

## IPv6 技術の概要、運用方法および運用状況

江崎 浩

東京大学 情報基盤センター

### 概要

IPv6(IP Version 6)技術は、次世代インターネットの基盤プロトコルとして 1990 年初頭から IETF(Internet Engineering Task Force)において標準化が進められてきた。IPv6 は、現在の IPv4 の 4 倍の長さにあたる 128 ビット長のアドレス空間を提供することができ、インターネットシステムにおけるエンドエンドアーキテクチャを継続・発展させるためには必須となる基盤プロトコルである。本パネルでは、IPv6 技術の概要を述べるとともに、その運用方法および運用の状況を議論する。

### Overview of Research, Development and Operations on IPv6 Technology

Hiroshi ESAKI

Information Technology Center, The University of Tokyo

### Abstract

The IPv6 (IP version 6) technology is the core protocol for the next generation internet. The IETF, Internet Engineering Task Force, has discussed the IPv6 technology to standardize it from the beginning of 1990s. IPv6 has 128 bits address space, that is four times larger than the IPv4 has. And, due to a large address space, the IPv6 network can preserve the end-to-end architecture model, that is one of most important feature for the growth and flexibility of internet system.

#### <本パネルの構成>

- (1) IPv6 の技術概要  
江崎 浩 (東京大学)
- (2) IPSec の概要と実装  
坂根 昌一 (横河ディジタルコンピュータ)
- (3) IPv6/IPv4 相互接続技術の概要と実装  
角川 宗近 (日立製作所)
- (4) マルチキャストの概要と実装・運用  
神明 達也 (東芝)
- (5) アドレス割り当てと実験運用  
荒野 高志 (NTT コミュニケーションズ)
- (6) IPv6 国際ネットワーク (6Bone) の運用  
加藤 朗 氏 (東京大)

したデジタルコミュニケーションの質およびサービス機能の多様化に対応し、信頼性のある産業・生活基盤としての役割を果たさなくてはならない。今後のインターネットシステムの方向性は、(1) Everything over IP、(2) Everyone with IP、(3) Everywhere with IP である。

IPv6(IP version 6)技術[1]は、1990 年頃から、インターネット技術の世界標準を決定している IETF(Internet Engineering Task Force)において、その技術検討が開始され、既に基本的な技術標準化を完了している。IPv6 システムは、いわゆる研究的な開発および実験から、実運用・商用運用の段階へと進展しようとしている。

#### 1. はじめに

次世代のデジタルネットワーク基盤は、IP (Internet Protocol) と呼ばれるインターネット技術を基盤技術として、今後も継続する接続機器の増加と通信量の肥大化に対応できなければならない。さらに、利用の多様化を背景と

現在、我が国では、IPv6 技術に関して他に先行し、IETF での提案活動、国内 IPv6 実験ネットワーク (6Bone-JP) の国際接続運用、さらには IPv6 システムソフトウェア基本仕様版の開発などを通じて、既に、国際的な先進性を確立している。今後の継続した、技術研究開発、実践的実証実験ネットワークの運用および

IETF における技術提案活動などを通じて、集約的で共通の情報基盤の確立を行い、次世代情報産業に対する国際的責任を果たさなければならない。

本パネルでは、IPv6 技術の概要と動向、IPv6 技術の本格普及に向けた研究開発活動の動向の解説を行う。

## 2. IPv6 技術の概要と動向

### 2.1 概要

インターネットシステムにおいては、家電機器のインターネット接続に代表されるような数的な増加と、インターネット接続地域の拡大に伴う地理的な広がりが、依然として、急速な速度で進行している。現在の IP は、IP version 4 であり 32 ビットのアドレス列で機器を識別している。32 ビットのアドレス空間 ( $2^{32} \approx 10^9$ ) は、高々世界人口程度の大きさであり、すべての機器がインターネット接続されるであろう次世代インターネットシステムでは、IP アドレス空間の枯渇してしまう。今後も継続するインターネットの肥大化は、必然的に、大量 (massive scale) のグローバルアドレスを必要とし、128 ビットの十分大きなアドレス空間 ( $2^{128} \approx 10^{38}$ ) を提供可能な IPv6 の導入を推進する必要がある。グローバルアドレスをインターネット接続機器に提供できないために発生する、アプリケーションへの制約は極めて憂慮すべき問題であることは、IETF の IAB (Internet Architecture Board) などでも指摘されている [3]。

