

(招待論文)

JGN IPv6 の紹介

小林 和真[†]

† 倉敷芸術科学大学,
〒 712-8505 岡山県倉敷市連島町西之浦 2640 番地

E-mail: †kazu-k@soft.kusa.ac.jp

あらまし インターネットにおける IP アドレス枯渇問題、経路増大問題などのインターネットプロトコルに起因する各種の問題に対応するために、次世代インターネット技術としての IP version 6(IPv6) の研究開発が進められている。こうした背景をもとに、国際的に通用する次世代のインターネット技術に適応できる広域実験ネットワークとして、通信・放送機構は列島縦断型ギガビットネットワーク (JGN : Japan Gigabit Network) の IP version 6(IPv6) への対応を実施した。ルータ設置拠点 28 箇所を中心に、全国に IPv6 サービスを提供可能なアクセスポイントを 47 箇所展開している。これにより、IPv6 への早期の移行、あるいは開発製品の IPv6 への対応など、各種の実証や運用実験を行うことが可能な IPv6 ネットワークが整備された。加えて、現時点での IPv6 対応のルータ装置についてのシステム間の相互接続検証を実施するために”岡山 IPv6 システム評価検証センター”が設置されている。また、東京(大手町)にも、IPv6 対応ネットワーク機器の運用、管理技術の開発のための”IPv6 システム運用技術開発センター”が設置されている。この通信・放送機構が整備した JGN IPv6 ネットワークについて、本論文では紹介する。

キーワード IP version 6, 次世代インターネット, JGN(Japan Gigabit Network), 相互接続性試験

Introduction of JGN IPv6

Kazumasa KOBAYASHI[†]

† Kurashiki University of Science and the Arts,
2640 Nishinoura, Tsurajima, Kurashiki, Okayama 712-8505, Japan

E-mail: †kazu-k@soft.kusa.ac.jp

Abstract The research and development of IP version 6(IPv6) works positively to solve problems which originate in a current Internet protocol. Both the problem that the Internet Protocol address space has been exhausted and the Internet route flood problem can be solved with IPv6. Based on such a background, TAO made JGN(Japan Gigabit Network) correspond to IP version 6 as a large area experimental network which was able to be used for next generation's Internet technology. We constructed the access point in 47 places which included 28 places in the NOC(Network Operation Center) where the IPv6 router had been installed with a nationwide scale. In this paper, we introduce this JGN IPv6 network which TAO constructed.

Key words IP version 6, Next Generation Internet, JGN(Japan Gigabit Network), Interoperability test

1. はじめに

次世代の超高速ネットワークの実現に向け、ネットワーク運用・構築技術や高度アプリケーション技術の研究開発を目的として、通信・放送機構は、研究開発用ギガビットネットワーク（JGN: Japan Gigabit Network）を構築し、大学・研究機関をはじめ、行政機関、地方自治体、企業などに開放している。

このJGNを、次世代インターネットの通信規格であるIPv6(Internet Protocol Version 6)技術に関する様々な研究開発に対応できるように、IPv6対応のルータ装置を設置し、平成13年10月1日よりJGN IPv6ネットワークとして試験運用を開始している。

IPv6は、従来のインターネットにおけるIPアドレス枯渇問題、経路増大問題などのインターネットプロトコル(Internet Protocol Version 4)に起因する各種の問題に対応できるように設計されている。例えば、IPv4ではアドレススペースのすべてをホストアドレスに割り当てたとしても 2^{32} 個(約43億: 4.3×10^9 個)のホストしか接続することができないが、IPv6では 2^{128} 個(約340潤(かん): 3.4×10^{38} 個)のホストを接続できる。また、IPv6は経路集約化(アグリゲーション)を前提に設計されており、ホスト数の増大が経路数の増大に直接結びつかない構造になっている。

ネットワーク構築の上で基本となるIPv6の標準化は、IP version 6(RFC2460)[1]、ICMPv6(RFC2463)[2]など、数年前にはほぼ完了している。現在は、ネットワーク構築や運用上で必要な各種の機能が標準化されつつあり、各社のルータ装置への実装が行われ始めた状態である。

構築されたJGN IPv6ネットワークは、IPv4ネットワークを介さないIPv6対応機器のみで構築されたネイティブなIPv6ネットワークである。また、取り組む実験に応じてIPv4/IPv6のデュアルスタック(IPv4とIPv6の両方に対応できる)での運用も可能である。現実的な実験ネットワークとするために、国産ルータベンダ3社を含むマルチベンダ環境として構築している。

