

卒業研究報告

題 目

DNS を利用した PIX 内サーバへのアクセス手法

指導教員

矢野 政顕 教授

報告者

正岡 元

平成 13 年 2 月 9 日

高知工科大学 電子・光システム工学科

要 旨

本研究は、著者が平成 12 年から 13 年にかけ高知工科大学 電子・光システム工学科において行った地域指向インターネットトラフィック交換モデルに関する卒業研究成果をまとめたものである。

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。PIX モデルでは、コンテンツを共有することで擬似的にトラフィックを交換する。しかし、標準の PIX モデルでは、インターネットのクライアントから PIX 内部のコンテンツサーバに向けたトラフィックを交換することができない。

本研究では、DNS を適切に設定することで、インターネットと PIX との間においたゲートウェイサーバを用いてリクエストを転送させる手法を開発した。この手法によって複数の PIX 間の接続など、柔軟な PIX の構築が可能となる。

目次

第 1 章 はじめに	1
第 2 章 PIX の基本概念	3
2.1 IX (Internet eXchange)	3
2.2 地域 IX	4
2.3 PIX モデル	5
2.3.1 HAN (Harmonizing Area Network)	5
2.4 KPIX(Kochi PIX)	8
2.4.1 KPIX における下位層の設計と構築	9
2.4.2 KPIX の特徴	13
2.5 KPIX の経路制御	13
2.5.1 PIX モデルの経路制御の問題点	13
2.5.2 KPIX での実装	14
第 3 章 HAN 内サーバへのアクセス手法	15
3.1 Internet へのアクセス	15
3.1.1 PIX のルーティング	15
3.1.2 PIX におけるトラフィックの交換	16
3.1.3 WWW サーバ群の動作	17
3.2 HAN 内サーバへのアクセス	18
3.2.1 交換できないトラフィック	18
3.2.2 交換を可能にする DNS の構成	19
3.2.3 リクエストの転送	21
3.3 HAN の入れ子	22

目次

3.4	HAN 内サーバへのアクセス手法の応用	23
3.4.1	直列に接続された LAN	24
3.4.2	DNS の構成	25
3.4.3	リクエストの転送	27
第 4 章	まとめ	30
謝辞		31
参考文献		32
付録 A	KPIX History	33
付録 B	KPIX の活動	37
B.1	Squid 動作モデルの設計	37
B.1.1	設定変更にかかるコスト	38
	キャッシュサーバ連携モデル	38
B.2	参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定	39
B.2.1	参加組織による HAN の構成	40
B.2.2	KPIX における典型的な WWW サーバ群の構成例	41
B.2.3	WWW サービスに対する要求	42
B.2.4	サーバ群の連携パターン	42
B.2.5	リクエストに対するサーバ間の連携	44
B.2.6	各サーバの動作	47
B.2.7	Squid によるサーバ群の実現	47
B.3	コンテンツを共有するサーバ間の連携	49
B.3.1	リクエストに対するサーバ間の連携	50
B.4	コンテンツを共有する Squid の設定	53

目次

B.4.1	各サーバの動作	53
B.4.2	Squid によるサーバ群の実装	53
B.5	NTP による時刻同期	56
B.5.1	NTP とは	57
B.5.2	NTP の必要性	58
B.5.3	NTP の構成	58
B.5.4	NTP の設定	58
B.6	MRTG による測定	60
B.7	PIX モデルの諸問題とその解決手法	62
B.7.1	PIX モデル設計時の問題点	62
B.7.2	問題点に対する解決法	63
B.7.3	KPIX での対応	63
B.8	富山国体映像中継	63
B.8.1	JGN を利用したデジタルビデオによる高品質映像の配信実験	64
B.8.2	映像ソース	64
B.8.3	トポロジー	64
	菊池研究室内の液晶テレビに表示	65
	WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信	66
	RealSystem を用いて KPIX ヘストリーム配信	67
	ASX200 を用いて名古屋と岐阜へ再配信	67
B.8.4	ストリーム配信の設定とスペック	67
B.8.5	KPIX への配信結果	67
B.9	ギガビットシンポジウム 2000 中継	69
B.9.1	映像ソース	70
B.9.2	トポロジー	70
	菊池研究室内の液晶テレビに表示	72

目次

WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信	73
DVTS を用いて富山と山梨に再配信	73
B.9.3 ストリーム配信の設定とスペック	74
B.9.4 KPIX への配信結果	75
B.9.5 まとめ	75
B.10 pac ファイルの作成	75
B.10.1 pac ファイルとは	76
B.10.2 pac ファイルの目的	76
B.10.3 pac ファイルの記述	76
B.10.4 pac ファイルの適用	77
B.11 コストモデル	78

第 1 章

はじめに

地域指向のインターネットトラフィック交換方式の一つに PIX モデルがある。PIX モデルでは、応用層による擬似的なトラフィック交換を行う。本研究では応用層のプロトコルとして http を選択した。http のトラフィック交換はコンテンツを共有することで行う。

このモデルでは PIX 内部のコンテンツをインターネットに向けて公開できないという欠点がある。本研究ではこの欠点に対しての解決手法を提案した。この手法によって PIX モデルにおいて PIX 内部のコンテンツをインターネットに向けて公開することが可能となる。この手法は隣接ネットワーク間のみ IP Reachable なネットワークが直列に繋がっている場合に、1つ以上のネットワークを経由してその先にあるネットワークへのトラフィックを交換する手法として応用することが可能である。

まず第 2 章で IX と地域 IX、PIX の定義と構成方法について述べる。第 3 章で本研究において行った PIX モデルの DNS の適切な設定について述べ、インターネットから PIX へのトラフィックを交換する手法について述べる。さらに、一般的なネットワークへの応用について述べ、最後に第 4 章でまとめを行う。

本報告の背景となった PIX モデルは、高知県の地域情報化プロジェクトである Kochi 2001 Plan の下に、高知県内の産官学の共同で組織された「KPIX 実験研究協議会」によって実験検証が行われている。この PIX モデルに関する研究は複数の組織の共同研究である。

そのため、本研究とは直接関連はないが本研究の背景を理解するために必要であったもの、もしくは報告者が本研究とは別に研究を行った事項について付録にまとめた。本報告のうち、共同研究者の執筆による部分を以下に示す。

- 2章1節 杉山道子氏
- 2章2節 杉山道子氏
- 2章3節 杉山道子氏
- 2章4節 西内一馬氏
- 付録B 1節 西内一馬氏
- 付録B 2節 廣瀬崇夫氏
- 付録B 3節 廣瀬崇夫氏
- 付録B 4節 廣瀬崇夫氏
- 付録B 6節 西内一馬氏
- 付録B 7節 西内一馬氏
- 付録B 8節 杉山道子氏
- 付録B 9節 杉山道子氏
- 付録B 11節 西内一馬氏

第 2 章

PIX の基本概念

2.1 IX (Internet eXchange)

IX とは ISP (Internet Service Provider) を相互に接続する仕組みである。IX には、OSI 参照モデルの第 2 層であるデータリンク層で交換する仕組みと、第 3 層であるネットワーク層で交換する方式がある。なお、機能する OSI 階層のいかんに問わらずトラフィックを交換する機構を IX と呼ぶ場合がある。これを広義の IX、第 2 層ないしは第 3 層による交換を指す場合を狭義の IX とし、以降は IX の狭義の IX を指すものとする。IX は大都市を中心とした交換を行う。このことは以下の観点から考えると問題である。

- 対象障害

通信経路上に障害が生じた際、別の地域での障害であっても、通信に影響を与える。

- レスポンス・スループット

大都市を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。

- 人的資源や経済活動が地域に根付かない

トラフィックが大都市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大都市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。

- 通信経路に対する主体制・自治

大都市を中心とする 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

2.2 地域 IX

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、さらにそれが地域内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。

2.2 地域 IX

大都市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。これを地域 IX と呼ぶ。

地域 IX には、IX の持つ問題の一部を解決するものの、IX 技術が持つ問題点をそのまま継承する側面もある。以下では地域 IX の持つ問題点を指摘する。

- ネゴシエーションコスト

ISP などの経路制御を統括する組織との協調に多くの労力が必要となることがある。インターネットの経路制御は BGP4 を用いるルータ間で AS (Autonomous System) 全てに関する経路情報が交換される。このため、以下のようない欠点がある。

- 経路制御が複雑になり管理に高い技術が要請される
- 制御の影響を管理単位の組織で閉じることができない

技術者のスキルが十分に高くないと経路制御の混乱を招きやすい上に、一旦混乱を起こした場合には影響がインターネット全体に広がる。このため、地域 IX を計画した場合には、安定な運用を維持したい ISP などの理解と協力を得る事は難しい。

- スケーラビリティー

地域 IX の最も大きな問題は、比較的大きな地域による地域 IX が成功すると仮定しても、さらに小さな単位の組織が同様の展開をするための環境を必ずしも提供しない事にある。地域 IX 導入には高い技術者を必要とするので、地域 IX を導入するコミュニティが小さくなればなるほど導入は難しくなる。このため地域 IX を導入する事は、コミュニティに則したネットワーク技術を導入する観点からは、望ましいとはいえない。

- 効率

2.3 PIX モデル

密なコミュニティであるほど、ユーザが同一コンテンツを参照する機会は多くなる。このような状況では IP データグラムの交換をスムーズにするよりも、コンテンツの繰り返し転送を減少させる方が効率が大きい。コミュニティ構造とネットワーク構造が近いほどアプリケーション層で共有できるコンテンツのトラフィックが増え重複転送を避ける事による効率改善を促進する事が可能になると推測できる。しかし、IX は OSI 第 3 層以下の交換しか行わないので、この状況を活かした交換の効率化には全く寄与する事ができない。

- 人材

地域 IX では、経路制御に高い技術レベルが要求されるため、いかに管理者を確保するかという問題がつきまとう。

2.3 PIX モデル

PIX (Pseudo IX) モデルとは、直観的にいえば地域に閉じたインターネットを構成し、インターネットとインターネットとのトラフィック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 [9]。

2.3.1 HAN (Harmonizing Area Network)

PIX モデルの構成要素である HAN について説明する。PIX モデルにおいて経路制御の単位を HAN と呼ぶ。HAN は地域内での IP データグラムの到達可能域であり、1 つ以上の組織 (LAN) から成る。あるネットワークが PIX モデルを用いている場合には、そのネットワークは 1 つ以上の HAN により構成されている。PIX モデルにおける HAN は BGP4 における AS の概念に相当する。HAN を構成する各 LAN はインターネットへの通信路と HAN の通信路との 2 つの通信路を持つ。各 LAN は以下の 3 つの部分から成る。

1. インターネットから IP データグラム到達可能
2. HAN 内で IP データグラム交換可能

2.3 PIX モデル

3. それ以外

前2者の重複している部分を HAN ボーダと呼び、以下の条件を満足するものとする。

- 少なくとも 1 つのホストが存在する
- グローバルアドレスが与えられている
- トランジット (HAN ボーダを越えるような IP データグラムのフォワード) は行わない

HAN を構成する典型的な LAN のトポロジーを図 2.1 に示す。

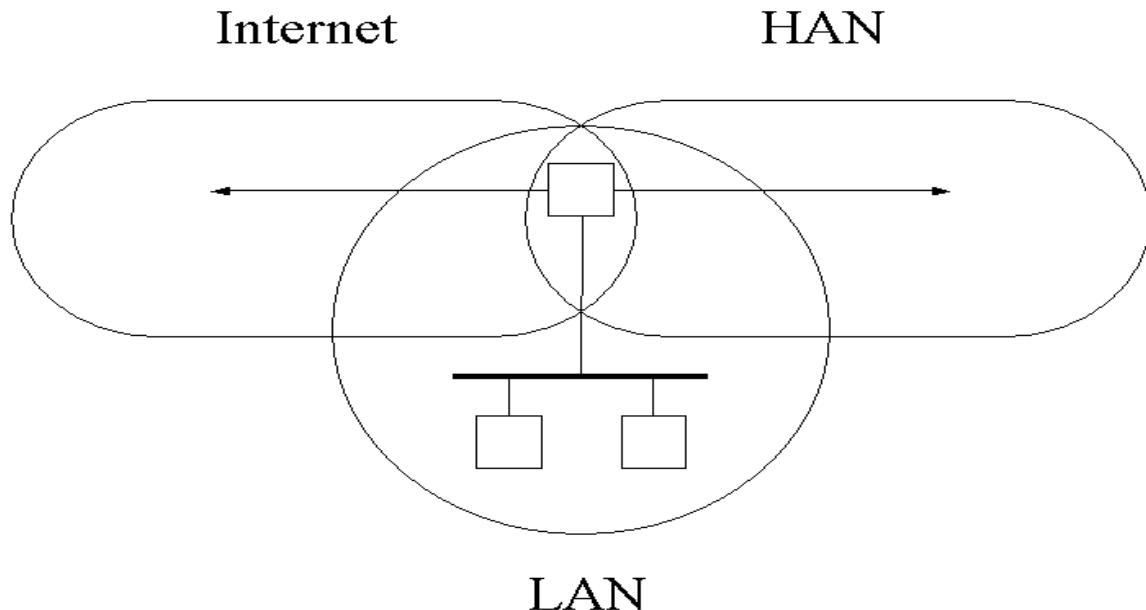


図 2.1 HAN を構成する典型的な LAN の例

四角はホストを示し、円と長円は IP が直接到達可能な領域を示している。左側の長円はインターネットを、右側の長円は HAN を、円は LAN を示している。HAN ボーダにファイアウォールを設置し、LAN のその他のホストは HAN からもインターネットからも IP 不到達であり、IP のトランジットは行わない。

HAN の一部を構成するような最も簡潔な LAN の形態は、図 2.2 に示すような HAN ボーダにただ 1 台のホストが存在する場合である。

2.3 PIX モデル

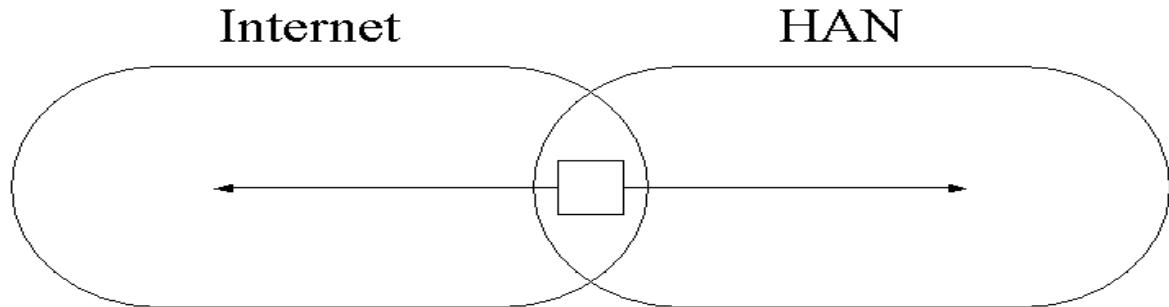


図 2.2 HAN を構成する最も小さい LAN の例

長円の重複する部分がホスト 1 台から構成される LAN である。より複雑な LAN の例は図 2.3 に示す。

これらのトポロジーを持つ LAN が集まって HAN 全体を構成する。図 2.4 は 1 つの HAN の例である。

図 2.4 の場合、LAN は、A、B、C、D の 4 つより構成される。この図でも円や曲線で囲まれた領域が IP の到達可能域を示している。各 LAN の HAN ボーダは、ISP1、ISP2、ISP3、ISP4 を経由してインターネットと IP の交換を行う。

インターネットと HAN 内のホストとは HAN ボーダを越えて IP を交換することは無い。したがって、IP データグラムの到達可能性の視点で見ると、インターネット側からはいくつかの LAN が ISP 経由で接続されているようにしか見えない(図 2.5)。

同様に HAN の内側からは、いくつかの LAN が HAN を経由して IP 接続されている地域イントラネットのようにしか見えない(図 2.6)。

2.4 KPIX(Kochi PIX)

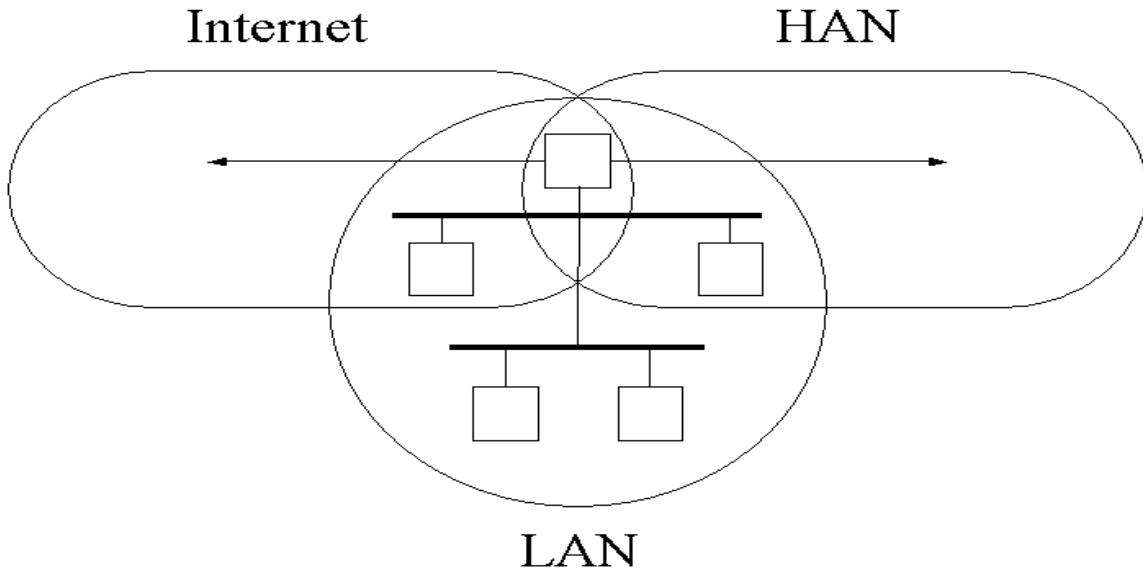


図 2.3 HAN を構成するより大きな LAN の例

IP データグラムの到達保証が HAN の十分条件である。トポロジーを含むデータリンク層以下の構成は、HAN を構成する地域の実情に応じて決定することになる。たとえば、中核となるルータを準備し、そこから各 HAN ボーダに方謝状に通信路を張っても構わないし、HAN ボーダ全てを直線上に接続しても構わない。また、データリンク層を構成する技術が Ethernet であっても専用線であってもスペクトラム拡散方式の無線であっても構わない。

2.4 KPIX(Kochi PIX)

我々は産官学からなる 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活動を行っている。また、この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る。そして、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（表 2.1）を中心として、PIX モデルの実証実験を行っている。我々は、KPIX の構築・運営を通して、PIX モデルの構築・運

2.4 KPIX(Kochi PIX)

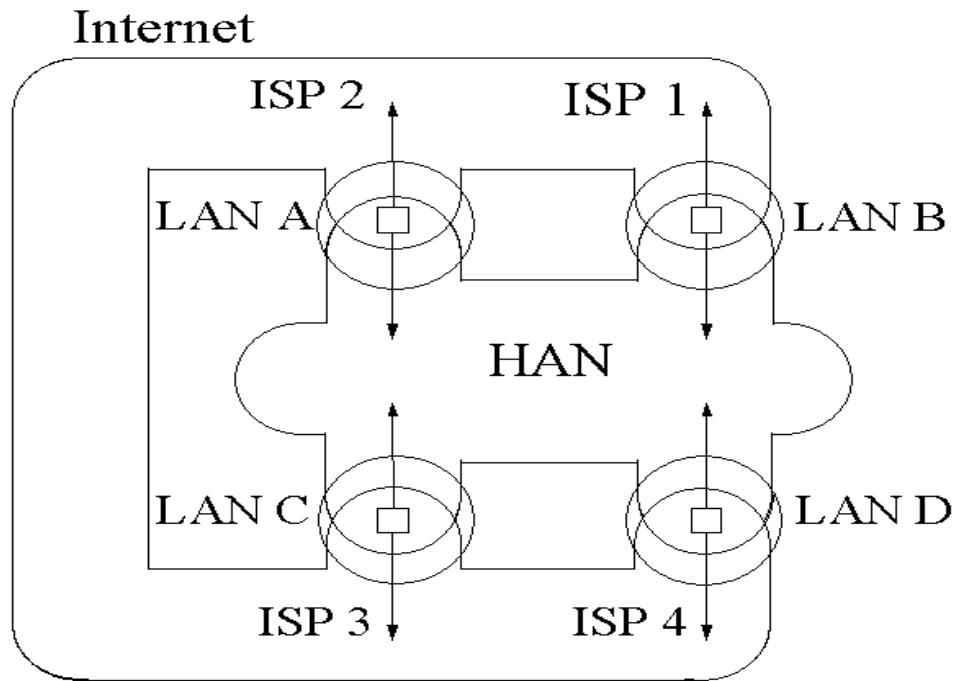


図 2.4 4 つの LAN を持つ HAN の例

用ノウハウの確立を目的としている。

産業	官庁	学術
高知システムズ	高知県情報企画課	高知工科大学
シティネット	高知県工業技術センター	高知大学
富士通高知システムズ		高知高専

表 2.1 KPIX 実験協議会参加組織

2.4.1 KPIX における下位層の設計と構築

本節では、KPIX の下位層の設計と構築について述べる。ここで述べる内容は PIX モデルとは直接関係がない。これは、PIX モデルがネットワーク層以上についての概念であるためである。しかし、実際には PIX モデルは地域での応用を目指しているため、地域内での