1990 年頃、米国でのインターネットの爆発的な成長に伴い IP アドレスの枯渇問題が顕在化した。IP アドレス枯渇への対応策として、短期的措置として、CIDR (Classless Inter-Domain Routing) [4]、NAT (Network Address Translation) [5] および DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) [6] などが提案され実践運用された。しかしながら、IP アドレスの枯渇は、本質的な問題であり、長期的 (= 本質的) な解決方法としては、IPv6 への移行が必須である。

IPv6 技術の検討は IETF において 1990 年頃から開始され、現在、その基本仕様が確立し、実験的なテストベッド (6-Bone) の国際的な運用実験が展開されている。IETF においては、IPv6 の仕様そのものばかりではなく、現在の

IPv4 システムから IPv6 システムへの移行技術および移行方法に関する検討も進められた。さらに、IPv6 では現在の IPv4 では実現することが困難な、今後の生活および産業基盤として必要な以下のような機能を提供することができるように機能拡張が行われた。

- (i) セキュリティー機能の組み込み
- (ii) サービス品質の提供
- (iii) 自動構成認識機能 [7]
- (iv) マルチプロバイダー環境への対応機能
- (v) 計画的かつ階層的なアドレス構造

### 2.2 IPv6 への移行技術

IPv6 システムと IPv4 システムの相互接続のための技術としては、以下の 3 つの技術を確立する必要がある。

- (1) IPv4 システム上での IPv6 システムの動作  
トンネリングを用いて IPv6 パケットを IPv4 パケットの中に包み込む技術を用いて動作させる方法が一般的である。伊国 CSELT 社は、IPv4 のダイアルアップネットワークの上で、IPv6 のアドレスを自動的に取得し、さらに、自動的に適切なサーバに IPv6 のトンネリングを確立する技術を開発し、フリーソフトとして公開している。
- (2) IPv6 システム上での IPv4 システムの動作  
日立製作所は、IPv4 ベースの米国マイクロソフト社 Windows 上で動作する IPv6 ネットワーク対応用のアドレス変換ドライバー「Toolnet6」[8]を開発し、フリーで公開している。本ソフトウェアは、図 1 に示したように、パソコン内部で IPv6 と IPv4 のプロトコルおよびアドレスの変換機能を提供することができる。

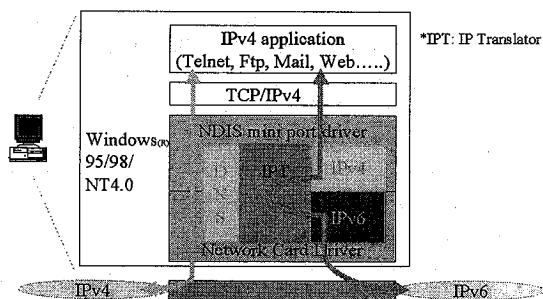
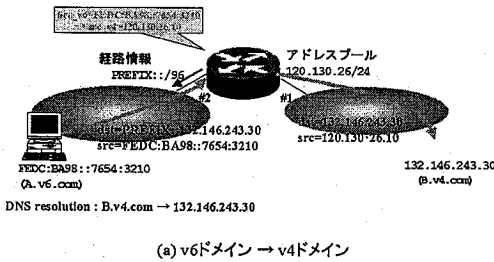


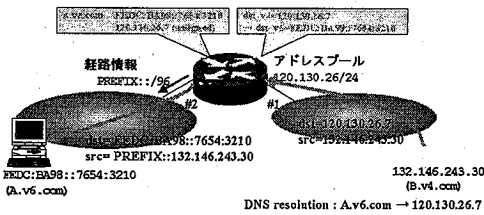
図 1. Toolnet6 の概要

(3) IPv4 網と IPv6 網を相互接続

日本電気(Socks-Trans)、富士通(SOCKS64)、日立製作所(NAT)、KAME プロジェクト(FAITH)が、それぞれ技術開発を行っている。図2に示したアドレス変換方式と、図3に示したSOCKS方式などを用いたTCPリレー方式の2つの方式が開発されており、相互接続性を持っている。現在、高速処理化およびマルチキャスト通信への対応に向けた技術開発が進められている。



