしまう問題がある。
- 通信経路に対する主体性・自治  
東京を中心とする IP 交換のトポロジーを持つと、経路制御の主体が大手 ISP や IX になる。上で述べたような問題があることが分かっても、さらに例えそれが地域内でのトラフィックであっても、問題は地域内では解決できない。

### 1.2 地域 IX

東京中心の交換による問題を解決するために、大都市以外に IX を置く動きが活発である [3][4][5][6]。これを地域 IX と呼ぶ。

IX は OSI モデルの第2～3層でのインターネットトラフィックの交換技術である。経路制御の影響がインターネット全体に及ぶため、IX を運用するために管理者に要求される技術水準は高い。また管理コミュニティ間のネゴシエーションが密である必要がある。

これに加えて、インターネットの経路制御はグローバル IP アドレス空間全体の制御であり、IX 技術をスケールさせるのが難しい。すなわち、たとえ地域 IX が成功したとしても、さらに小さな地域コミュニティには応用が効かない可能性が大きい。

### 1.3 PIX モデル

PIX (Pseudo Internet eXchange) モデルは IX モデルに代わるインターネットのトラフィック交換モデルである [7][1]。直観的に言えば地域に閉じたイントラネットを構成し、インターネットとイントラネットとのトラフィックの交換は全てアプリケーション層で行うようなモデルである。

### 1.4 KPIX 実験研究協議会

著者らは産官学からなる KPIX 実験研究協議会を 1998 年 7 月 13 日に設立し、PIX モデルの実用化に向けた研究実験活動を行っている。また、本協議会は高知県での地域情報化プロジェクトである KOCHI 2001 PLAN で定める協議会であり、事務局を高知県企画振興部情報企画課に置く。本協議会参加メンバーの組織を中心として、PIX モデルの実証実験を行っている。以下では、本協議会を単に「協議会」と、この研究活動を「KPIX」と記述する。

## 2 KPIX の構築

本節では KPIX 実証実験ネットワークの構築について、まず目的と目標と述べた上で、下位層、ネットワーク層、上位層、サーバ群の設計と構築について述べる。

### 2.1 目的・目標

KPIX の目的は PIX モデルの実用化に必要な課題の収集とその解決である。より具体的には以下の目標を持っている。

- PIX モデルに基づいたネットワークの構築  
PIX モデル自体は単に理論の世界で考えられたモデルである。これを実用的に用いるには多くの技術的な課題が予想される。モデルに基づいたネットワークを構築することにより、具体的な技術課題を収集し、それに対する技術的な対応手法を与える。
- PIX モデルに持つとされる性質の確認  
地域 IX ができる背景となった問題点や地域

IX が持つとされる問題点のいくつかを PIX モデルが解決すると考えている。このことを実証実験によって確認する。

- PIX モデルに基づいたネットワークの運用・管理  
運用・管理する場合に発生する PIX 特有の課題を収集し、これに対する技術的な対応手法を与える。
- PIX モデルを有効に活用するためのアプリケーション  
これまで利用することが困難ないしは不可能であった応用が、PIX モデルを採用することにより利用可能になることが予想できる。そのような応用を発見し、また応用できることを示す。
- PIX モデルに期待される新たな機能  
実用的に用いる場合や、さらなるネットワーク応用の展開を考える場合に、PIX モデルが持つべき機能を発見する。

### 2.2 下位層の設計と構築

物理層およびデータリンク層の設計と構築について述べる。なお、PIX モデルはネットワーク層以上についての概念であるので、ここで述べる内容は PIX モデルとは直接は関係がない。ただし、実際には PIX モデルは地域内での応用を指向しており、地域内でのデータリンクをどのように構築するかという問題は間接的に関係して来る。

KPIX は協議会メンバーの組織を接続して行うことにした。組織は高知県中央部の香長平野に 8 箇所、およそ東西 20km 南北 10km の範囲で分散している。行政区域では高知市、南国市、香美郡土佐山田町にまたがる。

データリンクメディアとして、当初は専用線による相互接続を考えていた。特に NTT のデジタルアクセス 1500 のような、インターネット向けの専用サービスが開始されたため、安価な予算で 1.5Mbps 程度の接続が可能になっていた。しかし、実験計画の進行とともに、スペクトラム分散を用いて 1~10Mbps 程度の伝送速度を持つ無線局免許不要の無線ユニットが市場に出回るようになって

てきた。初期投資を除けばわずかなランニングコストでの運用が可能のため、無線によるデータリンクを採用した。

我々はコーラスコンピュータ<sup>1</sup>製の「LAN Anywhere B10」と同社の長距離通信用アンテナ PA5000を採用した。仕様では2.4GHz帯の通信で、5kmの見通し距離で10Mbpsの伝送速度が得られる。この他に、関西電機<sup>2</sup>の「AIRPORT LAN JET LINK」などがある。これは6kmの見通し距離で10Mbpsの伝送速度が得られる。今回は地元での運用実績があることでB10を採用した。