2.4 KPIX(Kochi PIX)

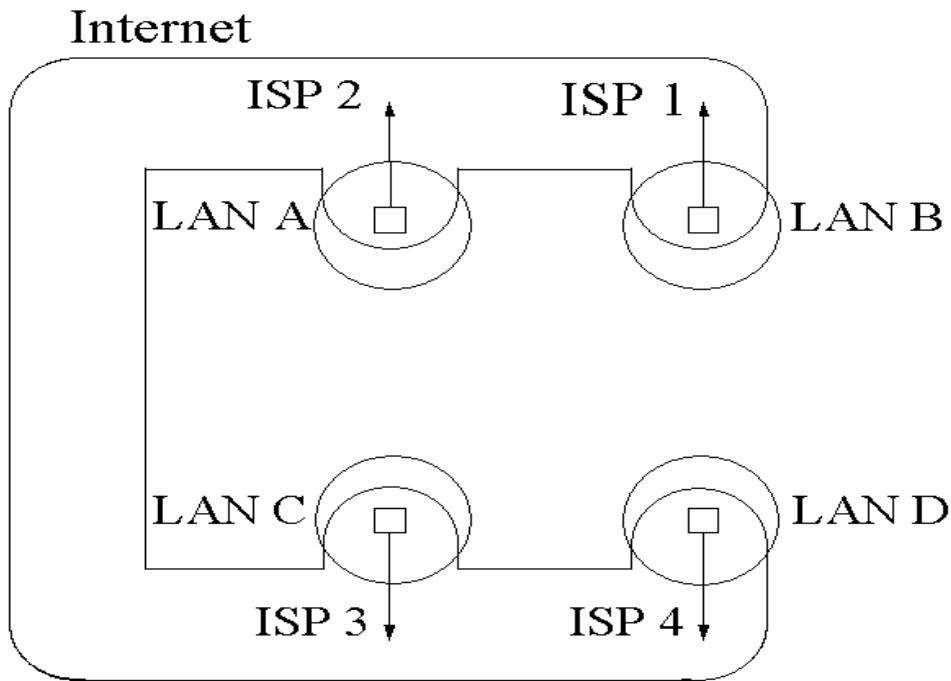


図 2.5 インターネットから見た HAN

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くる。

KPIX では、HAN を構成するためのインフラに一部 KCAN (Kochi City-size Area Network)[5] を使用している。一部とした理由として、KPIX は独自の専用線として無線 LAN ユニットを使用しているためである。KCAN は高知市・南国市をまたがる東西におよそ 20km、南北におよそ 10km を無線 LAN ユニットを使用し構築している。ネットワークとしては、プライベート IP アドレスを中央基幹セグメント・東部セグメント・西部セグメント・正蓮寺セグメント・土佐希望の家セグメントの 5 つのセグメントに分割し運用している。以下より、KPIX のインフラとして KCAN の無線ネットワークを含むものとする。

KPIX のネットワークを図 2.7 に示す。この図で四角は中継ポイントを、丸は接続ポイントを示している。

無線 LAN をデータリンクとして選択したのは、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であるためである。無線 LAN ユニットは、株式会社コーラス社製^{*1} の

^{*1} <http://www.callus.co.jp/>

2.4 KPIX(Kochi PIX)

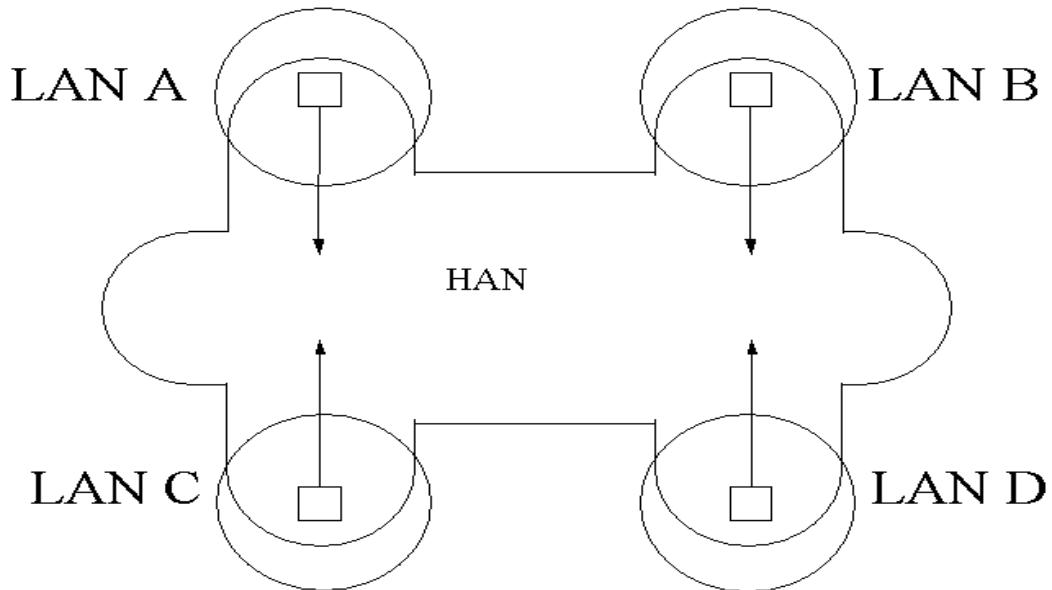


図 2.6 地域イントラネットとしての HAN

「LAN Any-where B10」とアイコム株式会社製^{*2}の「BR-200」を選択した。これらの簡単なスペックを図2.2に挙げる。KPIXを構成するHANはこれらの無線LANユニットを組み合わせて構築されている。

	通信速度	通信距離 (カタログ値)	通信方式
B10	11Mbps	約 5km	スペクトラム拡散方式 (DSSS)
BR-200	2Mbps	約 2km	スペクトラム拡散方式 (DSSS)

表 2.2 無線 LAN ユニット能力一覧

これらの無線 LAN ユニットの通信方式には 2.4GHz 帯のスペクトラム拡散方式を使っている。また、これらの無線 LAN ユニットは直接拡散方式 (Direct Sequence Spread

^{*2} <http://www.icom.co.jp/>

2.4 KPIX(Kochi PIX)

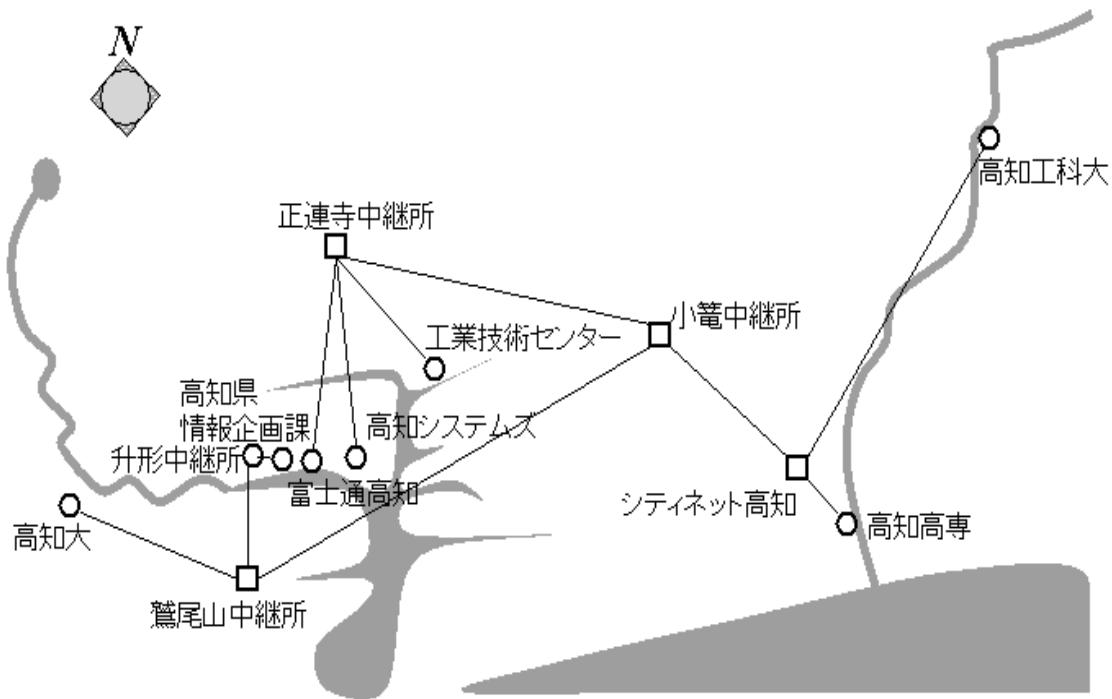


図 2.7 KPIX の無線リンク

Spectrum、以下 DSSS とする）を採用している。スペクトラム拡散方式の無線を選択したのは以下の利点があるためである。

- 無線局免許、無線従事者免許が不要である
- 秘話製、秘匿性に優れている
- 天候の変化による影響を受けにくい
- 高速の伝送路としては、初期コスト及び運用コストが低廉である
- 小型、軽量、小消費電力の割に長距離（数 km）の通信が可能である

2.5 KPIX の経路制御

2.4.2 KPIX の特徴

KPIX の特徴を述べる。

KPIX はデータリンクとして無線 LAN を用いている。これにより、HAN を構成する回線の維持費が安価になっている。

現在、KPIX で交換するアプリケーションプロトコルは HTTP である。HTTP を交換するために、フリーのプロキシキャッシュサーバである Squid を使っている。また Squid の動作連携は、PIX モデルの基本動作連携である 12 通りとは異なる構成を取っている。これは、KPIX 参加組織のポリシーを満たす構成を取ったためである。

KPIX は将来、ストリーム型のデータをキャッシュし、地域にとって有益なコンテンツの増加を目指す。

以降、一般的な PIX モデルのことを「PIX モデル」、高知県で PIX モデルの実証実験として構築しているものを「KPIX」と呼ぶ。

2.5 KPIX の経路制御

KPIX では PIX モデルの経路制御設計とは異なった設計、実装を行っている。この節では KPIX の経路制御設計の PIX と異なる点を挙げ、KPIX における設計を示す。

2.5.1 PIX モデルの経路制御の問題点

PIX モデルの経路制御ポリシーでは、HAN ボーダと HAN とは IP reachable である。すなわち、全ての組織内の HAN ボーダは、互いに IP reachable である。そのため、HAN ボーダを互いに IP reachable にするために設定を行う必要がある。しかし、PIX で接続される各組織はそれぞれの組織内の経路制御に関するポリシーを持っている場合がある。その場合、ポリシーによっては HAN ボーダを互いに IP reachable にするための設定が行えない場合がある。このような場合は、ゲートウェイを設置する場所が IP reachable でなくなり、PIX モデルが要求するトラフィック交換のモデルを実現できない可能性がある。

2.5 KPIX の経路制御

2.5.2 KPIX での実装

KPIX では以下の理由により、PIX モデルの経路制御ポリシーとは異なったポリシーを採用した。

- 下位層として KCAN のリンクを利用している

KCAN は KPIX とは別のネットワーク組織であるため、KPIX の経路情報が KCAN に流れるのは好ましくない。

- KPIX で利用しているルータが OSPF を実装していない

KPIX 参加組織の多くは、組織内の経路制御を OSPF を用いて行っていたが、KPIX で採用したルータが OSPF に対応しておらず、経路情報の交換が不可能であった。

PIX 参加組織の数が少ない場合は、静的ルーティングを行うことで上記のような問題がある場合でも PIX の設計に基づいた経路制御設計が可能である。しかし、その場合は PIX 参加組織の増減に伴なって経路情報の更新が必要となり、管理コストが増加するため PIX のメリットが減少する。

KPIX では PIX モデルにおける HAN ボーダを作らず、各組織内 LAN と HAN とは IP reachable ではない。そこで各組織内 LAN と HAN とを繋ぐルータの両側にキャッシュサーバを設置し、その 2 つのホストの間のみに対する静的経路を設定した。つまり、2 台のゲートウェイをセットにして、組織内 LAN、HAN 両方から同様に見えるように設定し、あたかも 1 台の HAN ボーダが存在するかのように見せている。

第3章

HAN 内サーバへのアクセス手法

前章では、PIX はアプリケーション層のプロトコルを交換する IX であることを述べた。

この PIX モデルにおいては、PIX に接続されているある組織から、同じく PIX に接続されている別の組織へのトラフィックを、HAN を経由して交換できる。しかし、経路制御の制限によって、HAN 内にサーバをおいた場合には Internet からはアクセスできない。これを解決するため HAN 内のサーバにインターネットからアクセスする手法を開発した。

この章では各組織内、HAN 内とともに private IP address が割り当てられており、HAN ボーダには global IP address が割り当てられていると仮定する。

3.1 Internet へのアクセス

HAN 内サーバへのアクセス手法を述べる前に、PIX モデルにおけるトラフィックの交換について述べる。

3.1.1 PIX のルーティング

2.3 節で述べた通り、PIX では HAN を単位として経路制御をおこなう。PIX は HAN、Internet、組織内 LAN で構成される。

それぞれのネットワークは互いに IP reachable ではない。ただし、互いに IP reachable である一部の領域として HAN ボーダが存在する。全ての組織の HAN ボーダは HAN を通して互いに IP reachable である（図 3.1）。ここで、HAN に割り当てられる IP address は global であっても private であってもかまわない。また各組織内 LAN に割り当てられる

3.1 Internetへのアクセス

IP address にも global と private それぞれの場合がある。さらに、各組織内 LANにおいて NAT, NAPT を用いて Internet に接続している状態も仮定しうる。

ここで、HAN 内は IP reachable であり、HAN ボーダ同士が IP reachable であるように経路制御していると仮定する。

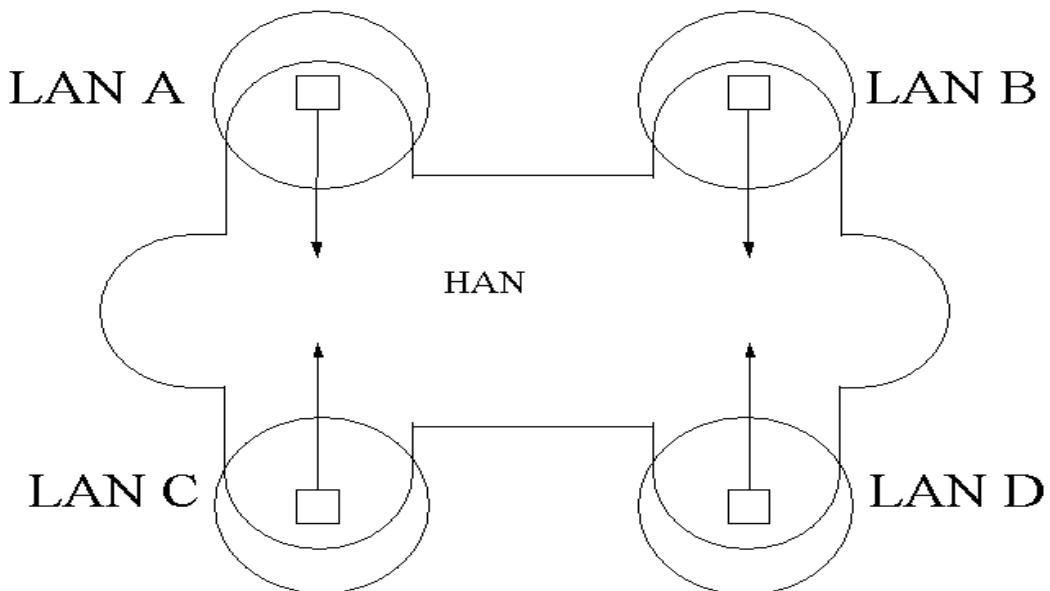


図 3.1 HAN ボーダは HAN を通じて IP reachable

3.1.2 PIXにおけるトラフィックの交換

PIXにおけるトラフィックの交換はアプリケーション層のプロトコルを用いて行う。交換所となるゲートウェイの仕様を変更することで、さまざまなプロトコルの交換ができる。ただし、ゲートウェイを通して通信を行うことが可能であるプロトコルであって、使用するプログラムがその方式に対応していることが条件となる。

この章では、KPIXと同じく http を交換するネットワークにおいてのトラフィック交換について述べる。http で扱うコンテンツを PIX で共有することで擬似的にトラフィックの交換を行う。コンテンツの共有を行う技術として HTCP[4] がある。

3.1 Internetへのアクセス

3.1.3 WWW サーバ群の動作

ここでは X、Y、Z の 3 つの組織が存在しているネットワークを仮定する。http を交換するゲートウェイとして、キャッシングサーバを用いる。仮定したネットワークでこのキャッシングサーバを HAN ボーダ、もしくはその付近に設置する。このキャッシングサーバ群を互いに連携させ、クライアントから受け取ったリクエストをコンテンツサーバ、もしくは連携した他のキャッシングサーバに転送する。また、転送したリクエストによって受け取ったコンテンツをクライアントに渡す。キャッシングサーバ群の連携する状態を図 3.2 に示す。

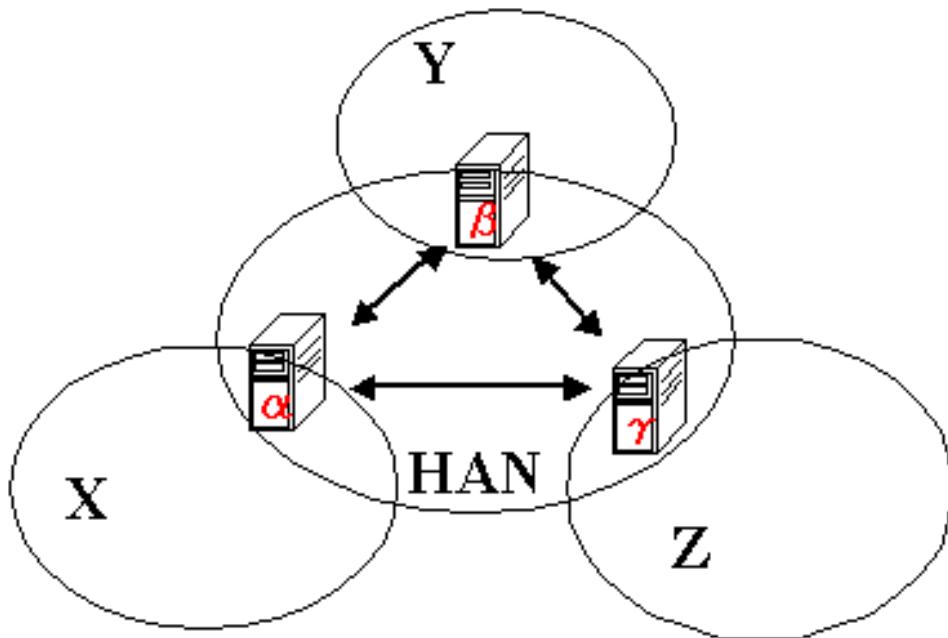


図 3.2 キャッシュサーバの連携

組織 X 内のクライアントから組織 Z のクライアントに対してコンテンツのリクエストが発生した場合の動作を図 3.3 に示す。実線の矢印がリクエストの流れを、破線の矢印がリクエストに対するレスポンスの流れを示す。以上により、PIX に接続している組織同士でのトラフィック交換を HAN を通して解決できることを示した。

次に、HAN 内にコンテンツサーバを設置して各組織からアクセスさせたい場合を考える。この場合は、HAN 内のコンテンツサーバが DNS に登録されている必要がある。この DNS

3.2 HAN 内サーバへのアクセス

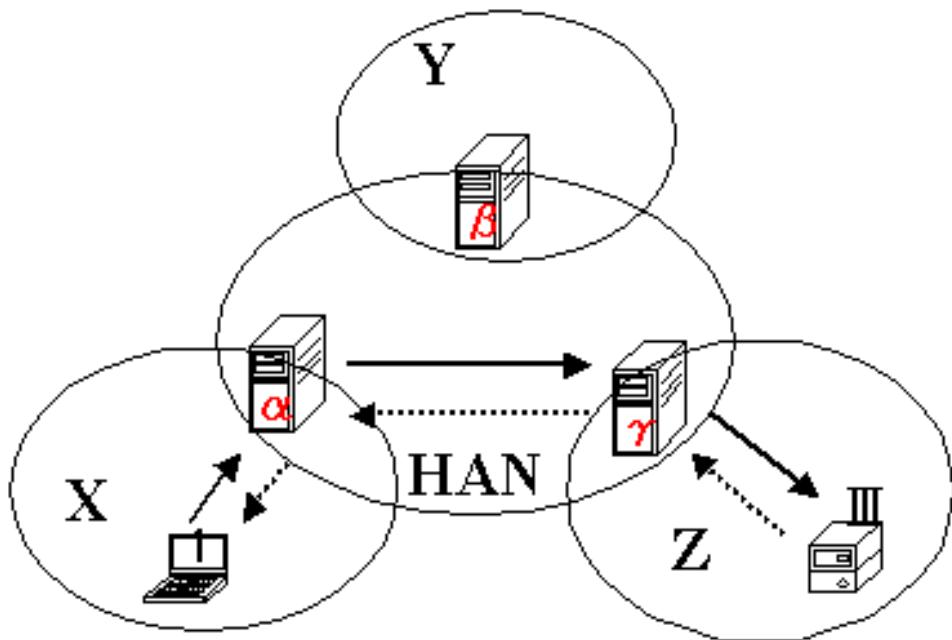


図 3.3 組織 X から組織 Y へのリクエストの解決

の名前空間は PIX に接続する各組織から参照できる必要がある。名前解決が可能になっていれば、HAN 内のコンテンツサーバに対してアクセスできる。次節では、この HAN 内のコンテンツサーバに Internet からアクセスさせる方法について述べる。