一方、現状のIPv6対応のルータ装置は、かならずしも良好なマルチベンダー間の相互接続性能を有していない。また、IPv6のみで運用するには、ネットワーク管理やセキュリティ対策に関しての規格の標準化や実装が不十分である。そこで、現時点でのIPv6対応のルータ装置についてのシステム間の相互接続検証を実施するために”岡山IPv6システム評価

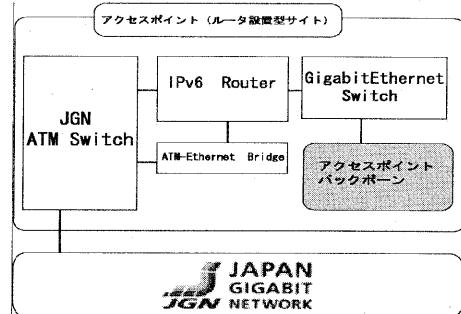


図1 ルータ設置サイトのネットワーク接続図

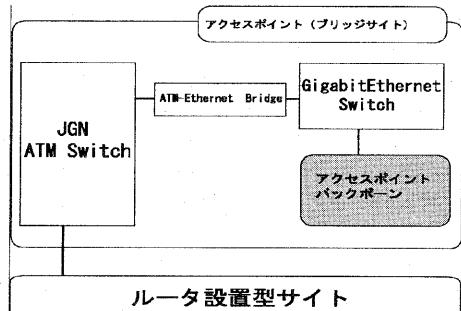


図2 ブリッジサイトのネットワーク接続図

検証センター”が設置されている。また、東京(大手町)にも、IPv6対応ネットワーク機器の運用、管理技術の開発のための”IPv6システム運用技術開発センター”がJGN IPv6ネットワークの構築にあわせて設置されている。

JGN IPv6ネットワークは、ネットワーク運用・構築技術や高度アプリケーション技術の研究開発を目的として整備されている。必要な回線利用手続き[3]を行えば、JGN IPv6ネットワークを活用した研究開発を実施することが可能である。

