

IPv6 ネットワークの構築 / 運用

～ NTTv6Net の運用を通じて～

藤崎 智宏 太田 賢治 三上 博英 新延史郎
NTT 情報流通プラットフォーム研究所 NTT 西日本研究開発センタ

NTT 情報流通プラットフォーム研究所では、IPv6 インターネットにおける IPv4 インターネットとの共存、IPv4 インターネットからの移行、IPv6 インターネット構築運用等の技術確立を目的として IPv6 ネットワーク技術のテストベッドネットワークとしての NTTv6Net の構築を進めている。NTTv6Net は、IPv6 ネイティブネットワークとしては世界最大規模を持つ。本稿では、NTTv6Net の現状を報告し、NTTv6Net の運用を通じ得られた IPv6 ネットワーク構築の際のアドレス割振り手法、IPv6 ネイティブリンク / トンネルリンクの選択手法などの IPv6 ネットワーク構築 / 運用技術に関して述べる。

Constructing, managing and operating IPv6 networks

- NTTv6Net operation -

Tomohiro Fujisaki Kenji Ota Hirohide Mikami

NTT Information Sharing Platform Laboratories

Shirou Niinobe

NTT West Corporation Research and Development Center

This paper describes current status of world-wide IPv6 experiment network NTTv6Net and operation/constructing techniques of IPv6 network based on NTTv6Net experience. NTTv6Net has been constructed by NTT Information Sharing Platform Laboratories. The objective of this network is to establish the techniques of how to co-operate existing IPv4 based network and IPv6 network especially at internet service provider, how to transit to IPv6 network and how to build and manage the IPv6 based internet.

1 はじめに

IPv6 インターネットは実験段階から実用ネットワークへ向けての動きが顕著になってきている。日本国内においては、IIJ、NTT コミュニケーションズといった商用インターネットプロバイダが IPv6 の試行サービス、実験を開始している。国際的にも、従来より続いている国際実験

ネットワーク 6bone に続き、IPv6 の実運用ネットワークを目指して 6REN (IPv6 Research and Education Networks) が活動を続けており、また、世界の各地に IPv6 ネットワーク同士をネイティブ接続するための IX (Internet Exchange) が構築され始めている。また、1999 年 7 月から IPv6 実アドレスの割振りが開始され、世界各地

でいくつかの組織が実アドレスの割り当てを受けている。

NTT 情報流通プラットフォーム研究所では、IPv6 インターネットにおける IPv4 インターネットとの共存、IPv4 インターネットからの移行、IPv6 インターネット構築運用等の技術確立を目的として IPv6 ネットワーク技術のテストベッドネットワークとして NTTv6Net の構築を進めてきた。本稿では NTTv6Net の現状を報告し、NTTv6Net の運用を通じて得られた IPv6 ネットワーク構築 / 運用技術に関して述べる。

2 IPv6 とは

IPv6 は、近年の IPv4 インターネット利用の急激な拡大により顕在化してきた問題の解決、及び、新たな利用分野の開拓と利用者の増加によりインターネットに要求されるようになった機能を同時に実現するものとして標準化された [4]。IPv6 が解決する課題を表 1 に示す。

(1)	IP アドレスの枯渇
(2)	経路制御情報の増大
(3)	インターネット接続作業の簡便化
(4)	マルチメディアデータ対応と QoS 制御
(5)	セキュアな通進路の確保

表 1: IPv6 が解決する課題

2.1 IPv6 の特徴

IPv6 は以下のような特徴を持っている。

- 128bit のアドレス長
現 IPv4 の 32bit に対し、4 倍のアドレス長を持つ。
- 経路集約を考慮したアドレス構造
アドレス割り当て時より階層化を強く意識することで経路の集約を効率的に行い、インターネット内での経路数削減を可能としている。

- インターネット接続を容易にする Plug & Play 機構

IPv6 ではアドレス等の自動設定機構を標準で含んでいる。これにより、ネットワーク端子に差し込むだけでインターネットに接続できるという、Plug & Play が実現している。