3.2 HAN 内サーバへのアクセス

次に、PIX モデルでは交換できないトラフィックを説明し、それを解決する手法を述べる。

3.2.1 交換できないトラフィック

まず標準の PIX モデルでは、HAN 内のコンテンツサーバは PIX 参加組織から名前解決が可能なように DNS に登録した。これによって、PIX 内からは、コンテンツサーバはホスト名によってアクセスできる。

ここで、Internet 側から HAN 内のコンテンツサーバにアクセスを試みても、名前解決が不可能であるためにアクセスできない。もしくは PIX 参加組織から名前解決が可能である、

3.2 HAN 内サーバへのアクセス

という要件を満たすために、上記のサーバが登録されている PIX 内の名前空間を Internet 側に公開している場合がある。この場合は Internet 側から名前解決を行っても、ここで仮定する PIX モデルでは HAN 内は private IP address であり、名前解決によって得られる IP address も private なものである。図 3.4 この private な Internet からは IP reachable ではない。そのためリクエストの方向が Internet → 組織内 LAN → HAN の向きでコンテンツサーバにアクセスできない。

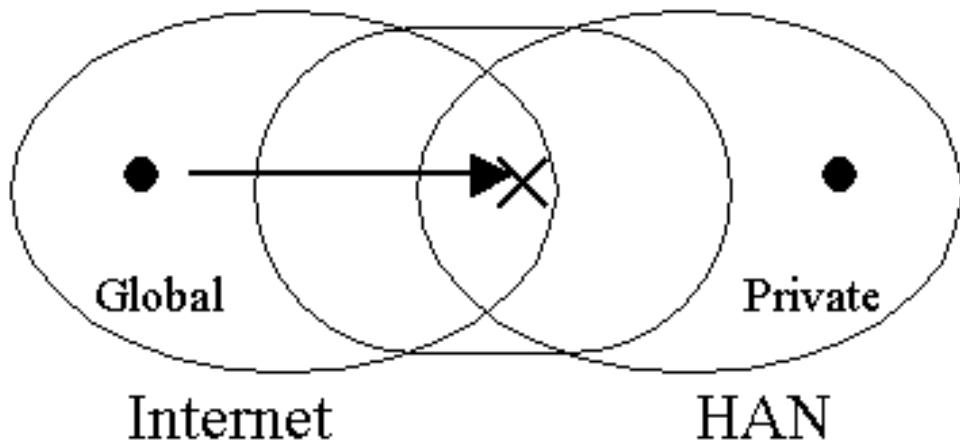


図 3.4 Internet から HAN は IP reachable ではない

3.2.2 交換を可能にする DNS の構成

前節では、標準的な PIX モデルにおいて交換できないトラフィックについて述べた。この節ではこのトラフィックを交換するための DNS の設定について述べる。

HAN 内のコンテンツサーバに Internet からアクセスさせる場合、HAN ボーダにサーバを設置すれば、容易に Internet からアクセスさせることが可能である。ただし、必ずしも HAN ボーダにサーバを設置することが可能だとは限らない。その理由として、以下があげられる。

- 各組織のポリシー

HAN 内に設置したいコンテンツサーバは、PIX に関するコンテンツや地域の情報

3.2 HAN 内サーバへのアクセス

を集めたものになると考えられる。このようなコンテンツサーバを、PIX 参加組織のポリシーによっては組織内に設置することができない可能性がある。

- HAN が入れ子になっている

今まで説明してきた PIX モデルでは、HAN は各組織を接続する 1 つしかなかった。しかし、図 3.5 に示すように HAN の奥にもう 1 つの HAN をおくような設計も可能である。この、奥の HAN の要求として HAN 内にコンテンツサーバを設置する場合は、奥の HAN には HAN ボーダが存在しないため奥の HAN 内に設置することになる。

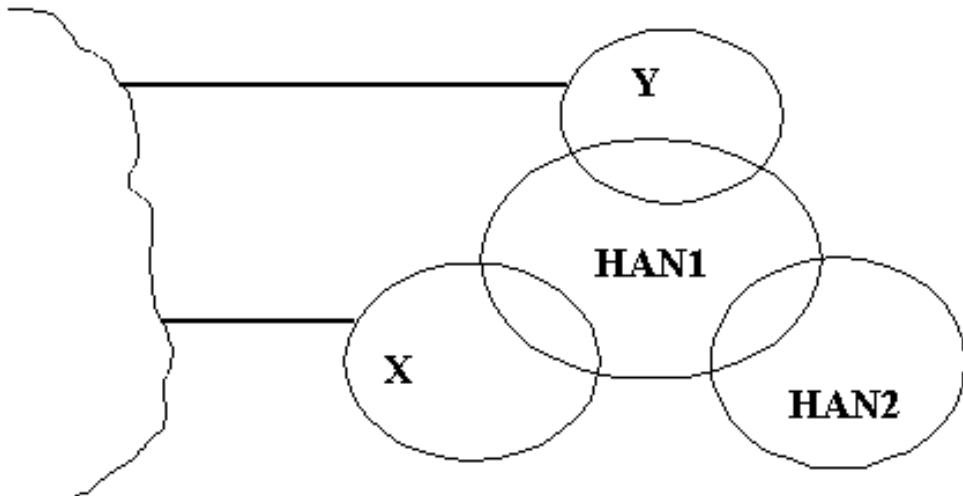


図 3.5 入れ子状の HAN

そのため今回はより一般的に用いることが可能な構成として、HAN 内に設置したコンテンツサーバに対して Internet からアクセスさせる場合を考える。

これを実現するためには、まず HAN 内のコンテンツサーバが Internet から名前解決できる必要がある。さらに、Internet からの名前解決によって得られる IP address は Internet から IP reachable である必要がある。このため名前空間を以下のように 2 つに分離する。

- Internet 向け
- 組織内、HAN 内向け

3.2 HAN 内サーバへのアクセス

また、http をリレーすることが可能であるゲートウェイマシンを用意する。このようなゲートウェイを一般的にプロキシと呼ぶ。その上で Internet 向けには HAN 内のコンテンツサーバとして上記のゲートウェイを広告する。また、組織内向けには HAN 内のコンテンツサーバ自身を広告する。ここでゲートウェイ自身は組織内の名前空間に属するものとする。

3.2.3 リクエストの転送

前節のように DNS を設定したとき、HAN ボーダにゲートウェイを設置することで http のリクエストをリレーすることが可能となる。以下で、リクエストがリレーされる流れを述べる。

Internet にあるクライアントが、www.pix.foo.net というコンテンツサーバにアクセスを試みる。クライアントは DNS を用いて www.pix.foo.net の IP address を取得する。DNS は Internet からの名前解決に対して、proxy.pix.a.net という答えを返す。これは HAN ボーダに設置したゲートウェイの名前である。この答えは IP address ではないため、再度名前解決を行ってこのゲートウェイの IP address を得る。この address は global であり、Internet から IP reachable である。そのため、クライアントは proxy.pix.a.net に対してコンテンツのリクエストを行う（図 3.6）。

クライアントからのリクエストを受けた proxy.pix.a.net は、www.pix.foo.net を名前解決する。DNS は、組織内 LAN からの名前解決に対して、192.168.100.100 という答えを返す。これは HAN 内にあるコンテンツサーバである。HAN ボーダから HAN へは IP reachable であるため、ゲートウェイは HAN 内サーバに対してリクエストを行う（図 3.7）。

その後ゲートウェイは HAN 内サーバよりコンテンツを取得し、クライアントに渡す。このように、DNS の構成を工夫し、適切に設定されたゲートウェイを組み合わせることで Internet から HAN 内のコンテンツサーバにアクセスさせることができた。

さらに、この構成に PIX に接続する他の組織の HAN ボーダにもゲートウェイを設置できたならば、図 3.8 のように、さらにインターネットに対して www.pix.foo.net として

3.3 HAN の入れ子

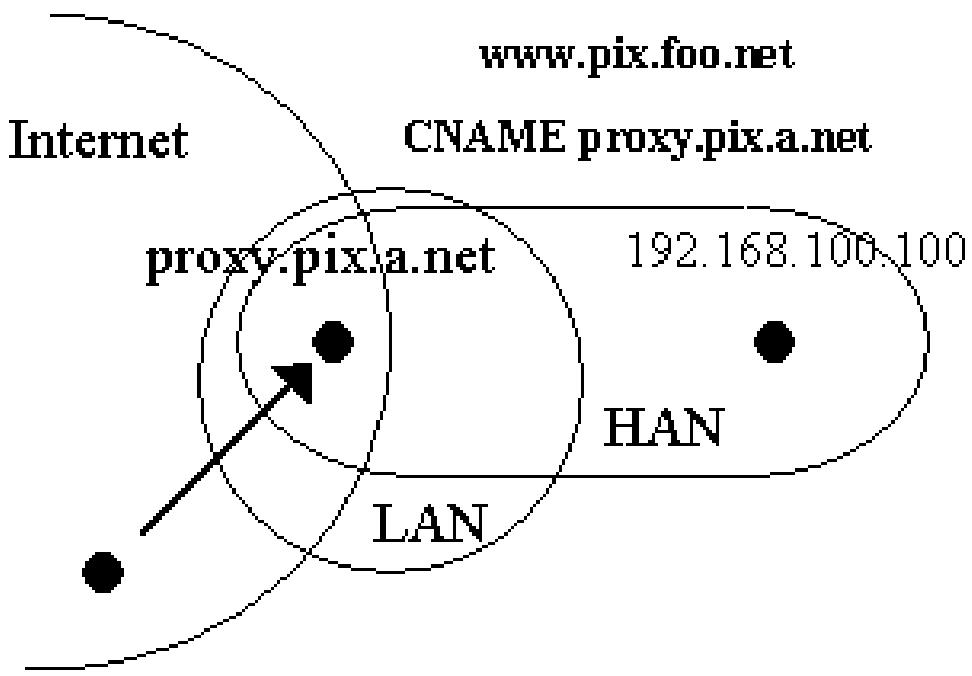


図 3.6 クライアントからゲートウェイへのリクエスト

proxy.pix.b.net を広告することによって DNS のラウンドロビン機能による不可分散 [7] を期待できる。

3.3 HAN の入れ子

Internet から HAN へのリクエストを解決できるようになった PIX モデルにおいて、入れ子構造を導入すること、すなわち HAN の奥に独立した HAN を構成することは容易である。たとえば、県レベルの HAN の内側に町村レベルの HAN を構成する例が代表的である。HAN が入れ子構造を持つ場合も第 3.2.2 節同様に DNS を構成することで内側の HAN 内のコンテンツサーバにインターネットからのアクセスが可能になる。

図 3.9 に示すように、クライアントは www.pix.foo.net を名前解決し、proxy.pix.a.net を得て、それに対してリクエストを行う。リクエストを受けた proxy.pix.a.net は、同様に www.pix.foo.net を名前解決し、proxy.han1.pix.net を得る。proxy.han1.pix.net は、同

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

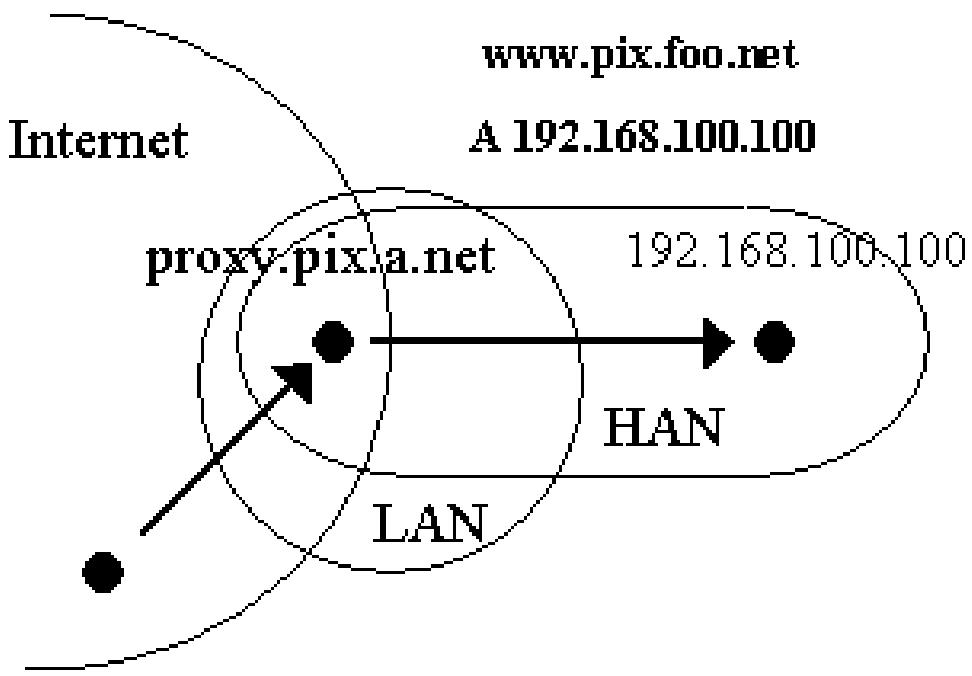


図 3.7 ゲートウェイから HAN 内サーバへのリクエスト

様に名前解決を行い、192.168.110.100 を得る。この IP address は HAN2 内のコンテンツサーバであり、コンテンツを取得した proxy.han1.pix.net は proxy.pix.a.net に渡す。 proxy.pix.a.net は受け取ったコンテンツをクライアントに渡す。以上により Internet から入れ子の内側の HAN 内のコンテンツサーバにアクセスする手法を示した。

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

前節では Internet から HAN 内のコンテンツサーバに対して、DNS の設定とゲートウェイの設置によってアクセスさせる手法を示した。

この節では前節で述べた手法を一般化し、互いに IP reachable ではない LAN が直列に並んでいる場合に、ある LAN にあるクライアントから、一つ以上の LAN を超えた LAN にあるコンテンツサーバにアクセスさせる手法を提案する。

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

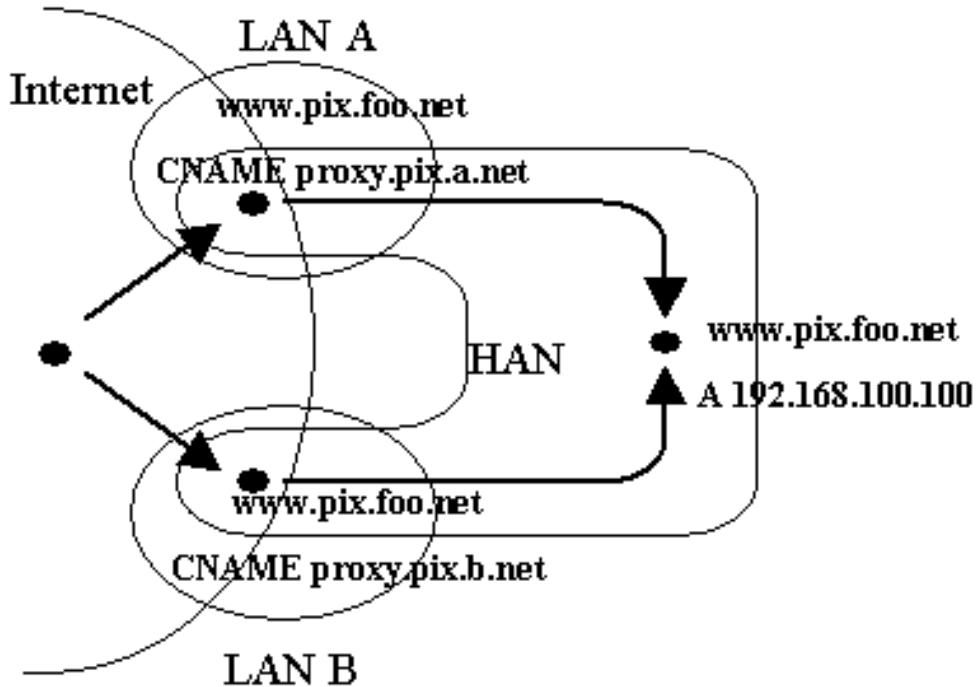


図 3.8 DNS による不可分散

3.4.1 直列に接続された LAN

PIX を広域に拡大した場合や近隣の PIX が相互に接続した場合など、複数の LAN が数珠繋ぎに接続される状況が想定される。複数の LAN が直列に接続されたモデルを図 3.10

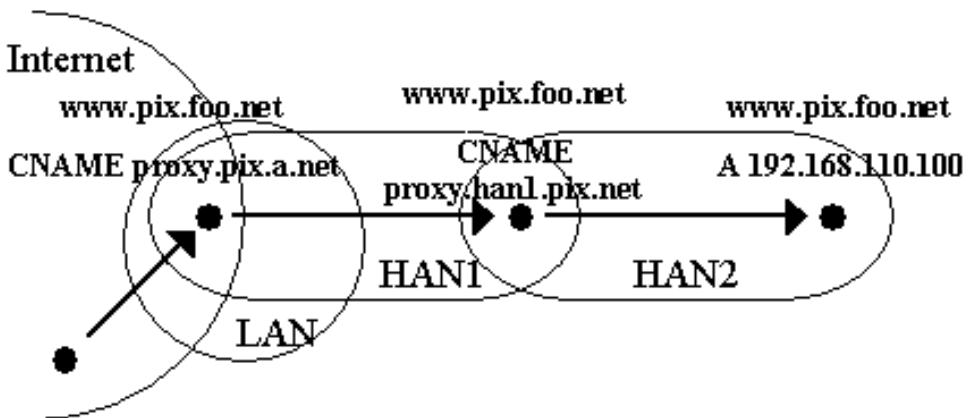


図 3.9 入れ子の内側の HAN 内サーバへのリクエスト

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

に示す。このモデルを CLAN(Cascaded LAN) と呼ぶ。それぞれの LAN は HAN と同等の性質を持ち、隣接する LAN とは IP reachable ではない。また、それぞれの LAN の境界には重なった領域があり、両側の LAN に対して IP reachable である。この条件下の CLAN において DNS の設定を工夫し、またゲートウェイを用いて、ある LAN から直接 IP reachable でない他の LAN へのリクエストを転送する手法を示す。

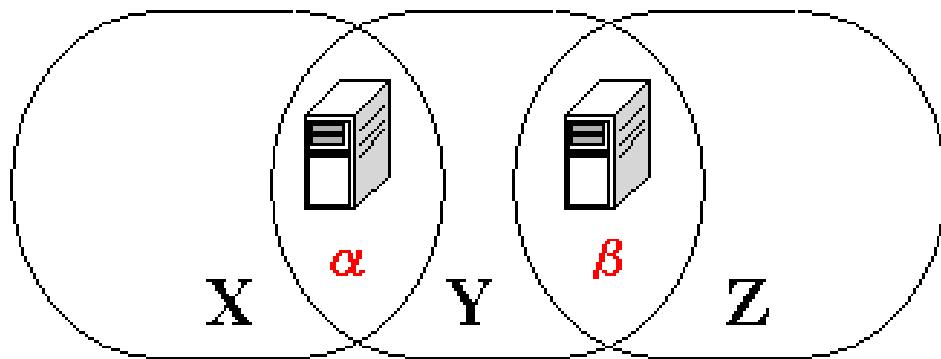


図 3.10 直列に接続された複数の LAN のモデル

3.4.2 DNS の構成

CLANにおいても、各 LAN に対応して名前空間を複数用意する。ここで示すネットワークは図 3.10 のように 3 つの LAN が直列に接続されており、それぞれの LAN を X, Y, Z と呼ぶ。ただし、PIX モデルの場合と異なる点もある。PIX モデルの場合の名前空間は以下のように分かれた。

- Internet 向け
- 組織内、HAN 内向け

これに対して CLAN における名前空間は以下のように分かれる。

- 各 LAN 向け
- 2 つの LAN の重なる部分向け

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

このように分ける理由を以下に示す。

PIX モデルでは HAN から Internet へのトラフィックはキャッシュサーバを用いて転送を行う。そのため前章の PIX モデルの例では、HAN ボーダにおかれたゲートウェイは Internet から HAN 内のコンテンツサーバへ向けてのリクエストのみ扱うことができた。つまり、ゲートウェイが扱うトラフィックは、HAN を流れるリクエストのうち、外から中のサーバへリクエストが流れるもののみであった。