2. ネットワーク構成図

JGNのネットワークは、ATMをベースとしたネットワークであり、JGN IPv6ネットワークも基本的にJGNのATMネットワークを利用して構築されている。

今回のJGNのIPv6対応で整備されたサイトは

- 28箇所のルータ設置サイト
- 29箇所のブリッジ取容型サイト

の合計57箇所である。

ルータ設置サイトの内、東京大学、テレポート岡山(岡山IPv6システム評価検証センターを併設)、堂

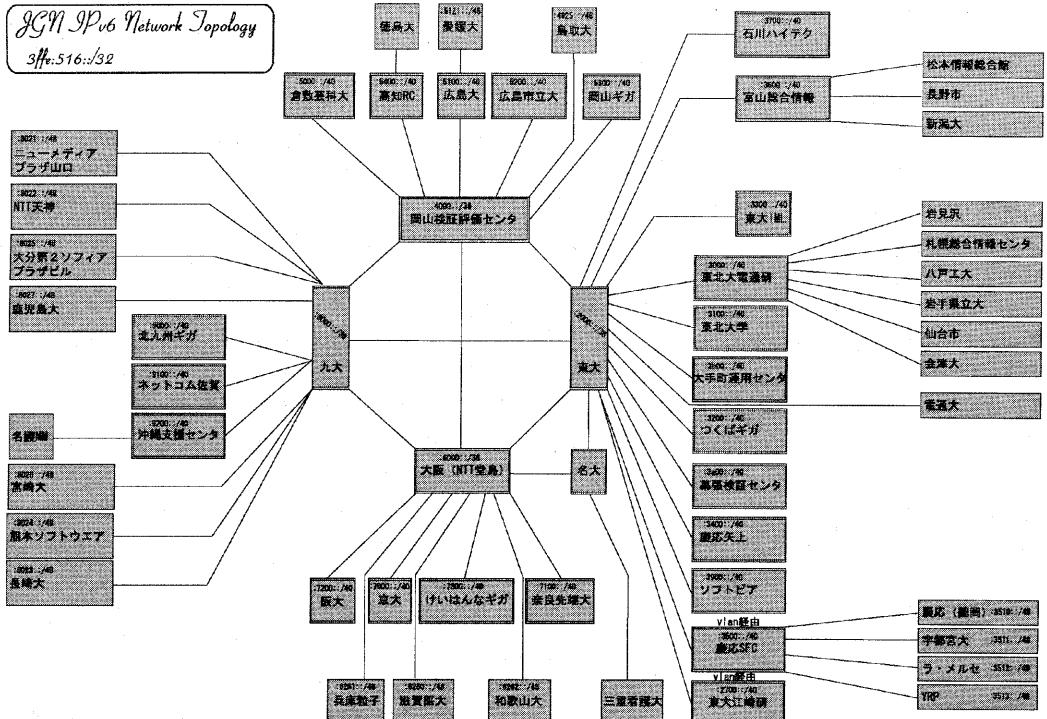


図3 JGN IPv6 ネットワーク図

島、九州大学の4箇所をコアサイトと定義している。各コアサイト間は相互に接続され、JGN IPv6 ネットワークのバックボーンを構成している。その他のルータ設置サイトは、4カ所のコアサイトのいずれかに接続されており、ブリッジ接続型サイトはいずれかのルータ設置サイトに接続されている。

各サイトの事情を考慮した上で、相互接続性に関する実験や運用に関する知見を得ることを目的として、複数ベンダーのルータを採用し、それぞれルータ設置サイトに配置している(表1参照)。

これにより、JGN IPv6 ネットワークの運用そのものが、IPv6 対応の商用ルータを用いた大規模なマルチベンダー相互接続ネットワークの実験となっている。

JGN IPv6 ネットワークは、ATM で構築されたネットワークの特性を生かし、ATM パスを各地点間に設定することで論理的にネットワークを構成している。IPv6 における高度なルーティングや実験テーマによって ATM パスを変更することでネットワークの構成を自在に変更することが可能である。現在のネットワークトポジは、JGN IPv6 ネットワークを早期に構築し運用を開始することを目的として設計されているが、各ルータの IPv6 機能の実装の進度に合わせて、より複雑なネットワークへと変更していく予定である。

また、ルータの機器トラブルや実装上の機能制約から IPv6 への接続が一時的に困難になることを予測して、各ルータ設置サイトには、ブリッジ接続型サイトと同様に、IPv6 対応の ATM-Ethernet ブリッジを設置している。上流のルータ設置サイトが何らかの理由で利用できない場合には、その上位のルータ設置サイト(または隣接するルータ設置サイト)に、ATM-Ethernet ブリッジを用いて収容することが可能である。

ルータ接続とブリッジ接続の二つの方法と、ATM

表1 設置ルータ

ベンダー名	製品名	設置台数
Cisco Systems	Cisco GSR12406	3台
	Cisco7200VXR	6台
Juniper Networks	M20	8台
日立製作所	GR2000-6H	13台
富士通	Geo Stream R-940	3台
日本電気	NEC IX5010	3台

パスの変更を組み合わせることで、利用者のIPv6コネクティビティを損なうことなく、バックボーンのほぼ全域を利用した実験を実施することが可能となっている。

2.1 利用するアドレス空間

JGN IPv6 ネットワークで利用する IPv6 アドレスブロックは、WIDE プロジェクトの pTLA アドレスブロック中の NLA アドレス (3ffe:516::/32) を利用している。各ルータ設置サイト、ブリッジ収容型サイトへのアドレスの割り当て方法も、IPv6 運用にかかる実験のひとつと位置付けられている。アドレススペースとしては WIDE NLA を利用しているが、AS(Autonomous System) は独自に取得しており (AS17394)、他の IPv6 ネットワークとの経路情報交換などは独立して実験することが可能である。

2.2 ルーティング

現時点での JGN IPv6 ネットワークの内部では、RIPng と静的ルーティング (static routing) を組み合わせて運用している。

各社の実装状況に応じて、IS-IS や OSPF でのダイナミックルーティングについての広域ルーティング実験を計画している。

対外接続は、WIDE NSPIXP-2/NSPIXP-6(東京大手町) と接続し、世界規模の IPv6 実験ネットワークである 6Bone とも接続を行っている。他の IPv6 ネットワークとの接続については、NSPIXP-3(大阪堂島)、OKIX(岡山) などの地域 IX との接続についても検討されている。

3. IPv6 対応のアクセスポイント

表 2 は、IPv6 が利用できる JGN のアクセスポイントの一覧である。57箇所の接続ポイントの内、直轄研究施設などの一部のサイトを除いた 47 箇所が、アクセスポイントとして公開されている(表2参照)。

各アクセスポイントでは、Ethernet(10/100Mbps)による IPv6 接続を利用者に提供している。接続先の IPv6 セグメントは、それぞれのブリッジ収容型サイトの上流にあたるルータ設置サイトの利用者収容用の IPv6 セグメントと同一のセグメントになっている。