(a) v6ドメイン → v4ドメイン



(b) v4ドメイン → v6ドメイン

図2. NAT を用いた v6/v4 相互接続

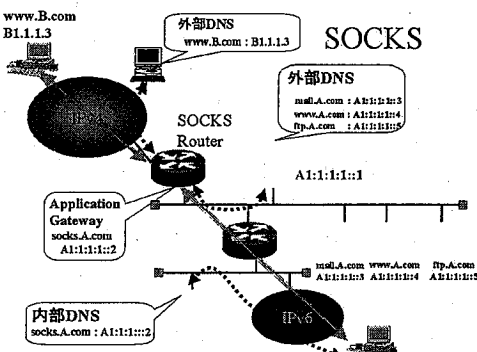


図3. SOCKS を用いた v6/v4 相互接続

3. IPv6 システムの本格的展開に向けて

3.1 KAME プロジェクト

IPv6 準拠の TCP/IP ソフトウェアは、米国コンパック社(元 DEC 社)を除けば、まだ OS ベンダーからの製品版の出荷実績はない。各 OS ベンダーは、ベータ版の配布を行っている段階である。米国マイクロソフト社は、WindowsNT4.0 と Windows2000 用のベータ版を開発し、公開している。一方、SVR4 系 UNIX ではベンダーごとの開発となっているが、BSD 系 UNIX (FreeBSD, NetBSD, OpenBSD, BSD/OS) ではそれぞれのプラットフォーム向けの開発が同時進行している。

我が国においては、WIDE プロジェクト(代表: 慶応大学 村井純教授)が推進している KAME プロジェクトが開発したフリーウェア「KAME」が、国内外で高い評価を受けている。(株)IIJ は IPv6 の試験サービスを 1999 年 9 月に KAME ソフトウェアを用いて開始したし、NTT コミュニケーションは IPv6 の国際的実験網の構築運営を計画している。KAME プロジェクトの目的は、単なる IPv6 ソフトウェアの開発のみではなく、IPv6 機器の新規開発を促進するとともに、IPv6 システムの導入を加速化することにある。BSD 系 UNIX システムや Linux の普及に見られるように、高品質で完成度の高い基盤ソフトウェアが無料で提供される環境が整うことにより、さまざまな独自機能を持った安価なソフトウェア/ハードウェア製品が開発され、市場に提供されることが期待される。

3.2 TAHI プロジェクト

IPv6 機器の相互接続性の検証を行うために、1996 年 2 月から、米国ニューハンプシャー大学の IOL (InterOperability Laboratory) において、相互接続実験が行われ、開発組織は他組織の IPv6 システムとの相互接続実験を行うことができた。国内においては、こういった検証環境が整備されていなかったが、1999 年 4 月に横河電機、横河デジタルコンピュータ、東京大学、WIDE プロジェクトによる、IPv6 システムの評価システムおよび評価ツールの研究開発(TAHI プロジェクト)が進められている。開発された評価ツールは、フリーソフトとして公開される。

3.3 JB/WIDE プロジェクトにおける研究開発の状況

CKP、ITRC および WIDE プロジェクトが共同で推進している JB プロジェクトは、先進的な技術開発を IPv6 基盤ソフトウェア KAME への集約化し、実ネットワークにおいて実践的運用による技術検証を行っている。JB プロジェクトの研究開発活動の成果は以下の通りである。

(1) ルーティングプロトコル

ユニキャストとして RIPng, OSPF, BGP4+の開発を行い、またマルチキャストとして DVMRP および PIM-SM/PIM-DM の IPv6 システム対応のルーティングソフトウェアの研究開発が行われた。

(2) Digital Video(DV)アプリケーション

ユニキャストおよびマルチキャストでの DV 転送の基本的な研究開発および技術検証を終え、IPSec を用いた DV ストリームの暗号通信、さらには、TCP 通信に親和性の高い(TCP-Friendly な)フロー制御に関する研究開発が進められている。

(3) ラベルスイッチ技術

IPv6 を用いたラベルスイッチのみならず、Diff-Serve の統合化が進められている。

(4) QoS/CoS 制御技術

ALTQ[9]および Diff-Serve 機能[10]の KAME コードへの統合化が完了し、JB/WIDE ネットワークでの実証実験が計画されている。また、AS 間での QoS/CoS 制御ポリシーの制御を行うためのプロトコルである BB(Bandwidth Broker)技術の研究開発が、Internet2 と協調しながら推進されている。

(5) 遠隔授業

IPv6 技術を用いた本格的(Production Quality)なアプリケーションとして、インターネット技術を用いた日米間での遠隔授業が行われている。米国 Wisconsin 大学と JB/WIDE ネットワークを高速データ回線で相互接続し、DV 等を用いたリアルタイムでの遠隔授業が、IPv6 技術を用いて推進されている。