しかし、CLAN のモデルでは全てのリクエストをゲートウェイが扱うため、前章の手法ではリクエストを転送することができない。なぜなら、図 3.10 のモデルでは、X から Z へのリクエストと、Z から X へのリクエスト両方を扱う必要がある。例えば X から Z へのリクエストの場合は、ゲートウェイ α は Y の名前空間に、 β は Z の名前空間に属する必要がある。しかし逆の Z から X へのリクエストの場合は、ゲートウェイ α は X の名前空間に、 β は Y の名前空間に属する必要がある。このように 1 つのホストが 2 つ以上の名前空間に属する構成を避けるために、ゲートウェイ α, β がある、LAN 同士が重なる部分の名前空間を独立させる。

このように名前空間を分けた CLAN モデルに対して、DNS の設定を行う。各 LAN 内の名前空間では、コンテンツサーバがある側のゲートウェイを広告する。すなわち、LAN Yにおいて、LAN Z にあるコンテンツサーバとして、ゲートウェイ β を広告する。また、LAN Zにおいて、LAN X にあるコンテンツサーバとしてゲートウェイ β を広告する。

次に LAN 同士の重なる場所、つまりゲートウェイの属する名前空間では、コンテンツサーバとして、隣接 LAN にコンテンツサーバがあればそのアドレスを広告し、なければコンテンツサーバがある側の隣接ゲートウェイを広告する。

CLAN のいずれかの名前空間において、いずれかの LAN にあるコンテンツサーバの名前解決を行うと、どのような答えが得られるかを表 3.1 に示す。縦にコンテンツサーバのある LAN の名前を、横に名前空間をとり、名前解決をして得られる答えを表中に示した。

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

	X	X-Y 間	Y	Y-Z 間	Z
X	ホスト	ホスト	α	α	β
Y	α	ホスト	ホスト	ホスト	β
Z	α	β	β	ホスト	ホスト

表 3.1 名前空間ごとの DNS の広告内容

3.4.3 リクエストの転送

前節で構成した DNS によってリクエストが転送される流れを以下に示す。

ここでは、X のクライアントから Z のコンテンツサーバにアクセスする場合について述べる。このネットワーク全体のドメインは pix.net であり、各 LAN は x, y, z のサブドメインを設定する。LAN どうしの重なる部分は図 3.10 をもとに alpha, beta のサブドメインを持つ。また、コンテンツサーバのホスト名は www であり、ゲートウェイのホスト名は proxy である。

これらのホスト名を以下にまとめる。

- LAN X のコンテンツサーバ wwwx.pix.net
- LAN Y のコンテンツサーバ www.y.pix.net
- LAN Z のコンテンツサーバ www.z.pix.net
- LAN X-Y 間のゲートウェイ proxy.alpha.pix.net
- LAN Y-Z 間のゲートウェイ proxy.beta.pix.net

X のクライアントは Z のコンテンツサーバの www.z.pix.net を名前解決する。その答えとして表 3.1 により、proxy.alpha.pix.net を得る。この結果、X のクライアントは proxy.alpha.pix.net にリクエストを行う（図 3.11）。proxy.alpha.pix.net も同様に名前解決を行い、答えとして proxy.beta.pix.net を得て、リクエストを行う（図 3.12）。proxy.beta.pix.net も名前解決を行い、答えとして 192.168.150.100 を得る（図 3.12）。

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

このアドレスは Z のコンテンツサーバであるので、proxy.beta.pix.net はコンテンツを取得し、proxy.alpha.pix.net に渡す。proxy.alpha.pix.net は受け取ったコンテンツをクライアントに渡す。

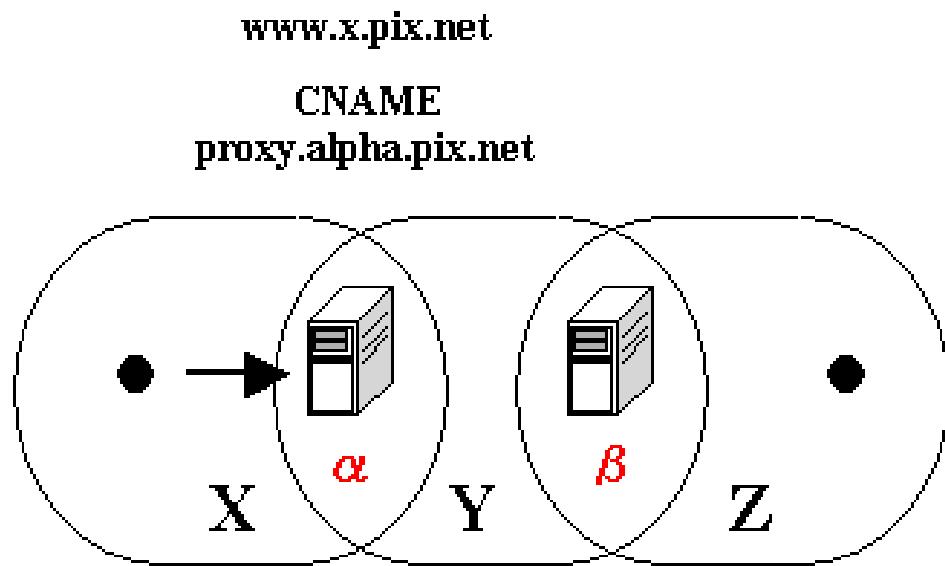


図 3.11 X のクライアントからゲートウェイ α へのリクエスト

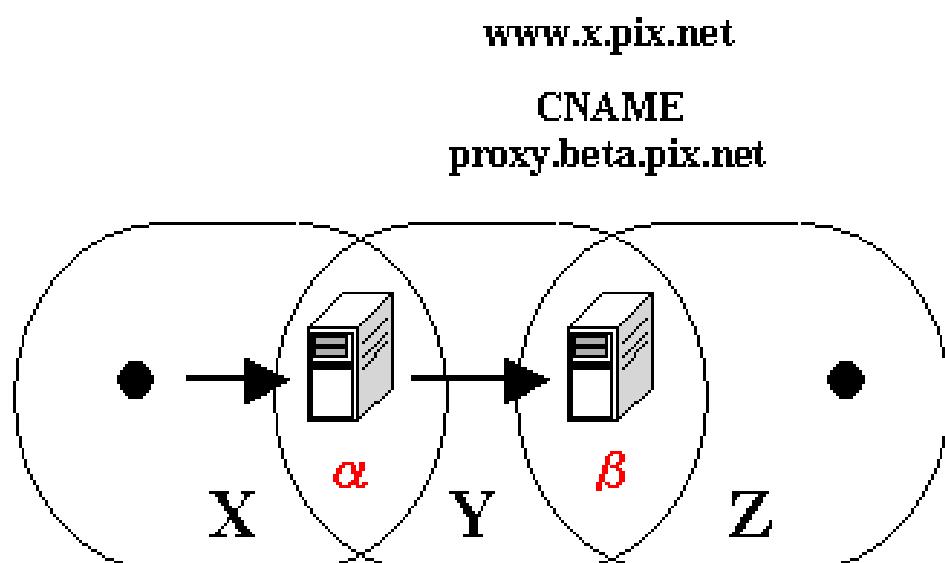


図 3.12 ゲートウェイ α からゲートウェイ β へのリクエスト

3.4 HAN 内サーバへのアクセス手法の応用

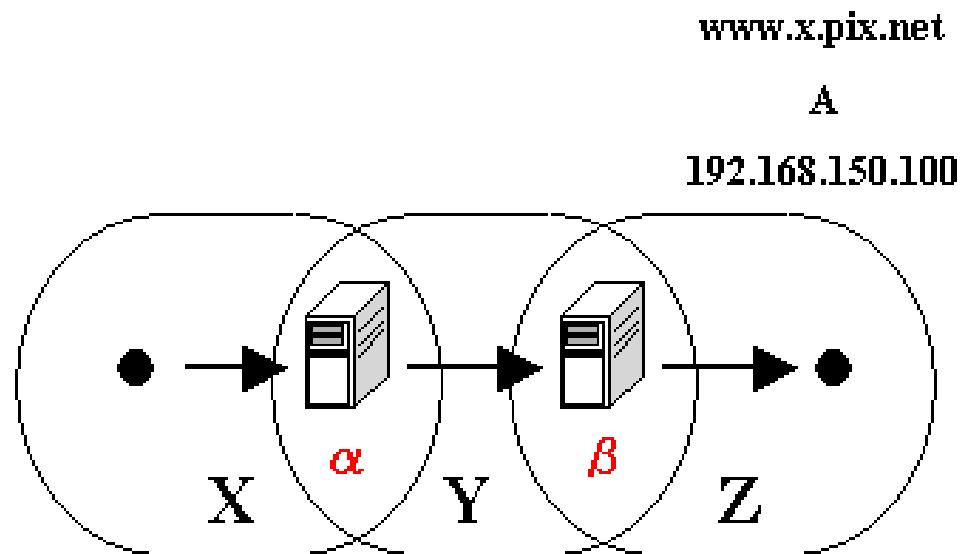


図 3.13 ゲートウェイ β から Z のコンテンツサーバへのリクエスト

以上により、直列に接続された LAN において、1つ以上の LAN を超えてコンテンツサーバにアクセスすることを可能にする手法を示した。

第4章

まとめ

全体のまとめを行う。

本研究では、地域指向擬似 IX モデルにおいて、HAN 内に設置したコンテンツサーバに Internet からアクセスする手法を開発した。

PIX モデルでは、PIX 参加組織間でコンテンツを共有することで、地域内でトラフィックが交換されているように見える。さらに Internet 上のコンテンツを共有することで、Internet へのトラフィックのうち重複したコンテンツのリクエストを避けることができ、帯域を有効活用することが可能となる。

しかし、このモデルは地域内でのリクエストの解決を目的としており、Internet から PIX へ向かうリクエストは到達することができず、解決できない。この問題を、DNS の構成と、適切に設定されたゲートウェイを設置することで解決した。さらに DNS のラウンドロビン機能を用いた負荷分散や、HAN の構造が複雑になった場合の設計について述べた。

そしてこの設計手法を一般化した。つまり、DNS の構成と適切に設定されたゲートウェイを用いて、複数のネットワークが直列に接続されている場合に任意のネットワークのクラウドアントから任意のネットワークのコンテンツサーバにアクセスさせる手法とした。

これらの手法を用いることで、コンテンツサーバの設置場所にとらわれることなくネットワークを構成することができ、より柔軟な PIX の構築を行うことができる。また、複数のネットワークが接続した場合に、ネットワーク層における複雑な経路制御の設定を行うことなく自由にコンテンツサーバにアクセスすることが可能となる。

謝辞

本研究を行うに際し、終始懇切丁寧なご鞭撻をたまわりました、高知工科大学 工学部 電子・光システム工学科 矢野政顕教授に心から感謝いたします。

本研究の全過程を通じて、懇切丁寧なご指導を賜わりました高知工科大学 情報システム工学科 菊池豊助教授に厚くお礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、ご指導とご助言をいただきました高知工科大学 工学部 電子・光システム工学科 学科長 原央教授、電子・光システム工学科 橋昌良助教授に厚くお礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、有益な御討論、御助言を頂きました高知工科大学 電子・光システム工学科 矢野研究室の皆様に厚くお礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、有益な御討論、御助言を頂きました高知工科大学 情報システム工学科の杉山道子氏、西内一馬氏、廣瀬崇夫氏、ならびに菊池研究室の皆様に心から感謝し、お礼申し上げます。

本研究を進めるにあたり、貴重な御討論、ご助言を頂きました高知工科大学 工学部 電子・光システム工学科 野中弘二助教授、ほか野中研究室の皆様に心から感謝し、お礼申し上げます。

また、日頃より有益な御討論、御助言をいただきました高知大学 理学部 数理情報科学科の菊地時夫助教授に感謝いたします。

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] I. Cooper, P. Gauthier, J. Cohen, M. Dunsmuir, and C. Perkins. Web proxy auto-discovery protocol, November 2000. draft-cooper-webi-wpad-00.txt.
- [2] David L. Mills. Network time protocol version 3, March 1992. RFC 1305.
- [3] J. Mogul, D. Mills, J. Brittenson, J. Stone, and U. Windl. Pulse-per-second api for unix-like operating systems, version 1.0, March 2000. RFC 2738.
- [4] P. Vixie and D. Wessels. Hyper text caching protocol (htcp/0.0), January 2000. RFC 2756.
- [5] 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. 信学技報, pp. 39–44. 電子情報通信学会, January 2000.
- [6] 西内一馬, 杉山道子, 廣瀬崇夫, 正岡元, 菊池豊. 高知地域指向疑似 IX の課題と解決法. 情報処理学会研究報告, pp. 25–30. 分散システム運用技術研究会, October 2000. ISSN0919-6072.
- [7] 馬場始三, 山口英. Dns を用いた広域不可分散の実装. 情報処理学会研究報告 98-DSM-9, pp. 37–42. 分散システム運用技術研究会, 1998. ISSN 0919-6072.
- [8] 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, December 1997. ISSN1341-870X.
- [9] 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.
- [10] 菊池豊, 菊地時夫, 今井一雅, 松本浩明, 濱崎哲一, 武市統, 今西孝也, 澤本一哲, 杉山道子, 西内一馬, 廣瀬崇夫, 正岡元, 蒲原浩, 寺田浩詔. 高知応用層交換所の構築. 情報処理学会研究報告, pp. 49–54. DSM 研究会, May 2000. ISSN0919-6072.

付録 A

KPIX History

この付録では KPIX の歴史を時系列にそって示す。

- 【1996 年未明】地域 IX の誕生

IX を地方に構築しようとする活動が活発におこなわれ始める。これは、地域内のトラフィックが当該地域外の IX を経由することを、インターネットを基盤とした地域情報化を推進する場合の障害になると考へるようになってきたためである。

- 【1997 年】PIX モデル誕生

応用層によるトラフィック交換モデルが日本ソフトウェア科学会において発表される [8]。

- 【1997 年】DNS の構成

DNS の構成が話し合われ、おおまかな DNS の構成方法が決定する。

- 【1998/07/13】第 1 回 KPIX 会議

県庁情報企画課（電気ビル内）において会議を行う。本会において KPIX 実験研究協議会が発足した。

- 【1998/07/13】KPIX の誕生

PIX モデルの実証実験の場として KPIX が組織される。KPIX の構築・運営を通して、PIX モデルの構築・運用ノウハウの確立を目指す。

- 【1999/08/02】第 2 回 KPIX 会議

KOCHI 2001 PLAN 会議室（森連会館 6 階）において会議を行う。本会では、KPIX の実験計画について討議された。

- 【1999/12/02】第3回 KPIX 会議
高知大 菊地研究室において会議を行う。本会では、KPIX のルーティングについて討議した。
- 【1999/12/02】KPIX の経路制御
第3回 KPIX 会議において、以下の事項を確認した。
 - KPIX では HAN ボーダを置かない
 - 組織内 LAN と HAN との両方にキャッシュサーバをおく
 - ルーティングは静的に行う
- 【2000/02/10】第4回 KPIX 会議
高知大 会議室において会議を行う。本会では、Squid のインストール法、設定例、そして PIX モデルにおけるキャッシュサーバの連携の提案をし討議した。
- 【2000/02/10】Squid の動作の提案
PIX モデルにおけるキャッシュサーバの連携が 12 通りあることを示した。この連携は、設定変更にかかるコストについて考えられている。
- 【2000/】旧 Squid の設定考案
参加組織のコンテンツを HAN 内で共有する Squid の設定を考案し、示した。また、KPIX において実装し、検証を開始した。
- 【2000/04/17】KPIX 会議番外編
シティネット（大そね）において会議を行う。本会では、KPIX がデータリンクとして使用している IP ネットワークが IP reachable であってよいものかを討議した。
- 【2000/06】NTP の設定
TS-820 を購入。NTP の設定を行う。
- 【2000/07/25】第5回 KPIX 会議
高知高専 今井研において会議を行う。本会では、KPIX の無線リンクと Squid の設置状況と今後について討議した。

- 【2000/08/10】 MRTG を用いたトラフィック測定
MRTG を用いて、Squid サーバを通過する HTTP コンテンツの監視を始める。
- 【2000/09/29】 DSM 富山
かねてから問題であった、KPIX のプライベートアドレス枯渇問題について解決案を示した。また、データリンクの相互運用についての解決案も同時に示した。
- 【2000/10/14-19】 富山国体中継
富山国体の中継画像を JGN-菊池研究室と経由して、Windows Media Technology ストリーミングを KPIX へ配信した。
- 【2000/11/08】 ギガビットシンポジウム 2000 中継
北九州市で開催されたギガビットシンポジウム 2000 を JGN-菊池研究室と経由して、Windows Media Technology ストリーミングを KPIX へ配信した。
- 【2000/11/20-22】 ITRC 香川
PIX モデルにおいて効率的なサーバ間の連携の行えるサーバ群の構成を提案し、2000/12/1 に開催された DSM 和歌山にて発表をした。
- 【2000/12/01】 DSM 和歌山
PIX モデルにおいて効率的なサーバ間の連携の行えるサーバ群の構成を提案し、2000/12/1 に開催された DSM 和歌山にて発表をした。
- 【2000/12/04】 第 6 回 KPIX 会議
高知工科大 A260 高知工科大学において会議を行う。本会議では、無線リンクの状況、研究発表、次年度の研究計画について討議した。
- 【2000/12/04】 pac 作成
プロキシ自動設定ファイル pac を作成する。
- 【2000/12/04】 Squid 動作決定
効率的なサーバ間の連携が行える Squid の動作を決定した。
- 【2000/12/04】 新 Squid の設定考案
決定した動作に基づき Squid の設定ファイルを示した。

- 【2000/12/04】 Squid 実装開始
新 Squid の設定ファイルを適用し、効率的な連携が行えるか検証を開始した。
- 【2001/01/09】 コストモデル
KPIX 協議会以外の組織が PIX モデルを構築する際の指針となるために、PIX モデルのランニングコストをモデル化し評価した。
- 【2001/01/15】 第 7 回 KPIX 会議
高知工科大 A260 高知工科大学において会議を行う。本会議では、次年度の KPIX 会議運営について討議した。

付録 B

KPIX の活動

本付録を KPIX 活動の一つの資料としてまとめる。そのため、本文と一部重複する部分がある。

B.1 Squid 動作モデルの設計

我々は、PIX モデルにおける Squid の動作連携を提案した。これにより、PIX モデルでの Squid の連携は 12 通りあることがわかる [10]。このモデルでは、PIX モデルに新たに参加する組織が現れた場合の PIX 運営組織・新規 PIX 参加組織の設定変更にかかるコストに重点を置き、順位付けをおこなった（表 B.1）。この Squid 動作連携では、12 通り中どの連携パターンを選択するとキャッシュのヒット率が高くなるかということは考えていない。これは、キャッシュのヒット率が高くなるかということは、コンテンツをアクセスするトラフィックに依存しているため、このモデルでは一般的な解を得ることができないためである。

一般的な PIX モデル構成における Squid 動作連携をすべて示したことで、各組織のユーザ数やネットワーク運用体制の状態によって、最も設定変更にかかるコストが低い Squid の連携を明示することができた。

現在、運用を行っている KPIX では、各組織の運用面でのポリシーにより、基本的な Squid の動作連携は、表 B.1 中の『11』を選択している。この図より、KPIX は現在、設定変更にかかるコストに関しては良い連携を選んでいないことがわかる。

B.1 Squid 動作モデルの設計

B.1.1 設定変更にかかるコスト

表 B.1 は PIX モデルでの Squid の連携 12 通りを表している。この表は、後のキャッシュサーバ連携モデルに挙げるモデルを図 B.1 を基に、実際にどのキャッシュサーバを通過させるかを表している。

図 B.1 のパラメータの説明を述べる。最も左の列に表示される数字は、キャッシュサーバ連携の通し番号である。“Z → X” が示すものは、組織 Z のクライアントから組織 X へのコンテンツ要求の意味である。“X → Z” は、組織 X のクライアントから組織 Z へのコンテンツ要求の意味である。

“新規”・“既存” は PIX モデルに新たに加わる組織・PIX モデルの運営をおこなっている既存の組織が必要な設定量を表す。

“新規”・“既存” は 3 つのパラメータを持つ。このパラメータは左から、PIX 参加組織内キャッシュサーバ、組織に対応する HAN 内キャッシュサーバ、クライアントに必要な設定量を表す。また、その設定量を表す記号として、“-○△▲×” がある。この記号はそれぞれ左から、設定不要、少量の設定変更が必要、設定ファイルの変更を行うとして 2 行程度の変更が必要、設定ファイルの変更を行うとして 5 行程度の変更が必要、多くの設定変更が必要を表す。それぞれの記号にそれぞれ○に 1 点、△に 2 点、▲に 3 点、×に 4 点を付与する。

“合計” は各記号付与されている点の合計を書く。

“rank” は合計を基に各パターンを順位付けした結果である。

“hops” は要求をおこなうコンテンツサーバまでのホップ数を表す。

キャッシュサーバ連携モデル

ここでは、PIX モデルのキャッシュサーバ連携モデルを述べる。このモデルは、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。

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 であると考える。

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

- (a) コンテンツを持つサーバ
 - (b) 組織内でキャッシングを行うサーバ
2. PIX 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 であると考える。PIX バックボーンと各組織とでは IP 交換可能である。しかし、PIX 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ングサーバ
 - (b) コンテンツアクセスする側に設置するキャッシングサーバ
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 であると考える。
- (a) コンテンツにアクセスするクライアント
 - (b) 組織内でキャッシングを行うサーバ