- セキュリティ機能を標準搭載
IP レベルでパケットの認証および暗号化が必須の機能となっている。これにより、あらゆるネットワークアプリケーションが第三者の盗聴、改竄、なりすまし等の防止という通信セキュリティを確保でき、インターネットの商用利用の促進が期待されている。

- 画像などのストリーム通信をサポートする機構

IPv6 では、ストリーム通信を効率的に行うための機構が採り入れられている。これにより、画像や音声通信といったリアルタイム通信をインターネット上で扱うことを容易にしている。

3 NTT IPv6 プロジェクト

3.1 NTTv6Net の変遷と現状

IPv6 は 1996 年に標準化され、実験用の IPv6 アドレスを使った世界規模の実験検証ネットワーク 6bone が構築運営されてきた。現在、6bone は 65 の基幹組織によりバックボーンが構成され、498 の組織が参加している。NTT では 1996 年より実験ネットワーク NTTv6Net を構築し、6bone に接続することにより、世界規模の IPv6 インターネットを使った IPv6 技術の開発と検証を進めてきた。図 1 に NTTv6Net の現状のネットワーク構成を示す。

NTTv6Net は構築当初、WIDE プロジェクトより SLA アドレス空間 (上位 48bit) の割当を受け、研究所内数箇所を接続して 6bone 末端サイト組織として IPv6 ネットワークを構築した。1997 年 12 月に、WIDE プロジェクト (6bone-jp) より、NLA1 相当 (上位 32bit) のアドレス空間の割振りを受け、このアドレス空間を利用して国内向け

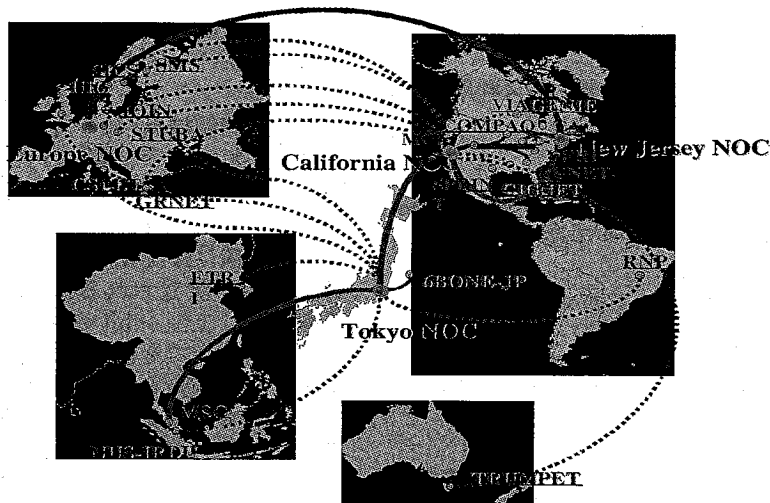


図 1: NTTv6Net の構成

のIPv6 サービスプロバイダ実験を開始した。また、より広範囲なネットワークを構築してIPv6 サービスプロバイダ運用管理技術の実証を開始した [6]。

1998年7月に、6boneの最上位組織であるpTLA(pesudo TLA)としての権利を取得し、そのアドレス空間(上位24bit)を用いてサービスプロバイダ実験の対象範囲を拡大し、pTLA IPv6 接続実験を開始した。この実験は、前実験の規模を拡大し、二次プロバイダ収容、pTLA 間接続手法の実証などを目的としている。同時期に米国西海岸にNOC(Network Operation Center)を設置し、日本と米国との間をIPv6 native 回線を用いて接続した。

1999年夏ドイツにNOCを設置し、1999年末に米国、ドイツ間をIPv6 ネイティブFR回線にて接続した。

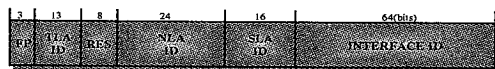
4 IPv6 ネットワーク運用

4.1 アドレス空間の利用法

4.1.1 IPv6 のアドレス体系

IPv6 は、128bit のアドレス長を持ち、経路の集約を容易に行えるようなアドレス体系の使用が予定されている。現時点で

は、Aggregatable Global Unicast Address のみが定義されている [3]。Aggregatable Global Unicast Address の構造を図2に示す。