(6) NSPIXP6 の運用

国内における IPv6 のインターネットイクスチェンジプロジェクト(NSPIXP6)が、1999年9月に開始され、わが国初の IPv6 の IX(Internet eXchange)である

NSPIXP6 の運用が開始された。

### 3.4 IPv6 製品の展開

国内外のネットワーク機器ベンダーのほとんどが、IPv6 準拠の製品を市場に投入する準備を整えたと言える。国内では、日本電気、住友電工、日立製作所、富士通が IPv6 準拠のルータの開発をほぼ完了している。国外においても、シスコ(米国)、Nortel/BayNetworks(米国)、ノキア(フィンランド)、テレビット(デンマーク)など、IPv6 への対応の準備はほぼ整備されている。

### 3.5 国際的な協調活動

国際的に IPv6 システムの導入を推進・加速することを目的として、1998年12月の IETF 会合において、6REN(IPv6 Research and Network)が設立された。6REN は、Production Quality の IPv6 ネットワークの構築を日米欧で協調しながら推進し、IPv6 技術の確立と普及を推進する。また、本格的な IPv6 技術の商用目的での導入・利用を推進することを目的とした v6 Forum が組織化され、多数の商用プロバイダならびにネットワーク機器ベンダーが参加している。さらに、1998年12月には、日本と北米の IPv6 ネットワークを相互接続する IX(Internet eXchange)として、6TAP(6REN cross connect at StarTAP)の稼動がスタートしている。

## 4. 本格的普及に向けたアドレスの割り当て

IPv6 の技術及び運用の確立の推進に伴い、これまでの実験用途としてのアドレス割り当ての段階を終え、商用運用目的のアドレス(sub-TLA)の割り当てが1999年9月に開始された。アジア太平洋地域のアドレス割り当てを行っている APNIC(Asian Pacific Network Information Center)は、1999年2月に図4に示したような IPv6 の割り当て方法の案(4月にアップデートされた)を公開した。ユーザは、現在の運用と同様に、インターネットプロバイダからアドレスブロックを取得することができる。128ビットの内、半分の64ビットがアドレスブロックを示し、下位64ビットでサブネット番号(16ビット)とエンドホスト識別子(48ビット)を表現する。

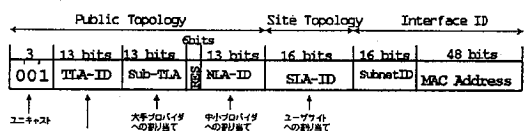


図 4. APNIC の IPv6 アドレスの割り当て方法案

以上のように、商用目的の IPv6 アドレスの割り当て開始により、IPv6 技術の本格的に普及する環境が整ったといえる。

### 5. むすび

IPv6 技術は、いわゆる研究的な開発および実験から、実運用・商用運用を目指した本格的な研究開発ならびに運用の段階に進展しようとしている。現在、IPv6 の技術開発、実装ならびにネットワークの運用において、我が国は国際的に高い先進性を持つことができている。この技術的先進性と国際的競争力を維持し、さらに産業としての国際競争力を確立するためには、戦略的産業分野への IPv6 技術の戦略的/計画的導入および普及を促進する必要がある。

### <<文献>>

- [1] RFC1887 : "An Architecture for IPv6 Unicast Address Allocation", IETF RFC1887, December 1995.
- [2] RFC791 ISI-USC : "Internet Protocol : DARPA Internet Program Protocol Specification", IETF RFC791, September 1981
- [3] B. Carpenter : "Internet Transparency", IETF Internet-Draft, draft-carpenter-transparency-01.txt, April 1999.
- [4] RFC1518 Y.Rekhter, T.Li : "An Architecture for IP Address Allocation with CIDR", IETF RFC1518, September 1993.
- [5] RFC1631 K.Egvang, P.Francis : "The IP Network Address Translator (NAT)", IETF TFC 1631, May 1994.
- [6] RFC1531 R.Droms : "Dynamic Host Configuration Protocol", IETF RFC1531, October 1993.
- [7] RFC2462 S.Thomson, T.Narten : "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", IETF RFC 2462, December 1998.

- [8] K.Tsuchiya, etc. : "Dual Stack Hosts using the "Bump-In-the-Stack" Technique (BIS)", IETF Internet-Draft, draft-ietf-ngtrans-bis-00.txt, July 1999.
- [9] K.Cho : "Managing Traffic with ALTQ.", USENIX 1999 Annual Technical Conference: FREENIX Track, Monterey CA, June 1999.
- [10] RFC2475 S.Brake etc., : "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC2475, December 1998.