このようなネットワークトポロジーモデル上でキャッシングサーバ連携モデルを考察した。

- コンテンツのあるサーバの組織のキャッシングサーバ 1b を用いるか否かの 2 通り。
- PIX バックボーンを通過する HTTP をどのキャッシング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いので、どのキャッシングサーバも用いないとい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ングサー
バ 3b 経由にするか否かの 2 通り。

このように、どのキャッシングサーバを連携し通過させるかだけで、12 通りの選択肢が存在する。

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

KPIX 参加組織による HAN の構築にともない、「KPIX 参加組織の WWW コンテンツを KPIX を介して取得する」 Squid の設定を考案し実装した。

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

	Z → X	Z → X 新規	Z → X 既存	X → Z	X → Z 新規	X → Z 既存	1 2 3 4 ○△▲×	合計	rank	hops
1.	● → ○ → △ 6 → 1 → 1	--△	---	● → ○ → △ 1 → 3 → 3	-○-	--△	1 2 0 0	5	3	2
2.	● → ○ → △ → ○ 6 → 1 → 1 → 1	--△	---	● → ○ → △ 1 → 3 → C → 3	-△-	--△	0 3 0 0	6	4	3
3.	● → ○ → △ 6 → 3 → 1	--○	---	● → ○ → △ 1 → 1 → 3	---	--○	2 0 0 0	2	1	2
4.	● → ○ → ○ → △ 6 → 3 → 1 → 1	-△○	---	● → ○ → ○ → △ 1 → 1 → 3 → 3	-○-	-△○	3 2 0 0	7	5	3
5.	● → ○ → ○ → A → 1 6 → 3 → 1 → A → 1	-△○	---	● → ○ → ○ → △ 1 → 1 → 3 → C → 3	-△-	-△○	2 3 0 0	8	7	4
6.	● → ○ → A → 1 6 → 3 → A → 1	-△○	---	● → ○ → C → 3 1 → 1 → C → 3	○--	-△○	3 2 0 0	7	5	3
7.	● → ○ → ○ → △ 6 → 1 → 1	x--	---	● → ○ → △ 1 → A → 3 → 3	-○-	▲--	1 0 1 1	8	7	3
8.	● → ○ → ○ → △ 6 → C → 1 → A → 1	x--	---	● → ○ → ○ → △ 1 → A → 3 → C → 3	-△-	▲--	0 1 1 1	9	10	4
9.	● → ○ → △ 6 → C → 3 → 1	▲--	---	● → ○ → △ 1 → A → 1 → 3	---	---	0 0 1 0	3	2	3
10.	● → ○ → ○ → △ 6 → C → 3 → 1 → 1	▲△-	---	● → ○ → 1 → △ 1 → A → 1 → 3 → 3	-○-	-△-	1 0 2 1	11	12	4
11.	● → ○ → ○ → 1 → A → △ 6 → C → 3 → 1 → A → 1	▲△-	---	● → ○ → ○ → ○ → C → △ 1 → A → 1 → 3 → C → 3	-△-	-△-	0 3 1 0	9	10	5
12.	● → ○ → ○ → A → △ 6 → C → 3 → A → 1	▲△-	---	● → ○ → ○ → △ 1 → A → 1 → C → 3	○--	-△-	1 2 1 0	8	7	4

表 B.1 KPIX トポロジーと設定量

B.2.1 参加組織による HAN の構成

PIX では、以下の経路制御ポリシーを満たす HAN を構成する（図 B.2）。

- HAN 内は IP Reachable である。

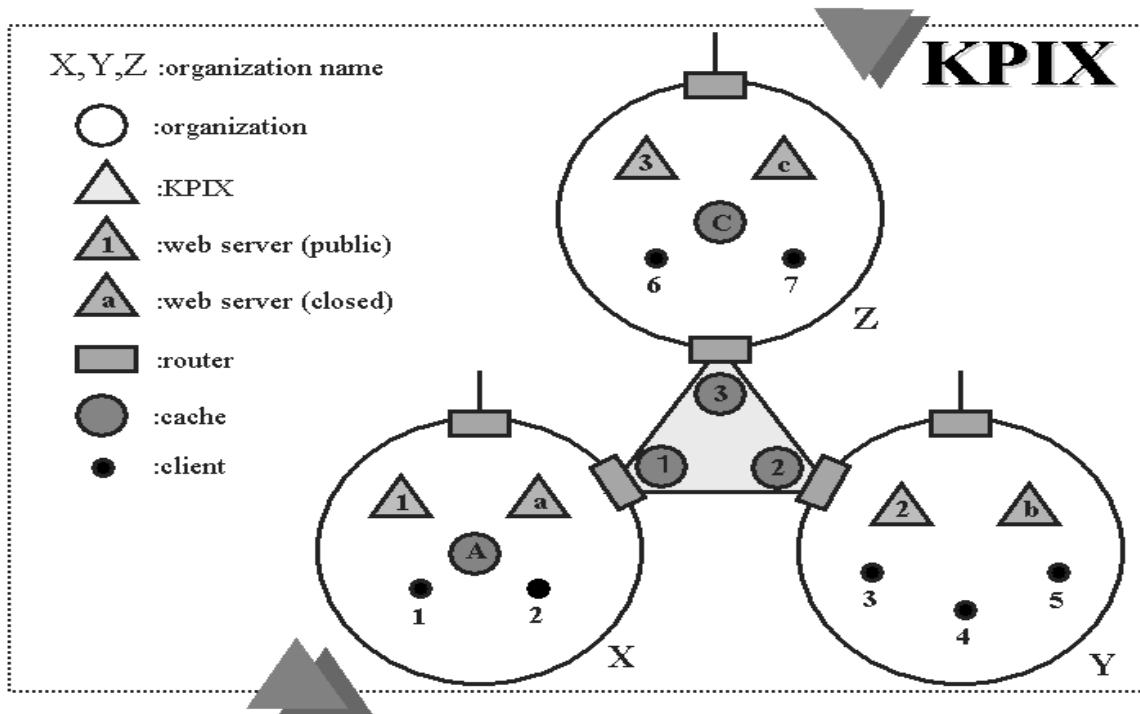


図 B.1 KPIX のトポロジー

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

- HAN と Internet は IP Reachable でない。
- 組織内のコンピュータと、組織に対応する HAN 内のサーバとは IP Reachable である。

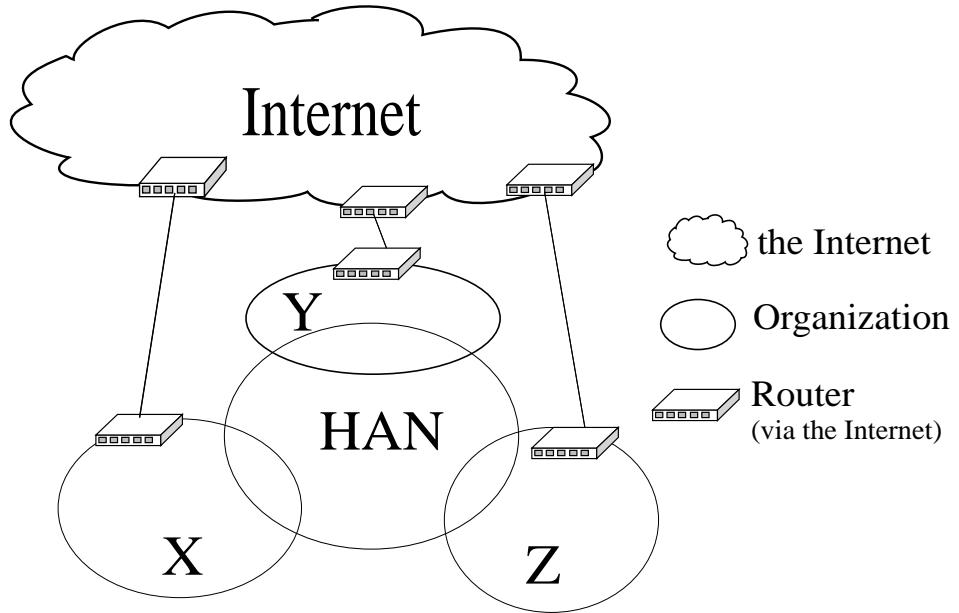


図 B.2 参加組織による HAN の構成

円は IP Reachable な領域を示す。HAN と各組織との重なりは互いに IP Reachable な HAN ポーダである。HAN は Internet と IP Reachable でないため、各組織のインターネット経路を経由しないと IP の交換は行えない。

B.2.2 KPIX における典型的な WWW サーバ群の構成例

ここでは、以降の説明のために PIX モデルにおける WWW サーバ群の構成例を示す（図 B.3）。各組織は以下で構成される。

- コンテンツを提供するサーバ（図中 I, II, III）
- 組織内で運用するキャッシュサーバ（図中 A, B, C）
- HAN で各組織に対応するキャッシュサーバ（図中 α , β , γ ）
- インターネット経路

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

- 各組織のクライアント (図中 1, 2, 3, 4, 5)

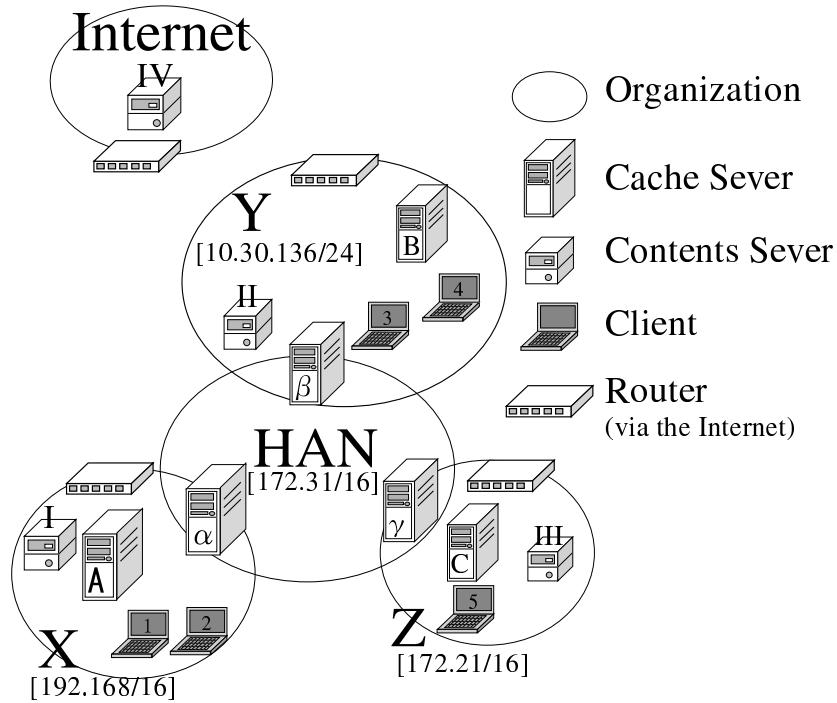


図 B.3 KPIX における WWW サーバ群の構成

B.2.3 WWW サービスに対する要求

ここでは PIX 参加組織からの WWW サービスに対する要求を述べる。

- HAN 内でできるだけ解決する。
- HAN 内で解決できない場合、自組織のインターネット経路により解決する。
- コンテンツの公開・非公開を、要求元の IP アドレスを用いて制御する。

B.2.4 サーバ群の連携パターン

ある組織のコンテンツを別の組織のクライアントが閲覧する場合、12 通りの連携パターンが存在する（図 B.4）。

このトポロジーをもとに KPIX の実装では、

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

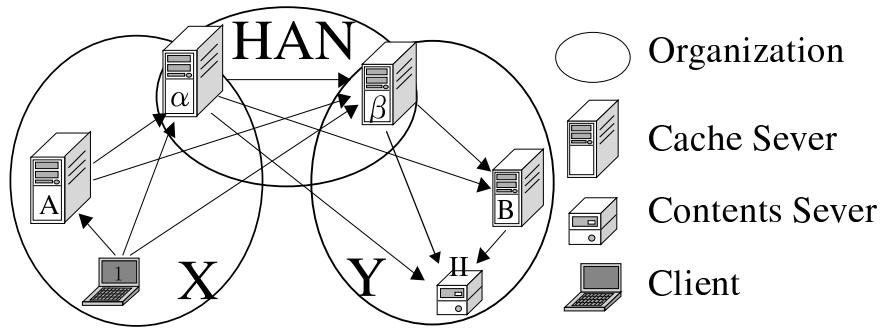


図 B.4 サーバ群の全連携パターン

- 経路制御ポリシーにより、組織 X とサーバ β 、組織 Y とサーバ α とは IP Reachable でない。
- サーバ B を用いると要求元の IP アドレスによるアクセス制御ができない。

といった制約があり、これを満たすのは図 B.5 の連携パターンである。

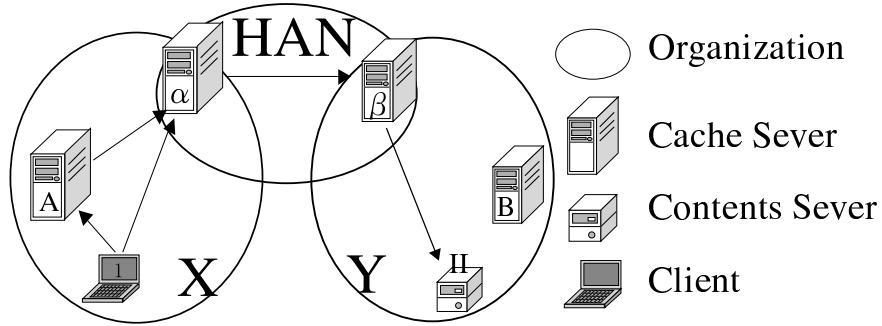


図 B.5 制約を満たす連携パターン

更に、クライアント数はサーバ数よりも圧倒的に多く、クライアントの設定を変更するには大きなコストをともなう。また、参加組織において、既に運営されているキャッシュサーバがある場合、キャッシュの設定を変更する方が作業コストが小さい。

以上のことより、KPIXにおいては図 B.6 の連携パターンを選択した。

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

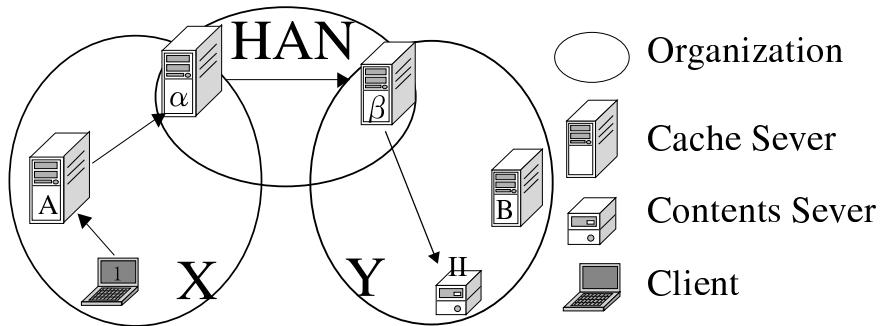


図 B.6 KPIX におけるサーバ群の連携パターン

B.2.5 リクエストに対するサーバ間の連携

ここでは、あるリクエストに対してのサーバ間の連携について具体的な動作を示す。

初期状態としてコンテンツはどのサーバにもキャッシュされていないものとする。図中の矢印はリクエストの流れを、矢印に付した数字は流れの順序を表す。

- 組織 X におけるサーバ I に公開コンテンツ $i-1$ があり、組織 Y 内にいるクライアント 3 が閲覧しようとした場合（図 B.7）。

クライアント 3 はサーバ B に $i-1$ をリクエストする ($\vec{1}$)。サーバ B は $i-1$ がキャッシュされていないのでサーバ β に $i-1$ をリクエストする ($\vec{2}$)。サーバ α, β は、リクエストを $\vec{3}, \vec{4}$ とリレーする。サーバ I はサーバ α に $i-1$ を返す ($\vec{5}$)。サーバ α は $i-1$ をキャッシュし、サーバ β に返す ($\vec{6}$)。サーバ β, B はコンテンツを $\vec{7}, \vec{8}$ とリレーすると同時にキャッシュする。最後にクライアント 3 は $i-1$ を閲覧できる。

- その後、組織 Y 内にいるクライアント 4 が公開コンテンツ $i-1$ を閲覧しようとした場合（図 B.8）。

クライアント 4 はサーバ B に $i-1$ をリクエストする ($\vec{1}$)。サーバ B は $i-1$ をキャッシュしているので、サーバ β にリクエストする事なくクライアント 4 コンテンツを受け取る ($\vec{2}$)。よってクライアント 4 は $i-1$ を閲覧できる。

- その後、組織 Z 内にいるクライアント 5 が公開コンテンツ $i-1$ を閲覧しようとした場合（図 B.9）。

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

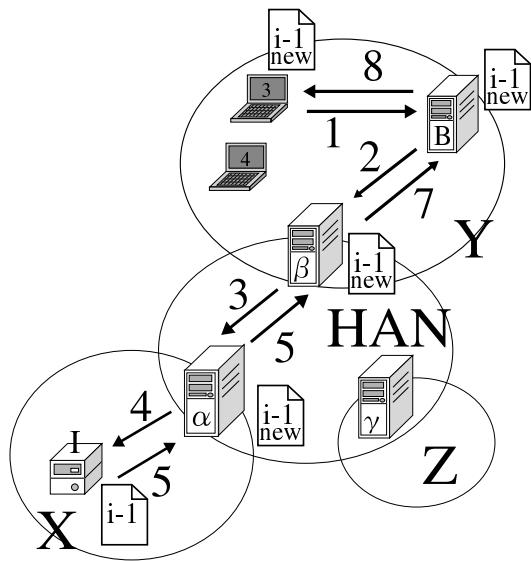


図 B.7 PIX 上の公開コンテンツに対するリクエスト

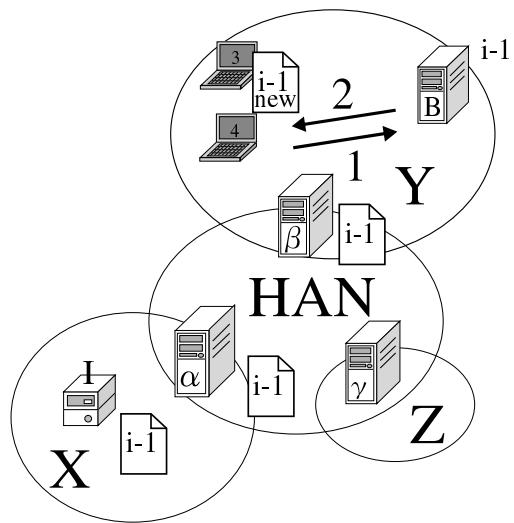


図 B.8 キャッシュされた公開コンテンツに対する同組織内からのリクエスト

クライアント 5 はサーバ C に $i-1$ をリクエストする ($\vec{1}$)。サーバ γ, β は、リクエストを $\vec{2}, \vec{3}$ とリレーする。サーバ α は $i-1$ をキャッシュしているので、サーバ I にリクエストする事なくサーバ β に返す ($\vec{4}$)。サーバ γ, C はコンテンツを $\vec{5}, \vec{6}$ とリレーすると同時にキャッシュする。最後にクライアント 5 は $i-1$ を閲覧できる。

- 組織 X におけるサーバ I に非公開コンテンツ $i-2$ があり、組織 Z 内にいるクライアント

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

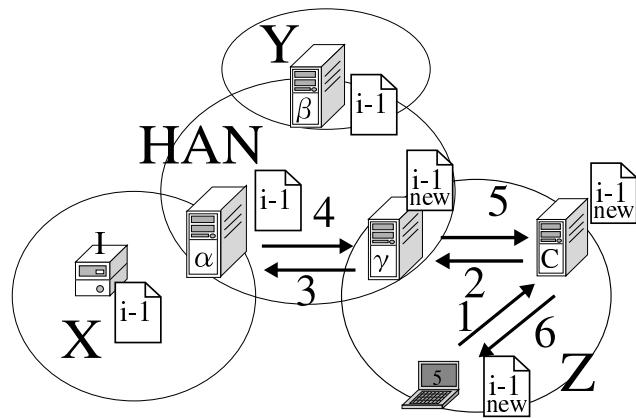


図 B.9 キャッシュされた公開コンテンツに対する他組織内からのリクエスト

5 が閲覧しようとした場合（図 B.10）。

クライアント 5 からの i-2 へのリクエストは、公開コンテンツに対するリクエストと同様にサーバ C, γ , α , I は、リクエストを $\vec{1}$, $\vec{2}$, $\vec{3}$, $\vec{4}$ とリレーする。サーバ I は、リクエスト元が組織 X 内の IP アドレスを持たないサーバ α であるため、否定応答を返す（ $\vec{5}$ ）。否定応答は、サーバ α , γ , C が $\vec{6}$, $\vec{7}$, $\vec{8}$ とリレーし、クライアント 5 は i-2 を閲覧できない。