データリンクのトポロジーは採用した製品に強く依存した。見通し距離5kmというのは、同一組織が道路で隔てられている場合にLAN間接続するには十分な仕様でも、地理的にちらばる複数の組織を接続するには微妙な条件である。山やビルなどで遮られると通信が完全に途絶するので、データリンク層を無線ユニットのみで構成するのは必ずしも容易でない。この条件により、トポロジーは強い制約を受けるので、今回はほぼ唯一と言って良いトポロジーに落ち着いた。

## 2.3 ネットワーク層の設計と構築

PIXモデルでは地域内ネットワークはインターネット側とIPデータグラムの交換(トランジット)をしない。このため、IPアドレスはプライベートで構わない。ただし、各組織内とはIPデータグラムの交換を行うので、各組織で利用しているIPアドレスとは衝突してはならない。

参加各組織でのプライベートアドレスの利用は進んでおり、衝突していないアドレスを探すのに若干の手間がかかったのは意外であった。今回はKPIX全体で172.31/16を利用することにした。各組織には24bitマスクで再配布してルータ・サーバ等に割り当てることにした。

また当初、KPIXバックボーンとして、無線リンクの部分をも1つのサブネットに割り当てる予定であった。しかし、無線リンクを連結したネットワークを構成する場合にブロードキャストパケットが与える影響が大きいことより、4つのサブネットで構成することにした。これはトラブルシューティ

ングを容易にする効果も期待できる。

## 2.4 上位層の設計と構築

今回は上位層としてWWWコンテンツをhttpで交換することを例に設計した。httpを交換するサーバはコンテンツをキャッシュするものとする。実装としてはサーバホストにsquidをインストールし、siblingやparent関係でKPIX内でキャッシュを共有することを考える。

httpのセッショントポロジーは、ネットワーク層の構造と運用面からの制約との条件から導出した。ネットワーク層の構造を以下のモデルで特定した。

1. コンテンツを持っている(アクセスされる)側のネットワーク構造は以下のサーバ類がIP reachableであると考え。
  - (a) コンテンツを持つサーバ
  - (b) 組織内でキャッシュを行うサーバ
2. KPIXバックボーンのネットワーク構造は以下のサーバ類がIP reachableであると考え。KPIXバックボーンと各組織とはIP交換可能である。しかし、KPIXバックボーンは組織間のIPをトランジットしない。なおルータは専用であるものと想定している。
  - (a) コンテンツを持つ側に設置するキャッシュサーバ
  - (b) コンテンツにアクセスする側に設置するキャッシュサーバ
3. コンテンツをアクセスする側のネットワーク構造は以下のサーバ類がIP reachableであると考え。
  - (a) コンテンツにアクセスするクライアント
  - (b) 組織内でキャッシュを行うサーバ

このようなネットワークトポロジーモデル上でhttpのセッショントポロジーを考察した。

- コンテンツのあるサーバの組織のキャッシュサーバ1bを用いるか否かの2通り。
- KPIXバックボーンを通過するhttpをどのキャッシュサーバ経由にするか。サーバ2aかサーバ2bか、あるいはその両方かの3通り。なお、組織間でIPをトランジットしな

<sup>1</sup><http://callus.co.jp/>

<sup>2</sup><http://kansai-elec.co.jp/>

いので、どのキャッシュサーバも用いないと言う選択はあり得ない。

- コンテンツにアクセスするクライアント 3a からの http を自組織内のキャッシュサーバ 3b 経由にするか否かの 2 通り。

このように、どのキャッシュサーバを通過させるかだけで 12 通りの選択肢が存在する。通過するサーバをどれにするとキャッシュのヒット率が高くなるかは、コンテンツをアクセスするトラフィックに依存しており、このモデルだけから一般的な解は得ることができない。

運用面の制約は、既存の KPIX 組織に新たに組織が参加するときの設定変更のコストを最も重要視した。

- KPIX の導入と組織のネットワーク運用体制とが連携できる場合や、ISP のようにユーザ数が多い場合は、自組織のキャッシュサーバ 3b を経由する方が低コストである。これはサーバ 3b の設定変更のみで済み、クライアント 3a では一切の変更が不要であることによる。
- 上述の連携が出来ない場合や、ユーザ数が少ない場合は、自組織のキャッシュサーバ 3b を経由しない方が低コストである。この場合クライアント 3a での設定変更が必要である。これはクライアント設定用の共通ファイルを準備することなどでコスト低減が可能である。

この他、http セッションのホップ数を大きくしないためにコンテンツ側のサーバ 1b は使わないこと、KPIX バックボーンでは、クライアント 3a からの地理的な距離が近くサーバの挙動や設定変更が容易な面から、キャッシュサーバ 2b を用いることにした。

以上の考察により、高知工科大学の設定はクライアントからのリクエストがクライアント 3a →サーバ 2b →サーバ 1a となるように設定することにした。他の組織はクライアント 3a →サーバ 3b →サーバ 2b →サーバ 1a となるように設定することに決定した。さらに、KPIX バックボーン内のサーバ 2b とサーバ 2a とは、どのサーバからの http アクセスや sibling を受け付けることにした。