FP(001)	Format Prefix (3 bit) for Aggregatable Global Unicast Addresses
TLA ID	Top-Level Aggregation Identifier
RES	Reserved for future use
NLA ID	Next-Level Aggregation Identifier
SLA ID	Site-Level Aggregation Identifier
INTERFACE ID	Interface Identifier

図 2: Aggregatable Global Unicast Address

現在稼働中のIPv6 国際実験ネットワークである6boneにおいては、このAggregatable Global Unicast Address を模したアドレス体系を用いてアドレス割当、ルーティングなどの実証を行っており、TLAにあたる最上位組織(pTLA)に、上位24bitを割り当てている。

現在、IPv6 実アドレスにおいてインターネット地域レジストリが初期に割振りを行っているのは図2におけるTLA、NLA

部の区切りを変更した，上位 35bit のネットワークアドレスである。

4.1.2 NTTv6Net でのアドレス利用法

上記のように，NTTv6Net では pTLA アドレス空間 (/24) を利用し，ネットワーク構築を行っている。本節では，NTTv6Net におけるアドレス割り振り手法について述べる。

NTTv6Net では，以下のポリシーに基づいてアドレスの割り振りを行っている。

1. 経路情報集約を実現するため，階層構造を強く意識する。
2. アドレスの浪費を防止するため，出来るだけ小さなブロックより割り当てを行う。
3. ユーザサイトに対するアドレス割り当ては /48 を基準とする。
4. NLA1 サイトに対するアドレス割り振りは /40 を基準とする。
5. 再割り振り / 割り当ての許可基準は既存アドレスブロックの 80% 以上の使用率であること

図 3 に NTTv6Net におけるアドレス体系を示す。

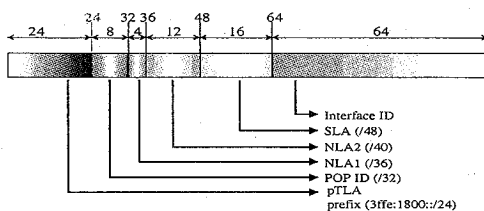


図 3: NTTv6Net Address Allocation

上位 24bit は 6bone より委譲を受けてる NTTv6Net のアドレス空間 (3ffe:1800::/24) である。NTTv6Net アドレス空間中，上位 8bit を地域 ID/NOC ID として 4bit づつ割り振っている (例: 日本は 3ffe:1800::/28, 米国は 3ffe:1810::/28, NTT 武蔵野研究所

NOC は 3ffe:1800::/32, NTT 横須賀研究所 NOC は 3ffe:1802::/32 など)。各地域ごとに，NLA1, NLA2 が 0 の空間はネットワークインフラストラクチャ用に予約している。予約領域を用い，各 NOC ごとに特定のサービスを行う機器のアドレス体系を統一している (各 NOC 毎，3ffe:18xx::53 は DNS サーバのアドレス，など)。

接続組織は接続先の各 NOC ごとに上位アドレスが決定される。各組織に対し，基本的には上位 48bit のプレフィックスをもって割り当てを行う (二次，三次プロバイダとして参加する場合にはより短いプレフィックスを割振る)。各組織は，このアドレス空間を用い，SLA 部 16bit 分 ($2^{16} = 65,536$ 個) のサブネットワークを構築可能である。NTTv6Net での現在の割り当て手法では，各組織がアドレスを使い切り，再び割り当て申請をしたときに連続領域を割り当てられるように，間隔を開けて割り当てを行っており，/44 までの連続領域を割り当てられるようにしている。