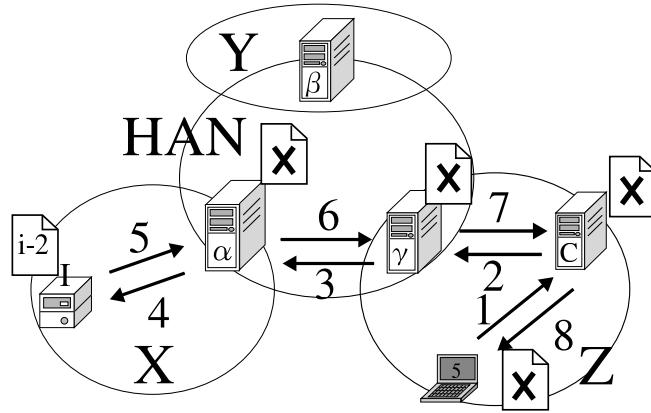


図 B.10 非公開コンテンツに対するリクエスト

- インターネット上にあるサーバ IV に公開コンテンツ i-3 があり、組織 X 内にいるクライアント 2 が閲覧しようとした場合（図 B.11）。

クライアント 2 はサーバ A に i-3 をリクエストする（ $\vec{1}$ ）。サーバ A は、サーバ IV にリ

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

クエスト $\vec{2}$ し、コンテンツを受け取る（ $\vec{3}$ ）。受け取ったコンテンツをサーバ A はキャッシュして、クライアント 2 に返す（ $\vec{4}$ ）。最後にクライアント 2 は閲覧できる。

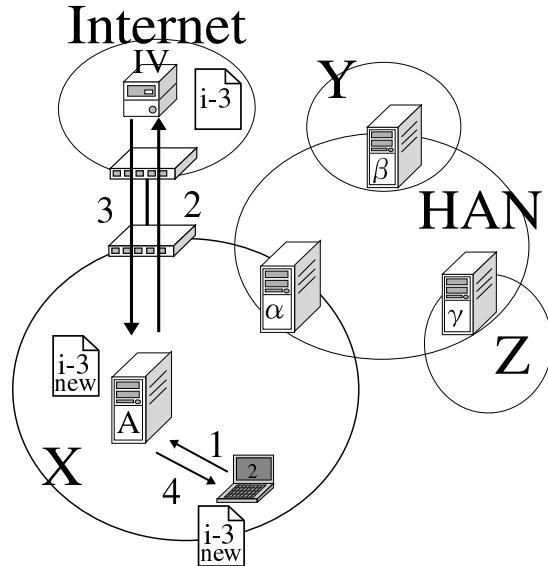


図 B.11 インターネット上の公開コンテンツに対するリクエスト

B.2.6 各サーバの動作

ここでは、図 B.6 の連携パターンにおいて、第 B.2.5 節の動作を行うための各サーバごとの動作を示す。表 B.2 と表 B.3 とは、それぞれサーバ A とサーバ α との動作を示す。縦軸にリクエスト元を、横軸にコンテンツのある場所をとっている。Y と Z のサーバも同様である。

B.2.7 Squid によるサーバ群の実現

表 B.2 と表 B.3 とに示すサーバの動作を Squid を例にして説明する。

サーバ A と、サーバ α をそれぞれ Squid A、Squid α とし、squid.conf の設定例を表 B.4 と表 B.5 に示す。

ここでは、組織 X に IP アドレス 192.168/16 を割り当て、Squid A を 192.168.8.10 とす

B.2 参加組織のコンテンツを共有する Squid の設定

表 B.2 組織 X 内キャッシュサーバ A の動作

リクエスト元	コンテンツのある場所		
	組織 X 内	組織 Y、Z 内	インターネット
X のクライアント	直接 *1	α にリクエスト *1	直接 *1
サーバ α *2	拒否 *2	拒否 *2	拒否 *2
サーバ β, γ *3	拒否 *3	拒否 *3	拒否 *3
インターネット *4	拒否 *4	拒否 *4	拒否 *4

*1 キャッシュされていればそれを用いてコンテンツを返す。

*2 α の設定が正しければありえない。対設定ミス。

*3 β, γ の設定が正しければありえない。対設定ミス。

*4 組織 X のインターネット側ファイアウォールで止めるのが普通である。

る。同様に HAN に 172.31/16 を割り当て、Squid α を 172.31.8.3 とする。

[Squid A の動作]^{*1}

- 組織 X 内からのリクエストを許可し、それ以外からのリクエストは拒否する (13, 14)。
- KPIX 参加組織コンテンツへのリクエストについては、必ず squid α に Parent でリクエストする (4, 5, 10)。
- 上記以外へのリクエストは、直接リクエストする (11)。

[Squid α の動作]^{*2}

- 組織 X 内にあるサーバ I への HAN 内からのリクエストと、SquidA からのリクエストを許可し、それ以外からのリクエストは拒否する (16, 17, 18)。

*1 動作の文末の数値は、表 B.4 の行番号に対応する。

*2 動作の文末の数値は、表 B.5 の行番号に対応する。

B.3 コンテンツを共有するサーバ間の連携

表 B.3 組織 X に対応する HAN 内キャッシュサーバ α の動作

リクエスト元	コンテンツのある場所		
	組織 X 内	組織 Y、Z 内	インターネット
X のクライアント * ¹	拒否 * ¹	拒否 * ¹	拒否 * ¹
サーバ A	拒否 * ²	Y なら β にリクエスト * ³	拒否 * ²
		Z なら γ にリクエスト * ³	
サーバ β, γ	直接 * ³	否定応答 * ³	拒否 * ⁴
インターネット * ⁵	拒否 * ⁵	拒否 * ⁵	拒否 * ⁵

*¹ クライアントの設定が正しければありえない。

*² A の設定が正しければありえない。対設定ミス。

*³ キャッシュされていればそれを用いてコンテンツを返す。

*⁴ β, γ の設定が正しければありえない。対設定ミス。

*⁵ HAN がプライベートアドレスを用いるならありえない。グローバルアドレスであっても、A のインターネット側ファイアウォールで止めるのが普通である。

- 組織 X 内にあるサーバ I へのリクエストは、直接リクエストする (13)。
- KPIX 参加組織のコンテンツへのリクエストは、それぞれ対応する HAN 内 Squid β, γ に Parent でリクエストする (4, 5, 6, 7)。
- 上記以外のコンテンツへのリクエストは、許可しない (16, 17, 18)。

B.3 コンテンツを共有するサーバ間の連携

KPIX 内で交換されるすべてのコンテンツを交換・共有するサーバ間の連携パターンを考案した。

具体的には、B.2 の参加組織のコンテンツを共有するとともに、参加組織内でリクエスト

B.3 コンテンツを共有するサーバ間の連携

表 B.4 Squid A の設定

```
1 visible_hostname A.X.or.jp
2 http_port 3128
3 icp_port 3130
4 cache_peer alpha.X.KPIX.net parent 3128 3130
5 cache_peer_domain alpha.X.KPIX.net .Y.or.jp .Z.or.jp
6 acl all src 0.0.0.0/0
7 acl X_SRC src 192.168.0.0/16
8 acl PIX_DST dstdomain .Y.or.jp .Z.or.jp
9 acl X_DST dstdomain .X.or.jp
10 never_direct allow PIX_DST
11 always_direct allow !PIX_DST
12 icp_access allow all
13 http_access allow X_SRC
14 http_access deny all
```

される参加組織以外のコンテンツを HAN 内でキャッシュして共有する、サーバ間の連携パターンを決定した。

B.3.1 リクエストに対するサーバ間の連携

ここでは、参加組織以外のコンテンツへのリクエストとに対してのサーバ間の連携について具体的な動作を示す。

初期状態としてコンテンツはどのサーバにもキャッシュされていないものとする。図中の矢印はリクエストの流れを、矢印に付した数字は流れの順序を表す。

- ・ インターネット上にあるサーバ IV に公開コンテンツ i-3 があり、組織 X 内にいるクラ

B.3 コンテンツを共有するサーバ間の連携

表 B.5 PIX Squid α の設定

```

1 visible_hostname  $\alpha$ .X.PIK.net
2 http_port 3128
3 icp_port 3130
4 cache_peer  $\beta$ .Y.KPIX.net parent 3128 3130
5 cache_Peer_domain  $\beta$ .Y.KPIX.net .Y.or.jp
6 cache_peer  $\gamma$ .Z.KPIX.net parent 3128 3130
7 cache_peer_domain  $\gamma$ .Z.KPIX.net .Z.or.jp
8 acl all src 0.0.0.0/0
9 acl PIX_SRC src 172.31.0.0/16
10 acl X_A src 192.168.8.10/32
11 acl X_DST dstdomain .X.or.jp
12 acl PIX_DST dstdomain .Y.or.jp .Z.or.jp
13 always_direct allow X_DST
14 never_direct allow all
15 icp_access allow all
16 http_access allow PIX_SRC X_DST
17 http_access allow X_A PIX_DST
18 http_access deny all

```

イアント 2 が閲覧しようとした場合 (図 B.12)。

クライアント 2 はサーバ A に i-3 をリクエストする ($\vec{1}$)。サーバ A は、サーバ α にリクエスト $\vec{2}$ を出す。サーバ α は他の HAN 内キャッシュサーバ β, γ にキャッシュされているか問い合わせる ($\vec{3}, \vec{3}'$)。各キャッシュサーバにはキャッシュされていないので、サーバ α に否定応答を返す ($\vec{4}, \vec{4}'$)。サーバ α は問い合わせたサーバすべてから否定応答をもらったら、サーバ A に i-3 のリクエスト $\vec{5}$ を出す。サーバ A はサーバ IV にリク

B.3 コンテンツを共有するサーバ間の連携

エスト $\vec{6}$ を出す。以降、 $i\text{-}3$ は $\vec{7}, \vec{8}, \vec{9}, \vec{10}$ と返り、クライアント 2 は $i\text{-}3$ を閲覧できる。

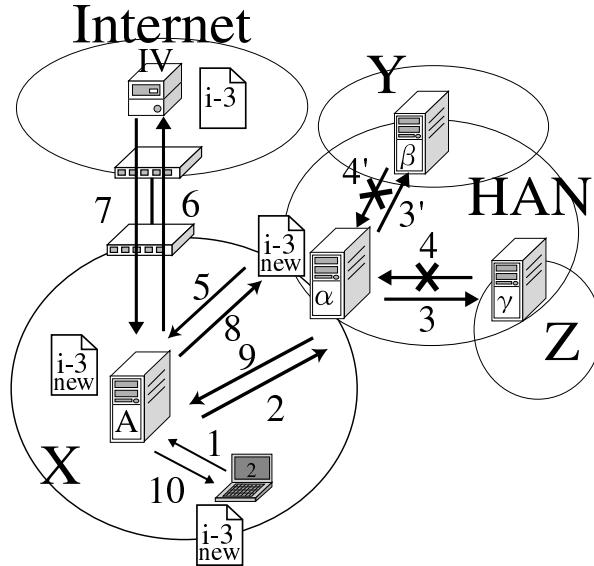


図 B.12 インターネット上の公開コンテンツに対するリクエスト

B.13 では、リクエストをできるだけ HAN 内で解決するために、サーバ α は、サーバ A からのリクエストを HAN 内のサーバ β, γ に問い合わせている。また、HAN 内で解決できない場合、自組織におけるインターネット経路で解決する。さらにこのとき、HAN 内でのキャッシュコンテンツを増やすため、サーバ A がサーバ α にコンテンツをキャッシュさせている。

- その後、組織 Y 内にいるクライアント 4 が公開コンテンツ $i\text{-}3$ を閲覧しようとした場合(図 B.13)。

クライアント 4 はサーバ B に $i\text{-}3$ をリクエストする ($\vec{1}$)。サーバ B は、サーバ β にリクエスト $\vec{2}$ を出す。サーバ β は他の HAN 内キャッシュサーバ α, γ にキャッシュされているか問い合わせる ($\vec{3}, \vec{3}'$)。サーバ γ は $i\text{-}3$ キャッシュしていないので、サーバ β に否定応答を返す ($\vec{4}'$)。サーバ α は $i\text{-}3$ をキャッシュしているので、キャッシュをサーバ β に返す ($\vec{4}$)。サーバ β は、受け取ったキャッシュコンテンツをキャッシュし、クライアント 4 に返す ($\vec{2}$)。よってクライアント 4 は $i\text{-}3$ を閲覧できる。

B.4 コンテンツを共有する Squid の設定

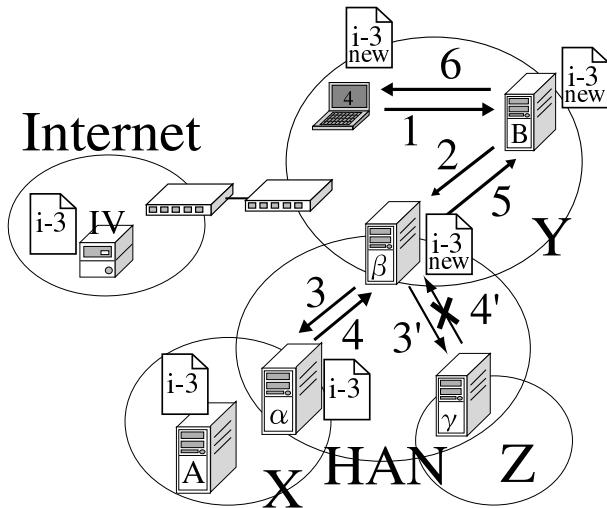


図 B.13 キャッシュされた公開コンテンツに対するリクエスト

B.4 コンテンツを共有する Squid の設定

第 B.3 節のサーバ間の連携パターンの決定により、参加組織コンテンツを共有し、なおかつ参加組織以外のコンテンツも共有する Squid の設定を行った。

B.4.1 各サーバの動作

ここでは、参加組織のコンテンツを共有する B.2.5 の動作を行い、なおかつ、B.3.1 の動作を行うための各サーバごとの動作を示す。表 B.6 と表 B.7 とは、それぞれサーバ A とサーバ α との動作を示す。行にリクエスト元を、列にコンテンツのある場所をとっている。Y と Z のサーバも同様である。

B.4.2 Squid によるサーバ群の実装

表 B.6 と表 B.7 とに示すサーバの動作を Squid を例にして説明する。

サーバ A と、サーバ α をそれぞれ Squid A、Squid α とし、squid.conf の設定例を表 B.8 と表 B.9 に示す。

ここでは、組織 X に IP アドレス 192.168/16 を割り当て、Squid A を 192.168.8.10 とす

B.4 コンテンツを共有する Squid の設定

表 B.6 組織 X 内キャッシュサーバ A の動作

リクエスト元	コンテンツのある場所		
	組織 X 内	組織 Y、Z 内	インターネット
X のクライアント	直接 *1	α にリクエスト *1	α にリクエスト *1
サーバ α	直接 *1	拒否	直接 *1
サーバ β, γ *2	拒否 *2	拒否 *2	拒否 *2
インターネット *3	拒否 *3	拒否 *3	拒否 *3

*1 キャッシュされていればそれを用いてコンテンツを返す。

*2 PIX のルーティングの設計で止める事も可能である。

*3 組織 X のインターネット側ファイアウォールで止めるのが普通である。

る。同様に HAN に 172.31/16 を割り当て、Squid α を 172.31.8.3 とする。

[Squid A の動作]^{*3}

- 組織 X 内からと Squid α からのリクエストを許可し、それ以外からのリクエストは拒否する (13, 14, 15)。
- 組織 X 内のコンテンツサーバ I へのリクエストは、直接リクエストする (9)。
- 上記以外へのリクエストについては、必ず Squid α に Parent でリクエストする (4, 11)。
- Squid α からのリクエストは、直接リクエストする (10)。

[Squid α の動作]^{*4}

- 組織 X 内にあるサーバ I への HAN 内からのリクエストと、Squid A からのリクエス

^{*3} 動作の文末の数値は、表 B.8 の行番号に対応する。

^{*4} 動作の文末の数値は、表 B.9 の行番号に対応する。

B.4 コンテンツを共有する Squid の設定

表 B.7 組織 X に対応する HAN 内キャッシュサーバ α の動作

リクエスト元	コンテンツのある場所		
	組織 X 内	組織 Y、Z 内	インターネット
X のクライアント *1 サーバ A	拒否 *1 拒否 *2	拒否 *1 Y なら β にリクエスト *3 Z なら γ にリクエスト *3	拒否 *1 β, γ にリクエスト *3 無ければ A にリクエスト
サーバ β, γ	直接	否定応答 *3	否定応答 *3
インターネット *4	拒否 *4	拒否 *4	拒否 *4

*1 クライアントの設定が正しければありえない。

*2 A の設定が正しければありえない。対設定ミス。

*3 キャッシュされていればそれを用いてコンテンツを返す。

*4 HAN がプライベートアドレスを用いるならありえない。グローバルアドレスであっても、A のインターネット側ファイアウォールで止めるのが普通である。

トを許可し、それ以外からのリクエストは拒否する (16, 17, 18)。

- 組織 X 内にあるサーバ I へのリクエストは、直接リクエストする (13)。
- 上記以外のすべてのリクエストは他のキャッシュ・プロキシを使ってリクエストする (14)。
- KPIX 参加組織のコンテンツへのリクエストは、それぞれ対応する HAN 内 Squid β, γ に Parent でリクエストする (5, 7)。
- 上記以外のコンテンツへのリクエストは、HAN 内 Squid β, γ に Sibling でリクエストする (4, 6)。
- Sibling でキャッシュの無かったリクエストについては、Squid A に Parent でリクエストする (8)。

B.5 NTP による時刻同期

表 B.8 Squid A の設定

1	visible_hostname A.X.or.jp
2	http_port 3128
3	icp_port 3130
4	cache_peer α .X.KPIX.net parent 3128 3130
5	acl all src 0.0.0.0/0
6	acl X_SRC src 192.168.0.0/16
7	acl PIX_ α src 172.31.8.3/32
8	acl X_DST dstdomain .X.or.jp
9	always_direct allow X_DST
10	always_direct allow PIX_ α
11	never_direct allow all
12	icp_access allow all
13	http_access allow X_SRC
14	http_access allow PIX_ α
15	http_access deny all

以上のこととを、2000年11月21日に香川県クアパーク津田にて行われた第8回ITRC総会・研究会、および、同年12月1日に和歌山県和歌山大学にて行われた2000年度第4回DSM研究会にて発表した。

また、同年12月6日に高知工科大で行われた「第6回KPIX会議」において、正式にKPIXのサーバの設定として採用が決定した。

B.5 NTP による時刻同期

この節ではNTPの必要性とその設定について述べる。

B.5 NTP による時刻同期

表 B.9 PIX Squid α の設定

```
1 visible_hostname  $\alpha$ .X.PIK.net
2 http_port 3128
3 icp_port 3130
4 cache_peer  $\beta$ .Y.KPIX.net sibling 3128 3130
5 neighbor_type_domain  $\beta$ .Y.KPIX.net parent .Y.or.jp
6 cache_peer  $\gamma$ .Z.KPIX.net sibling 3128 3130
7 neighbor_type_domain  $\gamma$ .Z.KPIX.net parent .Z.or.jp
8 cache_peer  $\alpha$ .X.or.jp parent 3128 3130
9 acl all src 0.0.0.0/0
10 acl PIX_SRC src 172.31.0.0/16
11 acl X_A src 192.168.8.10/32
12 acl X_DST dstdomain .X.or.jp
13 always_direct allow X_DST
14 never_direct allow all
15 icp_access allow all
16 http_access allow PIX_SRC
17 http_access allow X_A
18 http_access deny all
```

B.5.1 NTP とは

NTP (Network Time Protocol)[2] とはネットワーク上の複数のノードの時刻を同期させるプロトコルである。NTP は client-server 方式をとっており、client は server より時刻情報を受け取り、時刻同期を行う。また、client-server は階層構造をとることが可能であり、階層のどこに位置するかは stratum の値でわかる。階層の頂点に位置する server は

B.5 NTP による時刻同期

stratum1 である。また、同一 stratum のノード同士で互いに相手の時刻情報を用いて同期を行うことも可能である。

B.5.2 NTP の必要性

PIX ではキャッシュサーバを用いてトライフィックを交換する。そのためキャッシュサーバのログを常に監視し、正常なサービスを継続的に提供する必要がある。また、トライフィックの交換が正しく行われているか確認するために複数のキャッシュサーバのログを比較することが必要になる。

B.5.3 NTP の構成

KPIX では時刻情報を得るためにいくつかの組織に stratum1 の NTP server を設置した。PC を stratum1 の NTP server として使用するために、古野電気株式会社の GPS Time Receiver, TS-820^{*5}を用いた。また、NTP サーバの OS として FreeBSD^{*6}を、サーバソフトとして ntp^{*7}を用いた。TS-820 は GPS から時刻情報を取得して、その情報を 1PPS[3] として PC に送出する。この 1PPS を PC 側で取得することで極めて正確に PC の時刻あわせを行うことが可能であり、このようにして時刻を設定した PC を stratum1 の NTP server として使用することができる。

B.5.4 NTP の設定

まず、FreeBSD が PPS 信号を受け取るように kernel を再構築する。kernel config ファイルに

- options PPS_SYNC

^{*5} TS-820 <http://www.furuno.co.jp/gps/prod6.htm>

^{*6} FreeBSD 友の会 <http://www.jp.FreeBSD.org/>

^{*7} TimeServer <http://www.eecis.udel.edu/ntp/>

B.5 NTP による時刻同期

の一行を書き加えて kernel の再構築を行う。

TS-820 は ntp の想定しない形式の PPS を出力するため、そのままでは ntp が使用できない。そのため、ソースを開き、NetBSD での設定方法^{*8}を参考にして refclock_nmea.c を編集する。

```
gps_send(pp->io.fd, "$PMOTG,RMC,0000*1D\r\n", peer);
```