## 2.5 ルータ・サーバ群の設計と構築

ルータはトラフィックの交換効率の面や設定管理の面から専用とした。具体的には YAMAHA の RT140e を採用した。これは 100baseT のインターフェースを持つこと、設定のコマンドインタプリタが優れていること、機能が優れていること、運用実績があること、安価であることが理由である。

サーバ類は IBM-PC 互換機で構成した。CPU は 400~600MHz の PentiumIII ないしは互換 CPU、メモリは 128MB~256MB、ハードディスクは UW-SCSI2 で 10GB 以上程度である。OS は管理する側が慣れているものにしたため多彩になった。Solaris2.6.x、FreeBSD3.x、Linux、PICKLES がある。この上で IP の交換および squid による HTTP の交換を行う。

## 3 考察

本節では、前節で述べた設計と構築との経験により得られた考察を述べる。

### 3.1 下位層

無線ユニットを利用した地域ネットワークの構築に関連する研究実験は、高知県内で別途行われている。これはやはり KOCHI 2001 PLAN の協議会である KCAN (Kochi City-sized Area Network) 実験研究協議会が行っている。詳細な成果についてはそちらの報告 [8] を参照して欲しい。

### 3.2 ネットワーク層

プライベートアドレスは各組織で任意で割り当てているので、PIX モデルを導入する際には衝突の可能性を考える必要がある。これを技術的に解決するには、ルータでの 1 対 1 静的 NAT の応用やルータの持つトンネリングインタフェースによる仮想ネットワークを用いる方法がある。

前者は KCAN で採用されており実績がある [8]。ただし DNS まで考えると極めて複雑になるので、技術的に解決すべき課題である。

後者は地域内にデータリンクを持たない場合の

地域IXで採用されたことがある[9]。この手法は、地域内でデータリンクを持つ場合にはオーバヘッドがトンネリング仮想インタフェースへの変換だけになるので特に有効と考える。また、地域内でデータリンクを持たない状態で採用しておく、データリンクができたときにスムーズにPIXモデルに移行できる利点がある。

### 3.3 上位層

今回の設計が、効率が高く安定した運用を望めるトポロジーかどうかは、今後のトラフィック測定や運用経験による部分が大きい。PIXモデルへの移行を促すためには、設定ツール群を準備するなどの支援が必要である。

また今回は、DNSの設計については一切考えていない。プライベートアドレス、1対1 NAT、トンネリングなどでホストのロケーションによりIPアドレス空間が異って見える場合は、DNSの設定が複雑になる。これも設定ツールの支援が必要と考える。

## 4 まとめ

KPIXにおけるネットワーク構築を中心に、その目的・設計と考察を述べた。今後は、構築の際におこるさらなる課題を収集しその整理を行うとともに、これまでの課題を技術的にどう解決するかについての議論を深める。

## 謝辞

本実験研究は、通信・放送機構の平成11年度地域提案型研究開発制度(研究開発名「インターネットにおける地域指向型トラフィック交換モデル」と、科学研究費補助金(課題番号11450153)との助成を受けています。

## 参考文献

- [1] 菊池豊, 菊地時夫. 応用層によるインターネットトラフィック交換モデル. コンピュータソフトウェア, Vol. 16, No. 4, pp. 46-58, July 1999.
- [2] 中川郁夫, 米田政明, 安宅彰隆. 国内における地域IXの技術動向. 情報処理学会研究報告 97-DSM-7, pp. 1-6. 分散システム運用技術研究会, oct 1997. ISSN0919-6072.
- [3] 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. 情報処理学会研究報告 99-DSM-13, pp. 49-56. 分散システム運用技術研究会, 1999. ISSN0919-6072.
- [4] 中川郁夫. 地域IXにおける地域内経路制御の実現. 情報処理学会研究報告 98-DSM-11, pp. 37-42. 分散システム運用技術研究会, sep 1998. ISSN0919-6072.
- [5] 武井洋介ほか. Local IXのトラフィック解析に基づく接続組織の利用特性. 情報処理学会研究報告 98-DSM-10, pp. 55-60. 分散システム運用技術研究会, 1998. ISSN0919-6072.
- [6] 今野幸典, 樋地正浩, 曾根秀明. 東北地域内インターネット相互接続実験: TRIX. 平成9年度電気関係学会東北支部大会講演論文集, p. 273, 1997.
- [7] 菊池豊, 菊地時夫. PIX: 応用層によるトラフィック交換モデル. インターネットコンファレンス'97論文集, pp. 159-162. 日本ソフトウェア科学会, Dec 1997. ISSN1341-870X.
- [8] 今井一雅, 澤本一哲, 矢野漣, 菊地時夫, 菊池豊. 高速無線LANシステムによる地域情報化ネットワークの構築と運用. 技術研究報告, No. 592, pp. 39-44. 電子情報通信学会, Jan 2000.
- [9] 今野幸典, 樋地正浩. プライベートなインターネットエクステンジを実現する経路制御手法の提案. 情報処理学会研究報告 97-DSM-7, pp. 7-12. 分散システム運用技術研究会, Oct 1997. ISSN0919-6072.