4.1.3 アドレス割り振りにおける問題点

地域ごとにアドレス空間をわけたことで，地域単位のアドレス集約が可能になり，NTTv6Net 全体としての経路情報の削減に大きく役立っている。また，接続組織が再申請を行った場合に連続領域が割り当てられるように，することで，接続組織に対するリチンバを極力行わないようにしている。一方で以下のような問題が起るため，今後検討が必要である。

- 現在，地域に 4bit, NOC に 4bit のアドレスを利用しているが，NOC 番号があふれた場合にどうするか
- 接続組織の接続点に変更があった場合の対処

4.1.4 IPv4 ネットワークとの共存，移行

NTTv6Net では，プライベートアドレス空間も含め，複数の IPv4 ネットワークが IPv6 網で接続されている。このため，IPv6 ネットワークトポロジと IPv4 ネットワークトポロジのずれが大きく，ネット

ワーク利用上、およびネットワーク管理上、IPv4 ネットワークとIPv6 ネットワークの共存が大きな問題となる。

トポロジ管理を効率的に行うために、Java を用いたネットワーク管理システム (NMS) を開発した [7]。この NMS は、IPv6/IPv4 各プロトコル別のネットワークトポロジ、両方を合成したネットワークトポロジを自動的に検索 / 表示することが可能であり、ネットワークの構成検索に役立っている。

また、ネットワークの検索ツールとして ICMP, SNMP に特化したプロトコル変換装置を開発し、既存 IPv4 NMS を用いてネットワークの監視を行っている [5]。

5 IPv6 ネットワーク構築におけるリンク選択

5.1 移行初期段階での IPv6 ネットワークの構築

IPv4 より IPv6 への移行は、段階を経て行われることを想定している [1]。移行の初期段階では、IPv4 ネットワークを仮想的な回線と見なして、その上で IPv6 ネットワーク同士を接続する IPv6 over IPv4 (IPv4 トンネル) リンク接続が多用される。IPv4 トンネルの仕組みを図 4 に示す。

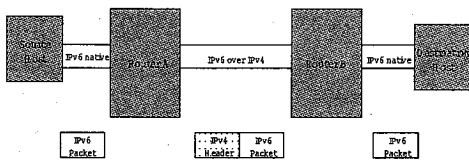


図 4: IPv4 トンネルの仕組み

IPv6 パケットは、IPv4 ネットワークとの境界の機器にて IPv4 パケット中にカプセル化され、IPv4 ネットワーク上を目的 IPv6 ネットワークの入り口の機器まで転送される。目的 IPv6 ネットワークの入り口の機器は、IPv4 ヘッダを取り除き、IPv6 パケットとして目的ホストに転送する。

移行が進んでくると、IPv6 ネットワーク構築の際に IPv6 ネイティブリンク、IPv4

トンネルリンクを選択できる状況が発生する。

6 IPv6 ネイティブリンクとトンネルリンクの選択

6.1 リンクの比較

IPv4 から IPv6 への移行初期 / 中期段階では、ネットワーク機器の IPv6 対応は IPv4 サポートより遅れることが予想される。現状、IPv4 に対応している数種のネットワークインタフェース、回線種別においては IPv6 非対応のものが存在している。また、次世代のインターネットインフラストラクチャとして注目され、キャリアにおいて提供が始まっている OC-12/OC-48 などの高帯域回線への対応も IPv4 よりかなり遅れている。IPv6 非対応のネットワーク機器などを利用するために、IPv4 トンネルを使用することになるが、IPv4 トンネルにおいてはカプセル化のオーバーヘッド、最大パケット長 (MTU) の整合の手間、複数プロトコルを扱うためのオーバーヘッドなどの問題がある。表 2 に、現状でのネイティブリンクと IPv4 トンネルリンクの比較を示す。