という行が 2ヶ所にあるので、はじめを

```
gps_send(pp->io.fd, "$PFEC,GPint,ZDA00,GGA00,GSV00,VTG00,RMC01\r\n", peer);
```

に修正し、2番目を消す。

その後ドキュメントに書かれている通りに configure, make, make install を行う。

TS-820 をシリアルポートに接続し、/dev で以下のコマンドを実行する。

```
# ln -s cuaa0 gps1
```

/usr/local/etc/ntp.conf を以下のようにする。

```
server 127.127.20.1  
fudge 127.127.20.1 time1 -1.0  
driftfile /usr/local/etc/ntp.drift
```

以下のコマンドを実行して様子を見る。

```
/usr/local/bin/ntpd -c /usr/local/etc/ntp.conf
```

動作を確認して、上記コマンドが起動時に実行されるようにする。

動作しない場合は、TS-820 の 1PPS ランプが点滅していることを確認する。点滅していない場合は、アンテナの設置場所が悪いなどの理由により衛星から時刻情報を取得できてい

^{*8} GPS/NetBSD/SS1 <http://lips.is.kochi-u.ac.jp/NTP/>

B.6 MRTG による測定

ない状態である。アンテナを、全天が見渡せる場所に設置することで解決できる。全天が見渡せる場所が確保できない場合も、可能な限り広く空が見渡せる場所に設置する。

また、TS-820 が GPS の信号を受信していても NTP サーバがその信号を受信していない可能性がある。これを確認するために、

```
# tip cuaa0c
```

を実行して、TS-820 から来る信号を監視する。時刻・位置情報が来ていればよい。

以上の確認をしたら、利用できるいくつかの NTP サーバと時刻を比較して正しい時刻になっているか確認する。正しい時刻を示していない場合は、以上の作業のいずれかに失敗している可能性がある。再度手順を確認して作業を行う。

以上の手順で stratum1 の NTP server を利用することができるようになる。

B.6 MRTG による測定

MRTG (Multi Router Traffic Grapher) とは、Tobias Oetiker 氏が 1994 年、インターネット回線の負荷状況を WEB 上で監視するために作成されたフリーのソフトウェアである。MRTG は SNMP (Simple Netowrk Management Protocol) により値を受け取り、ネットワーク等の状況をグラフ化する。SNMP を使用するため、SNMP が実装された機器であれば MRTG による監視が可能である。例えば、SNMP を実装した測定器の測定結果である外界の温度、湿度、風力、 γ / β 線などを定期的にグラフ化し WEB 上で監視することもできる。

MRTG は以前、WEB 上のグラフを GIF フォーマットで作成していた。しかし、近年の GIF ライセンス問題^{*9} により PNG を使用するようになった。

この MRTG を用いて KPIX に接続しているある一つの Squid サーバのトラフィック状況等を測定した（図 B.14、図 B.15）。この Squid サーバは、NTP client になるための設定をおこなっているため、極めて正確な時刻を得ている。そのため、正しい時刻のトラフィッ

^{*9} <http://www.unisys.com/unisys/lzw/lzw-license.asp>

B.6 MRTG による測定

ク状況の監視が可能になっている。

また、KPIX のデータリンク層を構成している KCAN では、無線リンクの状況を ping コマンドと MRTG を用いて監視しておいる。このため、無線リンクの切断などのトラブルに対する素早い対応を可能にしている。

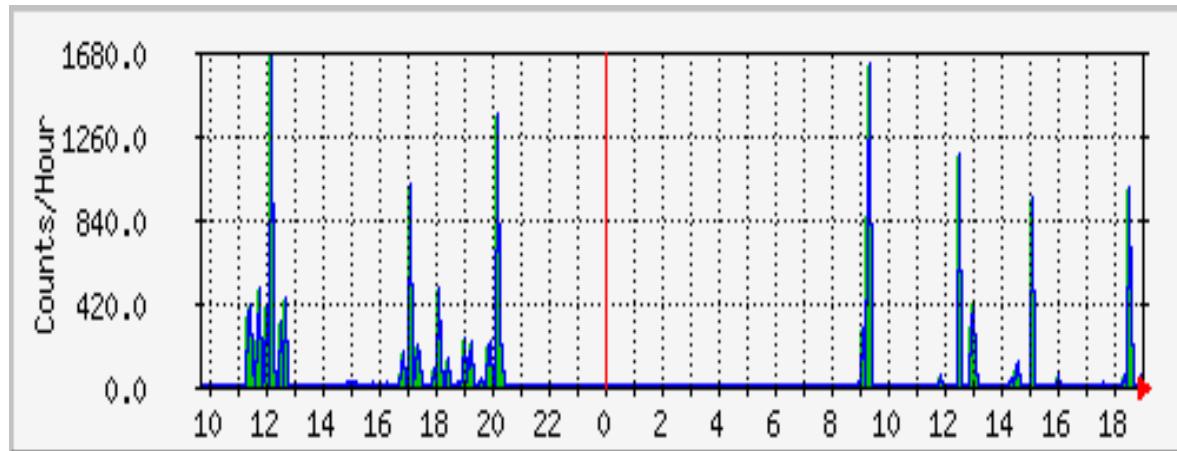


図 B.14 日間キャッシュヒット

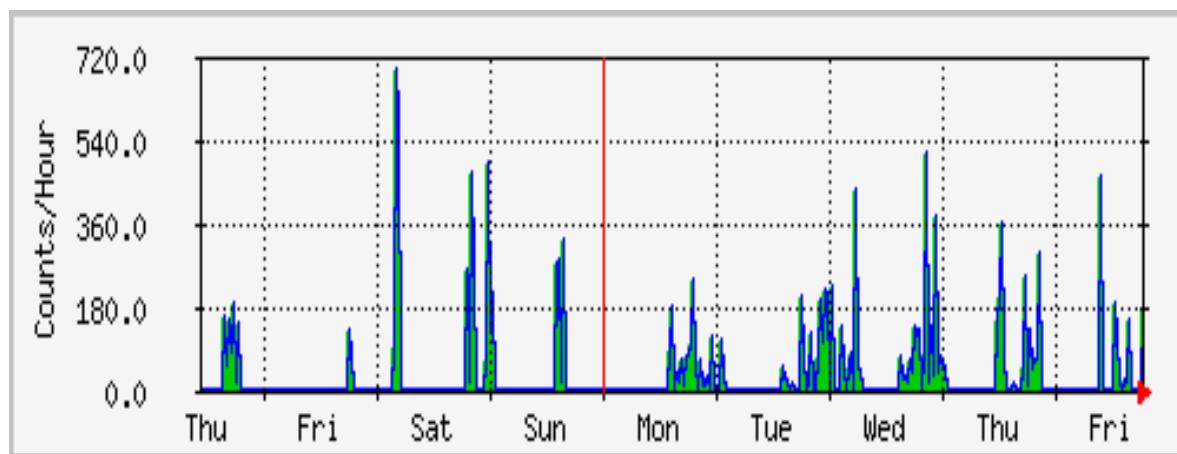


図 B.15 週間キャッシュヒット

これらのデータを含め、表 B.10 に表す値についても測定をおこなっている。

B.7 PIX モデルの諸問題とその解決手法

cacheServerRequests	cacheServerErrors	cacheServerInKb
cacheServerOutKb	cacheClientHttpRequests	cacheHttpHits
cacheHttpErrors	cacheIcpPktsSent	cacheIcpPktsRecv
cacheIcpKbSent	cacheIcpKbRecv	cacheHttpInKb
cacheHttpOutKb	cacheCurrentSwapSize	cacheNumObjCount
cacheCpuUsage	cacheMemUsage	cacheSysPageFault

表 B.10 MRTG 測定項目一覧

B.7 PIX モデルの諸問題とその解決手法

PIX モデルの実証実験の場である KPIX の設計の際の 2 つの問題とその解決法を述べる [6]。

B.7.1 PIX モデル設計時の問題点

問題の一つは、プライベートアドレスの衝突、枯渢である。PIX モデルはプライベートアドレスを用いて各参加組織をつなぐ。そのため、全参加組織が使用していないプライベートアドレスを見つけだすことが必要となる。全参加組織が使用していないプライベートアドレスがある場合、そのプライベートアドレスを使用すれば問題なく PIX モデルに移行できる。しかし、プライベートアドレスは各組織毎、自由に使用しているため、参加組織が使用しているプライベートアドレスが重複する場合がでてくる。また、重複していない場合でも、空きがいわゆる「虫食い」状態になっていて必要な大きさの空間を確保できない場合がある。

もう一つの問題は、既存のネットワークの上に別のアドレス空間をもつ PIX モデルを導入する際への手法である。これは、運営している IP ネットワークがあり、そのネットワークを PIX モデルで使用したとする。この時、IP ネットワークのポリシーが異なるなどの理由で管理上互いに独立のネットワークにしたい場合がある。

B.8 富山国体映像中継

B.7.2 問題点に対する解決法

以上の問題解決の方法として、前者では NAT を使用する解決法を提案した。各 PIX 参加組織が使用していないプライベート IP アドレスと PIX 用のプライベート IP アドレスをルータの NAT 機能を使用して「1 対 1」静的対応させることで、PIX 内からはある一つのプライベート IP アドレスを使用しているかのように見せることができる。

後者では IP トンネリングを用いた解決法を提案した。IPsec の技術使用することでパケットをカプセル化するため、既存のネットワークを意識せずに PIX ネットワークとして使用する事ができる。

B.7.3 KPIX での対応

これら 2 つの問題は、実際 KPIX でも問題となったことである。しかし、これら 2 つの実証実験を小規模な実験ネットワークを構築し検証した直後、KCAN では IP アドレスのリナンバリングがおこない、NAT を使用することなく IP アドレスの衝突を回避した。

IP トンネリングについても、KCAN 管理・運用者より不満の声があがらなかったため、使用する機会がなくなった。

しかしこれら 2 つの問題は、一般的な PIX モデルに付いても十分当てはまる問題であると考え、我々はこれらの解決法を利用して問題を回避できると考える。

B.8 富山国体映像中継

平成 12 年 10 月 14 日から 19 日に富山県にて 2000 年とやま国体秋季大会が開催された。開催と同時に、RIBB では、富山国体における高度情報通信技術を利用したマルチメディア配信実験を実施した。

B.8 富山国体映像中継

B.8.1 JGN を利用したデジタルビデオによる高品質映像の配信実験

菊池研究室では JGN を利用したデジタルビデオによる高品質映像の配信実験に参加した。この配信実験は、JGN による超高速通信を利用し、デジタルビデオによる高品質映像を富山県内外の接続拠点に配信し、大型スクリーンなどで上映し、超高速ネットワークを使った映像配信に関するノウハウを取得することを目標とする。

B.8.2 映像ソース

富山県にて開催される 2000 年とやま国体秋季大会の様子を CATV が撮影して、富山総合情報センターで 1 つにまとめた映像をソースとした。

B.8.3 トポロジー

富山国体中継の全体トポロジーを図 B.16 に示す。富山で撮影された映像は、JGN を用いて全国 8 都県（福島県、宮城県、山梨県、東京都、岐阜県、富山県、高知県、福岡県）へ配信される。配信先の全国 8 都県では、富山国体の模様を視聴することができる。また、インターネットによる配信も行ったため、インターネット経由の視聴が可能である。

図 B.17 に、本研究で携わった部分のトポロジーを示す。富山国体の映像は富山県の撮影地点から富山総合情報センターへ送られる。そして、JGN を経由して TAO 高知通信トラヒックリサーチセンターに送られ、高知工科大学菊池研究室の ATM スイッチである ASX200 まで送られる。また、富山総合情報センターから菊池研究室の ASX200 までの映像はすべて DV over ATM であり、1 本の PVC (Permanent Virtual Circuit) である。

ASX200 の設定を出力が 2 方向に出力されるように設定した。TAO 高知通信トラヒックリサーチセンターを経由して名古屋と岐阜へ再配信する流れと、菊池研究室の丹箱へ出力する流れの 2 方向である。さらに、菊池研究室の丹箱へ出力された映像を 3 方向に分ける。1 本目は、菊池研究室内のビデオデッキを用いて液晶テレビに表示する。2 本目は、WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信する。3 本目は、RealSystem を用いて KPIX ヘストリーム

B.8 富山国体映像中継

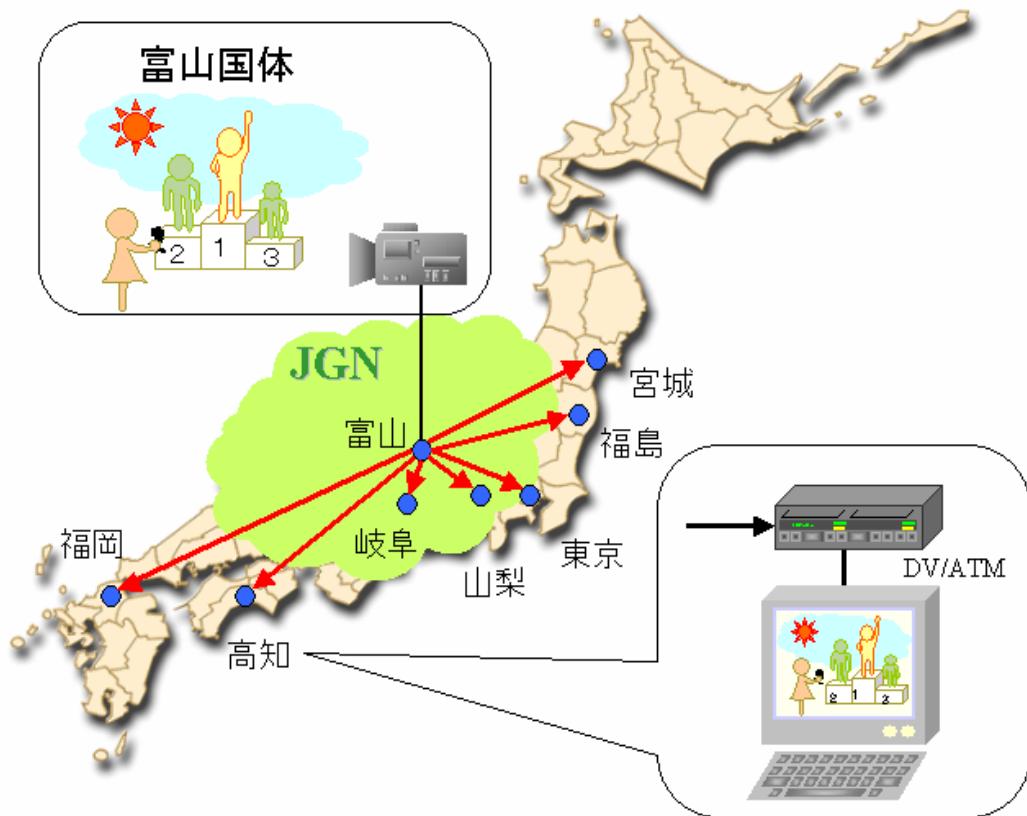


図 B.16 富山国体中継全体トポロジー

配信する。よって、ASX200 以降の映像の流れは全部で 4 方向となる。以下では、この 4 方向を詳しく説明する。

菊池研究室内の液晶テレビに表示

菊池研究室の ASX200 まで送られてきた映像を、DV over ATM で LinkUnit (図 B.17 中の丹箱。以下、丹箱と呼ぶ。) へ転送する。丹箱へ転送された映像を、DV over IEEE1394 でビデオデッキへ転送する。ビデオデッキへ転送された映像を、NTSC に変換し液晶テレビに出力する。

B.8 富山国体映像中継

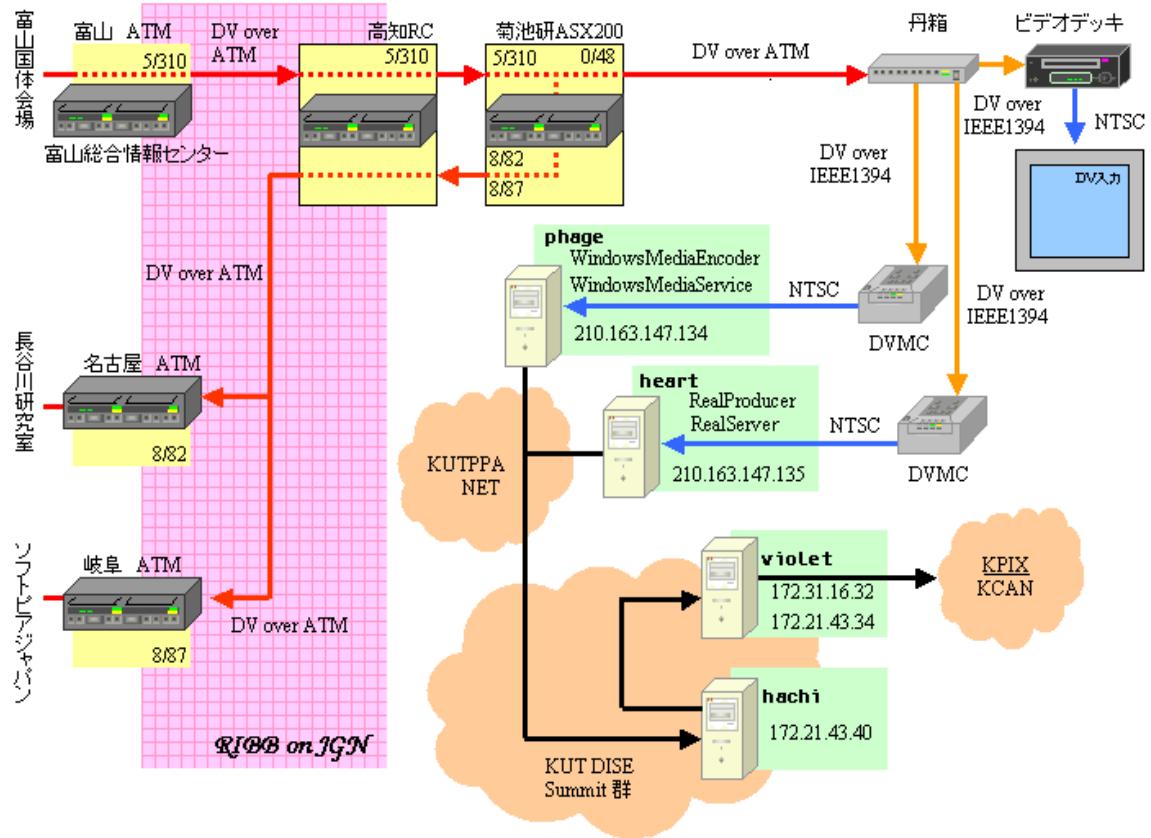


図 B.17 富山国体中継トポジー

WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信

菊池研究室の ASX200 まで送られてきた映像を、DV over ATM で丹箱へ転送する。丹箱へ転送された映像を、DV over IEEE1394 で DVMC (DV Media Converter) へ転送する。DVMC へ転送された映像を、NTSC (National Television Standards Committee) に変換し、ストリームエンコーダであり、ストリームサーバである phage に転送する。phage に転送された映像を、Windows Media Encoder でエンコードし、Windows Media Service で KPIX ヘストリーム配信する。

phage からストリーム配信される映像は、高知工科大学のネットワーク（図 B.17 中の KUTPPA NET）と高知工科大学情報システム工学科のネットワーク（図 B.17 中の KUT DISE Summit 群）を経由し、hachi まで転送される。hachi から violet に転送され、violet

B.8 富山国体映像中継

は KPIX へ転送する。hachi と violet はプロキシサーバである。hachi は自組織キャッシュサーバであり、violet は自組織 KPIX 側キャッシュサーバである。

RealSystem を用いて KPIX ヘストリーム配信

WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信と同様である。ただし、以下の部分が異なる。
ストリームエンコーダであり、ストリームサーバである heart に転送する。heart に転送された映像を、Real Producer でエンコードし、Real Server で KPIX ヘストリーム配信する。

ASX200 を用いて名古屋と岐阜へ再配信

ASX200 まで転送された映像を、TAO 高知通信トラヒックリサーチセンターを介し、JGN を経由して名古屋大学長谷川研究室と岐阜ソフトピアジャパンへ再配信する。また、ASX200 から名古屋大学長谷川研究室と岐阜ソフトピアジャパンまでの映像はすべて DV over ATM であり、1 本の PVC である。

B.8.4 ストリーム配信の設定とスペック

今回の KPIX へのストリーム配信にはストリームエンコーダとストリームサーバを 1 台のマシンで行った。表 B.11、表 B.12、表 B.13、表 B.14 に WMT (phage) と RealSystem (heart) の設定を示し、phage と heart のスペックは表 B.15 に示す。

B.8.5 KPIX への配信結果

14 日から 19 日の 6 日間、のべ約 60 時間に及ぶ全国 8 都県（福島県、宮城県、山梨県、東京都、岐阜県、富山県、高知県、福岡県）への中継は、パケットロスもほとんどなく十分な品質の動画を提供した。KPIX へのストリーム配信は、プロキシサーバを介さなかった場合