ルータ設置型のアクセスポイントには、IPv6 に対応したルータ装置と利用者を収容するための Ethernet スイッチが設置されている。ルータ設置型のアクセスポイントの利用を希望するユーザは、用意されている Ethernet スイッチに 10/100BASE-T の Ethernet で接続することになる。各ルータ設置型サイト

では、/48 のアドレススペースをユーザ収容セグメント用に準備している。この中から実験用に必要な領域のアドレススペースを割り当てる。

ブリッジ収容型のアクセスポイントでは、IPv6 パケットを伝送できる ATM-Ethernet ブリッジを利用して、いざれかのルータ設置型のサイトの IPv6 セグメントを延長させることで IPv6 が利用できる環境を提供している。アドレス管理やデフォルトゲートウェイなど、実際の IPv6 ネットワークとしての運用は、ATM によるブリッジ接続先のルータ設置型サイトのネットワーク管理者が、自サイトのサービスセグメントと同様に管理する方針である。

JGN IPv6 ネットワークでは、実際のネットワーク運用やネットワーク網自体の監視業務も実験的取り組みに値する。そこで、JGN IPv6 ネットワークでは、これまでに通信・放送機構が整備してきた JGN IPv4 ネットワークのアクセスポイントとは異なる場所にも、ルータ設置サイトを新設している。日々のネットワーク運用にかかることで、IPv4 とは異なる IPv6 のネットワーク運用技術を早期に習得する機会を得ることができる。

4. ネットワーク機器の IPv6 対応

各社が提供している商用ルータの IPv6 への対応状況を見ると、研究・開発に着手した時期の問題や次世代インターネット市場に対しての見方の違いからくる製品化の動向もあり、必ずしも同等レベルであるとは言いがたい。対応済みの機能と未対応の機能が各社のルータごとに異なっており、マルチベンダー環境での運用性において、少しばかりの制約が存在する。

JGN IPv6 ネットワークでは、導入した各社のルータソフトウェアに関するバージョンアップを随時していく計画であり、来年の 3 月末頃を目処に安定稼動を目指している。

5. 相互接続性の検証

IPv6 ネットワーク機器では、IPv4 ネットワークのように業界標準としての地位を確立したベンダーがまだ存在していない。そのため、IPv6 機器の相互接続性については、10 年前の IPv4 ネットワークと非常に良く似た状態にある。

JGN IPv6 ネットワークでは、様々なベンダーや研究機関と連携して、IPv6 対応のルータ装置の相互接続検証を実施するために、”岡山 IPv6 システム評価検証センター”を設置している。