	ネイティブ	トンネル
利用可能帯域	中 / 低帯域	高帯域
機器のオーバーヘッド	少	多
対応インタフェース	少	多
転送効率	良	悪

表 2: IPv6 ネイティブリンクと IPv4 トンネルリンクの比較

6.2 リンクの選択

IPv6 ネイティブリンク、トンネルリンクを選択可能な場合の指針を得るための実験を行った。実験環境を図 5 に示す。

SOURCE ホストより DESTINATION ホストに対して、ICMP ECHO パケットを送出する。途中のルータ A と、DESTINATION ホストとの間の接続が、

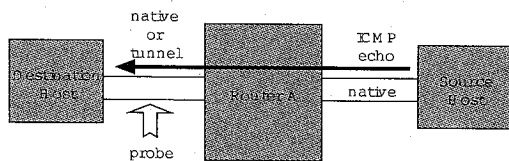


図 5: リンク選択実験環境

1. Ethernet ネイティブリンクの場合
2. Ethernet IPv4 上の IPv4 トンネルの場合

において ICMP の返答に要する時間を測定した。ルータ、ホストともに OS としては FreeBSD, IPv6 スタックは KAME [2] を用いた。測定結果を表 3 に示す。

	RTT 平均	分散
ネイティブ	126 マイクロ秒	23.3
トンネル	164 マイクロ秒	180.0

表 3: IPv6 ネイティブリンクとトンネルリンクの比較

測定結果より, FreeBSD+IPv6 KAME Stack においては, トンネルリンクはネイティブリンクに比べ 30% 程度のオーバーヘッドがあることがわかる。また, トンネルリンクにおいては, 値のばらつきが大きくなる。

以上より, ホスト (FreeBSD + KAME Stack) での処理速度を考えた場合, IPv4 の回線速度が 30% 以上早い場合には, トンネルリンクを用いる方が良いことがわかる。実際には, ホスト処理速度以外にリンクの混雑度, ルータの負荷, 必要な品質などを考慮する必要がある。

7 まとめ

NTT v6Net の構築 / 運用を通じて得られた IPv6 ネットワークの構築 / 管理の際に考えねばならない, アドレス設計と, ネットワーク構築の際のリンク選択手法に

ついて述べた。IPv6 を利用する主目的である広大なアドレス空間を効率的に利用するためには, アドレス利用法の設計が不可欠である。本稿では NTT v6Net におけるアドレス割り当ての実際とその運用上の利点を述べたが, 今後ネットワーク利用者の増加にともない, 割り当て手法を見直していく必要がある。また, IPv6 ネットワーク構築の際の, IPv6 ネイティブリンクと IPv4 トンネルリンクの選択に関し, 定量的評価を行った。ホストの処理のみを勘案した場合は, IPv4 回線が 30% 以上高速な場合にはトンネルリンクを用いることも考慮内であるが, 遅延が一定しないなどの問題が発生するため, 回線の利用方法に応じた選択が必要となる。

参考文献

- [1] R. E. Gilligan and E. Nordmark. Transition mechanisms for ipv6 hosts and routers, August 1998. Internet Drafts.
- [2] KAME Project. Kame project home page.
<http://www.kame.net>.
- [3] S. Deering R. Hinden, M. O'Dell. An ipv6 aggregatable global unicast address format, July 1998. Request for Comments 2374.
- [4] R. Hinden S. Deering. Internet protocol, version 6 (ipv6) specification, December 1998. Request for Comments 2460.
- [5] 藤崎智宏, 森山 斉, and 浜田雅樹. インターネット協調管理プラットフォームを利用した ipv6 ネットワーク管理. 情報処理学会 分散システム運用技術研究会 研究報告 98-DSM-12, pages 19-24, 1998.
- [6] 藤崎智宏 and 柏木伸一郎. Ipv6 サービスプロバイダの構築と運用. 情報処理学会 分散システム運用技術研究会 研究報告 98-DSM010, pages 13-18, 1998.
- [7] 柏木伸一郎, 藤崎智宏, and 浜田雅樹. ネットワーク構成の自動探索に基づく java ベース ipv6 ネットワーク管理システムの実装. 情報処理学会 分散システム運用技術研究会 研究報告 98-DSM-12, pages 13-18, 1998.