B.8 富山国体映像中継

WindowsMediaService (phage)	
エイリアス	ToyamaKokutai
パスの種類	WindowsMedia エンコーダ
URL	http://210.163.147.134
ポート	8080
クライアント数	無制限

表 B.11 ストリームサーバの設定

WindowsMediaEncoder (phage)	
最大ビットレート	512Kbps
オーディオ codec	Windows Media Audio V7
オーディオ形式	64kbps 44KHz stereo
ビデオ codec	Windows Media Video V7
ビデオサイズ	352 × 288 (CIF)
フレームレート	30fps
キーフレームの間隔	4 秒
画像の品質	0

表 B.12 ストリームエンコーダの設定

は視聴可能、プロキシサーバを介した場合は視聴不能であった。

以下に KPIX での富山国体中継視聴結果を示す（表 B.16）。KPIX 経由とは、KPIX 内の squid を経由した場合を指し、プロキシを介してストリーム配信サーバにアクセスする場合をいう。KCAN 経由とは、KPIX 内の squid を経由しない場合を指し、直接ストリーム配信サーバにアクセスした場合をいう。インターネット経由とは、KPIX 経由でもなく、KCAN 経由でもなく、インターネットを経由してアクセスした場合を指す。KPIX 経由で

B.9 ギガビットシンポジウム 2000 中継

RealServer (heart)	
URL	http://172.31.16.40:8080/ramgen/encoder/live.rm
ポート	8080
クライアント数	25

表 B.13 ストリームサーバの設定

RealProducer (heart)	
Target Audience	56K Modem Corporate LAN (150Kbps)
RealMedia Settings	Multi-rate SureStream
Audio Format	Voice Only
Video Quality	Smoothest Motion Video

表 B.14 ストリームエンコーダの設定

はアクセス不能で、KCAN 経由とインターネット経由ではアクセス可能であった。

B.9 ギガビットシンポジウム 2000 中継

平成 12 年 11 月 8 日に北九州国際会議場をメイン会場とし、「ギガビットネットワーク・シンポジウム 2000」が開催された。RIBB では、ギガビットネットワーク・シンポジウム 2000 の模様を JGN を用いて中継した。菊池研究室ではこのギガビットネットワーク・シンポジウム 2000 の映像を DVTS (DV Transfer System) を用いて DV over IEEE1394 から DV over IP に変換し、IP Multicast で RIBB 他組織へ再配信すると同時に、WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信した。

B.9 ギガビットシンポジウム 2000 中継

	WMT (phage)	RealSystem (heart)
HHD	30G	20G
CPU	PenIII866MHz	PenIII600MHz
メモリ	512MB	640MB
ビデオキャプチャボード	Osprey-100	Osprey-1000
OS	Windows2000 Server	WindowsNT Server 4.0
Server	WindowsMediaService (Windows2000 Server に付属)	RealServer 7.0 Basic (free)
Encoder	WindowsMediaEncoder 7 (free)	RealProducer 8 Basic (free)
Player	WindowsMediaPlayer 7 (free)	RealPlayer 8 Basic (free)

表 B.15 スペック比較

経由	プロキシの有無	視聴
KPIX 経由	有	不能
KCAN 経由	無	可能
インターネット経由	無	可能

表 B.16 KPIX での富山国体中継視聴結果

B.9.1 映像ソース

北九州国際会議場で開催される、「ギガビットネットワーク・シンポジウム 2000」の様子 (DV) をソースとする。

B.9.2 トポロジー

ギガビットシンポジウム 2000 中継の全体トポロジーを図 B.18 に示す。北九州国際会議場の映像は、JGN を用いて全国 4 県（愛知県、高知県、富山県、山梨県）へ配信される。配

B.9 ギガビットシンポジウム 2000 中継

信先の全国 4 県では、ギガビットシンポジウム 2000 の模様を視聴することが可能である。

また、インターネットによる配信も行ったため、インターネット経由の視聴が可能である。

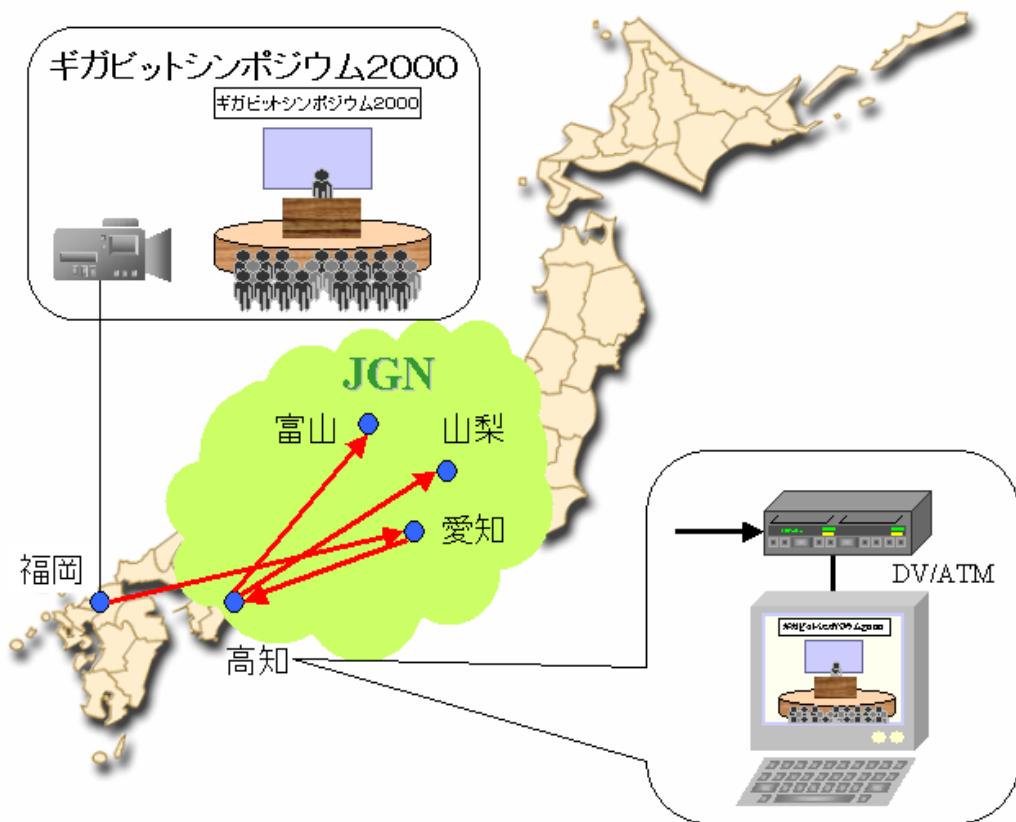


図 B.18 富山国体中継全体トポロジー

図 B.17 に、本研究で携わった部分のトポロジーを示す。北九州国際会議場の映像は、JGN を経由して名古屋大学大型計算機センターへ送られる。そして、JGN を経由して TAO 高知通信トラヒックリサーチセンターに送られ、菊池研究室の ASX200 まで送られる。ASX200 へ送られた映像は、丹箱へ送られる。また、名古屋大学大型計算機センターから菊池研究室の丹箱までの映像はすべて DV over ATM であり、1 本の PVC である。

ASX200 から送られてきた映像を丹箱で、3 方向に分ける。1 本目は、菊池研究室内のビデオデッキを用いて液晶テレビに表示する。2 本目は、WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信する。3 本目は、DVTS を用いて JGN を経由して富山と山梨に再配信する。以下で

B.9 ギガビットシンポジウム 2000 中継

は、この 3 方向を詳しく説明する。

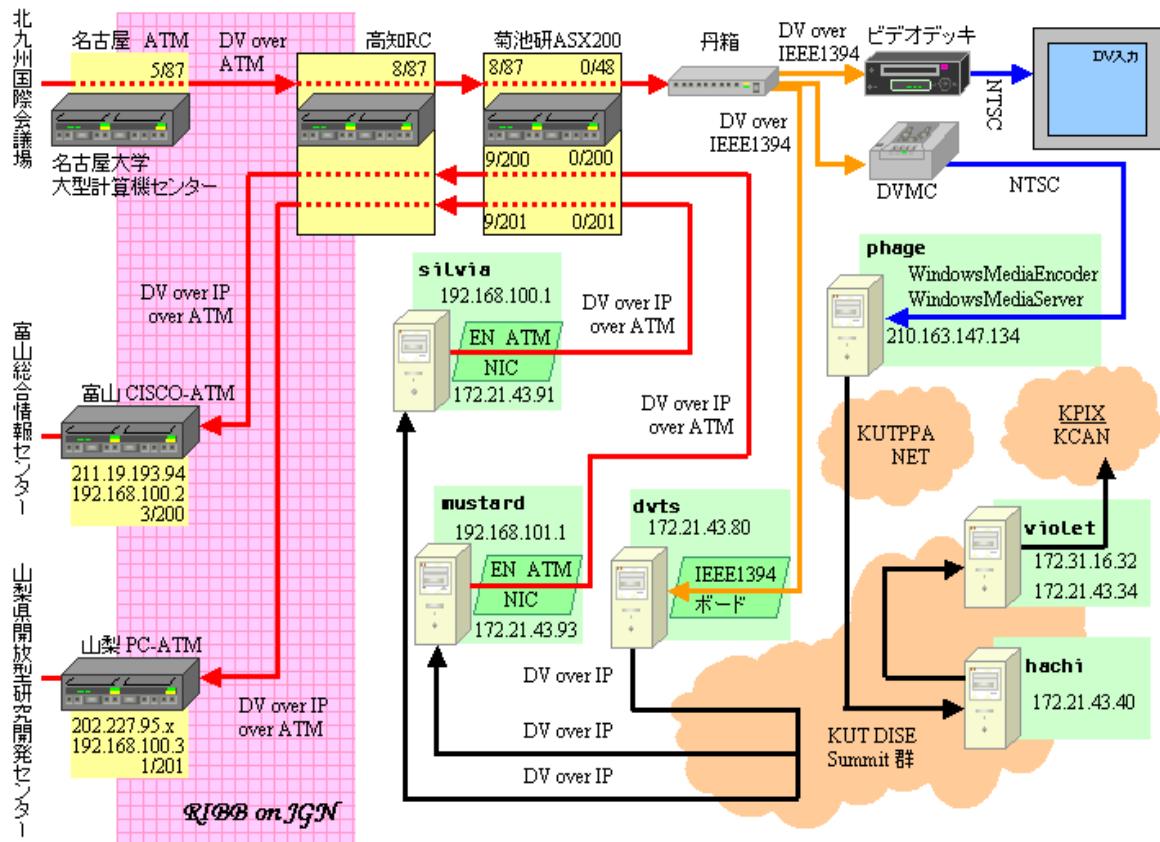


図 B.19 ギガビットシンポジウム 2000 トポロジー

菊池研究室内の液晶テレビに表示

富山国体中継の際と同様である。菊池研究室の ASX200 まで送られてきた映像を、DV over ATM で丹箱へ転送する。丹箱へ転送された映像を、DV over IEEE1394 でビデオデッキへ転送する。ビデオデッキへ転送された映像を、NTSC に変換し液晶テレビに出力する。

B.9 ギガビットシンポジウム 2000 中継

WMT を用いて KPIX ヘストリーム配信

富山国体中継の際と同様である。菊池研究室の ASX200 まで送られてきた映像を、DV over ATM で丹箱へ転送する。丹箱へ転送された映像を、DV over IEEE1394 で DVMC へ転送する。DVMC へ転送された映像を、NTSC に変換し、ストリームエンコーダであり、ストリームサーバである phage に転送する。phage に転送された映像を、Windows Media Encoder でエンコードし、Windows Media Service で KPIX ヘストリーム配信する。

phage からストリーム配信される映像は、高知工科大学のネットワーク（図 B.19 中の KUTPPA NET）と高知工科大学情報システム工学科のネットワーク（図 B.19 中の KUT DISE Summit 群）を経由し、hachi まで転送される。hachi から violet に転送され、violet は KPIX へ転送する。hachi と violet はプロキシサーバである。hachi は自組織キャッシュサーバであり、violet は自組織 KPIX 側キャッシュサーバである。

DVTS を用いて富山と山梨に再配信

丹箱へ転送された映像を、DV over IEEE1394 で DVST（図 B.19 中の dvts）へ転送する。dvts で DV over IEEE1394 から DV over IP に変換する。dvts で DV over IP に変換した映像を IP multicast で、ATM ルータである silvia と mustard へ転送する。silvia と mustard では、DV over IP から DV over IP over ATM へ変換する。そして、DV over IP over ATM 変換した映像を ASX200 へ再配信する。

ASX200 では、以下のように設定する。silvia からの入力は TAO 高知通信トラヒックリサーチセンターを介して JGN を経由し山梨の山梨県開放型研究開発センターへ配信する。mustard からの入力は TAO 高知通信トラヒックリサーチセンターを介して JGN を経由して富山の富山総合情報センターへ配信する。また、ASX200 から山梨間と ASX200 から富山間の映像はすべて DV over IP over ATM であり、1 本の PVC である。

B.9.3 ストリーム配信の設定とスペック

今回の KPIX へのストリーム配信にはストリームエンコーダとストリームサーバを 1 台のマシンで行った。表 B.17、表 B.18 に WMT (phage) の設定を示す。また、phage のスペックは富山国体中継の際と同じである（表 B.15 を参照）。

WindowsMediaService (phage)	
エイリアス	gb-sympo
パスの種類	WindowsMedia エンコーダ
URL	http://210.163.147.134
ポート	8080
クライアント数	無制限

表 B.17 ストリームサーバの設定

WindowsMediaEncoder (phage)	
最大ビットレート	512Kbps
オーディオ codec	Windows Media Audio V7
オーディオ形式	64kbps 44KHz stereo
ビデオ codec	Windows Media Video V7
ビデオサイズ	352 × 288 (CIF)
フレームレート	30fps
キーフレームの間隔	4 秒
画像の品質	0

表 B.18 ストリームエンコーダの設定

B.10 pac ファイルの作成

B.9.4 KPIX への配信結果

のべ約 8 時間に及ぶ全国 4 県（愛知県、高知県、富山県、山梨県）への中継は、20～30 秒毎に 2 回程度の配信元が原因らしきノイズが観測されたものの、視聴者にとっては問題なく視聴出来る品質であった。KPIX へのストリーム配信は、報告が得られず視聴結果は不明であった。

以下に KPIX でのギガビットシンポジウム 2000 中継視聴結果を示す（表 B.19）。また、表の見方は富山国体の際と同様である。

経由	プロキシの有無	視聴
KPIX 経由	有	不明
KCAN 経由	無	不明
インターネット経由	無	可能

表 B.19 KPIX でのギガビットシンポジウム 2000 中継視聴結果

B.9.5 まとめ

KPIX では、PIX モデルへのストリーム配信が可能か実験するためにギガビットシンポジウム 2000 中継に参加し、ギガビットシンポジウム 2000 中継を KPIX へストリーム配信した。

配信結果より、現状の KPIX の設定でのストリーム配信が可能かは分からなかった。今後の課題には、squid.conf の考察やプロキシを介した KPIX へのストリーム配信の可能・不可能の調査がある。

B.10 pac ファイルの作成

この節では pac ファイルの作成方法、およびブラウザへの設定方法などについて述べる。

B.10 pac ファイルの作成

B.10.1 pac ファイルとは

pac (Proby Auto Configuration) ファイル^{*10*11}とは、ブラウザのプロキシ設定を自動化する設定ファイルである。pac ファイルは JavaScript 風の文法によって記述されたテキストファイルである。現在 pac ファイルを使用できるのは Netscape Navigator と Microsoft Internet Explorer である。

B.10.2 pac ファイルの目的

pac ファイルを使用してプロキシの自動設定を行うことによって多数あるクライアントのブラウザの設定の変更をそれぞれに対して行う必要がなくなり、もとの pac ファイルを変更するのみで全体の設定を変更することが可能となる。また、ブラウザの動作についても細かく規定することが可能であり、pac ファイルを使用してブラウザも PIX を動作に組み込むことでより柔軟なネットワーク設計を可能とする。

B.10.3 pac ファイルの記述

pac ファイルは JavaScript に似た文法で記述される。ブラウザはユーザから URL へのリクエストを受け取ると、

```
function FindProxyForURL (url, host){}
```

という関数を呼び出す。引数として url はリクエストされた url 全体が、host には url に含まれる hostname が渡される。この関数は受け取った url, host をもとに、答えを返す。この関数が返すのは、以下の 3 つの値のどれかである。

- DIRECT: プロキシを使用せずに直接接続する
- PROXY: 使用するプロキシサーバとポート番号を返す
- SOCKS: 使用する SOCKS サーバとポート番号を返す

^{*10} Netscape の資料 <http://home.netscape.com/eng.mozilla/2.0/relnotes/demo/proxy-live.html>

^{*11} Internet Explorer 開発キット <http://www.microsoft.com/japan/ie/ieak/>

B.10 pac ファイルの作成

FindProxyForURL 関数の中では、一般的な JavaScript の関数の他にいくつかの定義済み関数を使用することができる。定義済み関数はいくつかのグループに分かれている。グループは以下の通りである。

- ホスト名による条件式
- IP アドレス、DNS に関する関数
- URL/hostname による条件式
- 時間による条件式
- 結合された配列

これらの関数を組み合わせることで柔軟なプロキシ設定を実現することが可能となる。

B.10.4 pac ファイルの適用

pac ファイルはブラウザに読み込まれることで有効になる。そのため、何らかの方法でブラウザに読み込ませる必要がある。ただし、一度読み込まれれば pac ファイルが更新された場合の再読み込みは自動化されているのが一般的であるため、pac ファイルの読み込みの設定は最初の一度行えばよい。

pac ファイルをブラウザに読み込ませるには以下のようにいくつかの方法がある。

- ブラウザに pac ファイルの URL を設定する
- WPAD[1] によって自動検出を行う
 - DHCP を用いる
 - SLP を用いる
 - DNS を用いる
 - * A lookup を用いる
 - * SRV lookup を用いる
 - * TXT lookup を用いる

B.11 コストモデル

WPAD による方法は現在では Microsoft Internet Explorer のみで使用することができる。

WPAD を使用するには、Internet Explorer のプロキシ設定の項目で

- 設定を自動的に検出する

にチェックを入れておくだけでよい。

これらの方は上記のリストの順に優先順位が高い。すなわち、上から順に pac ファイルが検出され、見つかった時点でそれを適用する。現在の実装の状況から、一般的にはブラウザに設定する、あるいは DHCP を用いるか、DNS の A lookup を用いることが多い。

B.11 コストモデル

PIX モデルでの回線維持費を調査することにより、PIX におけるコストモデルを考察した。

PIX モデルに参加している組織は、インターネットへの専用線と PIX 内への接続回線を持つ。この時、総トラフィックが一定だと仮定し、総トラフィックを満たす場合の月額の回線維持費用を求めた（例：図 B.20）。

このグラフを求めたことで、総トラフィックが大きい程、また地域内トラフィックの割合が大きい程月額の回線維持費用は PIX が有利なことがわかった。また無線ユニットによる接続では、トラフィック状況にほぼ無関係に PIX が有利である。

B.11 コストモデル

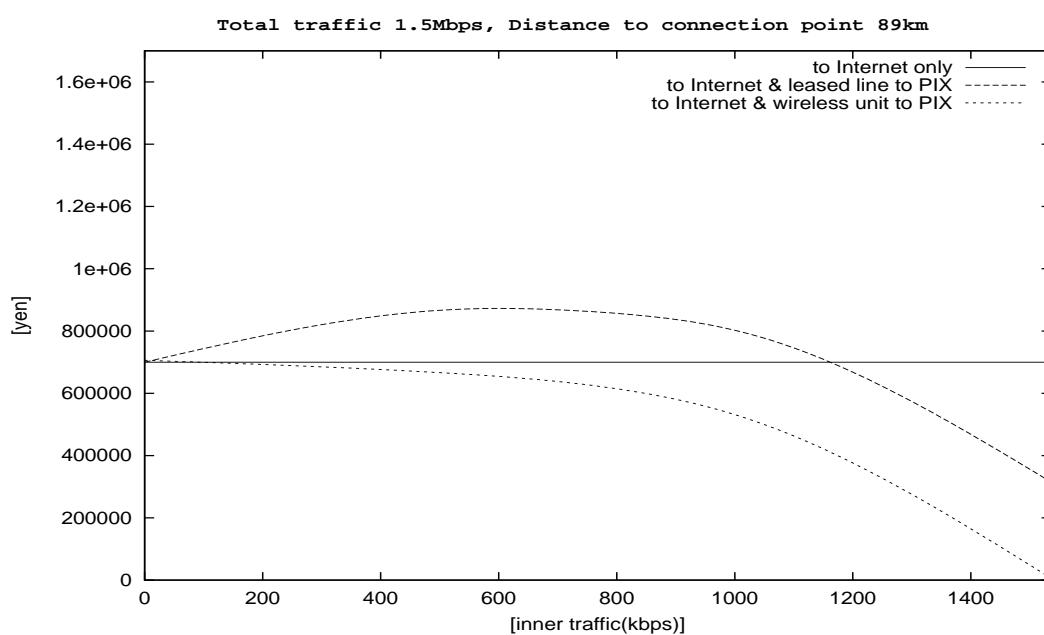


図 B.20 PIX モデルの月額回線維持費用例