表 2 JGN IPv6 アクセスポイント設置場所

ブロック	都道府県	アクセスポイント	住所	機関名
北海道	北海道	北海道-3	北海道札幌市白石区菊水1条3-1-5 メディアミックス札幌	札幌総合情報センター
		北海道-	北海道岩見沢市有明町南1番地 20	岩見沢市自治体ネットワークセンター
東北	青森	東北-6	青森県八戸市天字妙字大開 88-1	八戸工業大学
		東北-3	岩手県岩手郡滝沢村滝沢字巣子 152-52	岩手県立大学メディアセンター
		東北-4	宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉	東北大學情報シナジーセンター
	山形 福島	東北-5	宮城県仙台市青葉区中央1-3-1	仙台市情報・産業プラザネットU
		東北-6	山形県鶴岡市馬場町13番17	慶應義塾大学先端生命科学研究所
		東北-2	福島県会津若松市一箕町大字鶴賀字上居合 90	会津大学情報処理センター
関東	栃木 群馬 茨城	関東-1	栃木県宇都宮市陽町7-1-2	宇都宮大学総合情報処理センター
		関東-2	群馬県高崎市八島町70番地	ラ・マルセ
		関東-3	茨城県つくば市吾妻2丁目	つくば情報通信研究開発支援センター
	東京	関東-4	東京都文京区弥生2-11-16	東京大学 IML
		関東-5	東京都調布市調布ケ丘1-5-1	電気通信大学総合情報処理センター
		関東-6	神奈川県横須賀市光の丘3-4	横須賀テレコムリサーチパーク(YRP)
信越	新潟 長野	信越-2	新潟県新潟市五十嵐2の町8050番地	新潟大学総合情報処理センター
		信越-3	長野県長野市大字川合新田3767-108	長野市フルネットセンター
		信越-4	長野県松本市和田4010-27	まつもと情報創造館
北陸	富山 石川	北陸-2	富山県富山市高田527	富山県総合情報センター
		北陸-3	石川県能美郡辰口町旭台2-1	石川ハイテク交流センター
東海	愛知 岐阜 三重	東海-3	愛知県名古屋市千種区不老町	名古屋大学大型計算機センター
		東海-2	岐阜県大垣市加賀野4丁目1番地の7	ソフトビニアジャパンセンター
		東海-4	三重県津市夢が丘1丁目1番地の1	三重県立看護大学
	近畿	近畿-1	滋賀県大津市瀬田月輪町	滋賀医科大学附属病院
近畿	京都	近畿-2	京都府相楽郡精華町光台1-7 けいはんなプラザ ラボ棟	けいはんな情報通信研究開発支援センター
		近畿-3	京都府京都市左京区吉田本町	京都大学
		近畿-4	大阪府茨木市美穂ヶ丘5-1	大阪大学サイバーメディアセンター
	大阪 兵庫 奈良 和歌山	近畿-5	兵庫県揖保郡新宮町光都1丁目2番1号	兵庫県立粒子線医療センター
		近畿-6	奈良県生駒市高山町8916-5	奈良先端科学技術大学院大学
		近畿-7	和歌山県和歌山市栄谷930	和歌山大学システム情報学センター
中国	岡山 鳥取 広島 山口	中国-3	岡山県岡山市天内田675番地	テレポート岡山ビル
		中国-4	鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101番地	鳥取大学総合情報処理センター
		中国-5	広島県東広島市鏡山1-4-2	広島大学総合情報処理センター
		中国-6	広島県広島市安佐南区大塚東3-4-1	広島市立大学情報処理センター
四国	徳島 愛媛	四国-3	山口県山口市熊野町1-10	ニューメディアプラザ山口
		四国-4	徳島県徳島市南常三島町2-1	徳島大学工学部
九州	福岡 佐賀 長崎 熊本 大分 宮崎 鹿児島 沖縄	四国-5	愛媛県松山市文京町3	愛媛大学総合情報処理センター
		九州-1	福岡県福岡市中央区天神2-5-35	NTT天神ビル(南館)
		九州-2	福岡県北九州市小倉北区浅野3丁目8-1 AIMビル	北九州情報通信研究開発支援センター
		九州-3	福岡県福岡市東区箱崎6-10-1	九州大学情報基盤センター
		九州-4	佐賀県佐賀市天神3-2-23	佐賀新聞社
		九州-5	長崎県長崎市文教町1-14	長崎大学総合情報処理センター
		九州-6	熊本県熊本市花畠町12-32(熊本テクノプラザ3F)	熊本テクノプラザ
		九州-7	大分県大分市東春日町51-6	大分第2ソフィアプラザビル
		九州-8	宮崎県宮崎市学園木花台西1-1	宮崎大学情報処理センター
		九州-9	鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24	鹿児島大学総合情報処理センター
		沖縄-1	沖縄県那覇市旭町1番地南部合同庁舎12階	沖縄情報通信研究開発支援センター
		沖縄-2	沖縄県名護市字豊原224-3	名護市マルチメディア館

検証センターには、JGN IPv6 ネットワークで導入したすべてのルータ装置が検証用に設置されており、JGN IPv6 の実ネットワークに適用する前に、ラボレベルでの検証を行うことが可能となっている。検証するべき項目としては、

- 装置単体の IPv6 機能の正確性の検証
- 装置単体での性能の評価
- マルチベンダ間での相互接続検証
- マルチベンダ間での性能評価
- 可用性や互換性についての検証
- 安定性、対故障性などの検証
- 冗長構成時の機能検証

などが考えられる。IPv6 対応の各社のルータ製品はかなり頻繁にバージョンアップを繰り返している。これは、少しでも新しいIPv6 の機能を取り入れよう

としている事と、ルータソフトウェアの実装上の不具合を短いサイクルで修正してきているためである。

評価・検証により得られた情報は、市場製品に反映できるように、可能な限りベンダーに直接フィードバックする方針が取られている。

インターネットでは、開発者が想定していなかつた運用形態が取られることがよくある。JGN IPv6 ネットワークでの、複数のネットワーク管理者からの直接的なフィードバックは、潜在的な問題を早期に発見が期待できる。

また、IPv6 の互換性や性能を評価するためのツールや計測システムもまだまだ不足している。WIDE プロジェクト [5] では、早くから IPv6 の研究開発に取り組んでいる。世界的にも有名な、FreeBSD や NetBSD などの PC-UNIX に対して IPv6 スタックを提供する

プログラムを開発しているKAMEプロジェクト[6]、Linuxを対象としたUSAGIプロジェクト[7]、IPv6の正確な実装検証を目的としたTAHIプロジェクト[8]などの取り組みがこれまでに行われてきている。JGN IPv6は、これらのプロジェクトとも、できるかぎりの連携、技術の共有化をはかり、早期のIPv6の普及に尽力する必要がある。そのためには、直接的な研究成果だけではなく、それを得るまでの過程についての情報の保存・共有が大変重要である。

6. IPv6 ネットワークの管理技術

IPv6に対応したネットワーク管理プロトコルであるSNMPv3[4]が標準化の途上であるため、各社のルータ製品には、IPv6ベースでのネットワーク管理機能がほとんど備わっていない。同様にIPv4の世界では、あたりまえのように利用できるネットワーク管理アプリケーションもほとんどの製品がIPv6に対応できおらず、IPv6アドレスを持つインターフェースのトラヒック情報の収集や128bit分のアドレス表記が正しくできないなど、現実的なネットワーク運用ができない状態にある。

そのためJGN IPv6ネットワークの運用に不可欠なツールやソフトウェアを独自に開発するところから始めなければならない。東京大手町に設置された”IPv6システム運用技術開発センター”は、運用管理に必要なソフトウェアの開発と、JGN IPv6ネットワークの実際の運用を担当している。

7. IPv4 から IPv6 への移行

より多くの研究機関がIPv6に関連する研究開発に参画できるように、JGNのIPv6対応では、47箇所にも及ぶアクセスポイントを整備している。全国にまたがるIPv6実証実験ネットワーク環境を整備することで、次世代インターネットの早期の実現や、超高速ネットワーク技術を利用する新産業の創出や雇用の確保につながることが、JGN IPv6ネットワークには期待されている。

インターネットの完全なIPv6への移行を考えると、現状のIPv4で実現できていることを、まずIPv6ネットワークでも実現できなければならない。

加えて、

- IPv4とIPv6アドレスの割り当ての方法
- ホストやルータのアップグレードや展開方法
- IPv6対応のDNSの展開方法
- 個々のサイトのIPv6への移行計画
- インターネット全体のIPv6への移行計画

が必要だと言われている。JGN IPv6ネットワークでは、構築したネットワークの運用を通じて、これらの検討項目についても解決方法を検討していく予定である。

運用管理、セキュリティ、負荷分散、ストリーム通信などを早期に実現するには、実用的な実験ネットワークが不可欠であると思われる。JGN IPv6ネットワークはこうした市場ニーズに答えることができる広域次世代型の実験ネットワークである。

また、構築したJGN IPv6ネットワークは、IPv6技術の習得の場としても期待されている。全国のJGN IPv6アクセスポイントの運用者は、このネットワークの運用を通じて、有益な経験をつめることを確信している。

謝 詞

JGN IPv6ネットワークの構築にかかわる機会を与えて頂いた、東京大学の江崎浩助教授、総務省、通信・放送機構の関係各位に心から感謝する。構築したJGN IPv6ネットワークは、ルータ設置サイトのネットワーク技術者を中心に、かなり多くの技術者によって運用されている。協力的にJGN IPv6の運用に参画いただいたネットワーク技術者各位に、この場を借りて感謝したい。

また、本論文中のネットワークトポジ図は、倉敷芸術科学大学大学院でIPv6ネットワークの運用を担当している三宅喬氏に作成していただいた。

文 献

- [1] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol Version 6(IPv6) Specification", IETF RFC2460, Dec. 1998.
- [2] A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol(ICMPv6)", IETF RFC2463, Dec. 1998.
- [3] TAO Home Page,"ギガビットネットワーク通信回線利用の手引き", <http://www.jgn.tao.go.jp/>, Sep. 2001.
- [4] J. Case, R. Mundy, D. Partain and B. Stewart, "Introduction to Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework", IETF RFC2570, Apr. 1999.
- [5] WIDEプロジェクトHome Page,"WIDE Project", <http://www.wide.ad.jp/>, 1994.
- [6] KAMEプロジェクトHome Page,"KAME Project", <http://www.kame.net/>, Dec. 1997.
- [7] USAGIプロジェクトHome Page,"Usagi Project", <http://www.linux-ipv6.org/>, 2000.
- [8] TAHIプロジェクトHome Page,"TAHI Project", <http://www.tahi.org/>, Oct. 1998.