

JGN IPv6 ネットワーク

小林 和真[†] 勝野 聡^{††} 中村 一彦^{††} 美甘 幸路^{††}
林 久善^{†††} 町澤 朗彦^{†††} 北辻 佳憲^{††††} 江崎 浩^{†††††}

JGN IPv6 Network

Kazumasa KOBAYASHI[†], Satoshi KATSUNO^{††}, Kazuhiko NAKAMURA^{††}, Yukiji MIKAMO^{††}, Hisayoshi HAYASHI^{†††}, Akihiko MACHIZAWA^{††††}, Yoshinori KITATSUJI^{†††††}, and Hiroshi ESAKI^{†††††}

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應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。IPv6 サービスを提供可能なアクセスポイントを、ルータ設置拠点 28 箇所を中心に、全国に 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、IPv6 システム評価検証センターが岡山と幕張 (分室) に、また、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、東京 (大手町) に設置されている。

本論文では JGN IPv6 ネットワークの概要として、ネットワーク構成、マルチベンダーによる IPv6 ルータ機器、アドレス空間、ルーティング等のネットワークの設定、公開アクセスポイントについて述べるとともに、本ネットワークの構築に際して新たに設置された IPv6 検証評価センター、IPv6 運用技術開発センターにおける研究開発について紹介する。加えて、IPv6 ネットワークの性能についても実際の測定結果を掲載する。

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

1. はじめに

次世代の超高速ネットワークの実現に向け、通信・

放送機構では、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た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 [1].

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、情報通信基盤として必要なセキュリティや信頼性などの機能と、インターネットの基本概念であるエンドエンドモデルを維持するために必要かつ十分なアドレス空間を提供することが可能であり、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

[†] 倉敷芸術科学大学, 倉敷市

Kurashiki University of Science and the Arts, Nishinoura
2640, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, 712-8505 Japan

^{††} 通信・放送機構, 東京都

Telecommunications Advancement Organization of Japan,
Shiba 2-31-19, Minato-ku, Tokyo, 105-0014 Japan

^{†††} 日立製作所, 神奈川県

Hitachi, Ltd., Enterprise Server Division, Horiyamashita
1, Hadano-shi, Kanagawa, 259-1392, Japan

^{††††} 通信総合研究所, 東京都

Communications Research Laboratory, Nukui-Kitamachi
4-2-1, Koganei-shi, Tokyo, 184-8795 Japan

^{†††††} KDDI 研究所, 埼玉県

KDDI R&D Laboratories, Inc. Ohara 2-1-15,
Kamifukuoka-shi, Saitama, 356-8502 Japan

^{††††††} 東京大学, 東京都

The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku,
Tokyo, 113-8656 Japan

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 澗 (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) [2], ICMPv6 (RFC2463) [3] など, 数年前にほぼ完了している。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況である。

JGN IPv6 ネットワークは, IPv4 ネットワークを介さない IPv6 対応機器のみによるネイティブな IPv6 ネットワークとして構築されている。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。

JGN IPv6 ネットワークの構築にあわせて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および幕張分室が, また, IPv6 対応ネットワーク機器の運用, 管理技術の開発のために, 東京 (大手町) に IPv6 システム運用技術開発センターが, それぞれ設置されている。

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 [4] 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. JGN IPv6 ネットワークの概要

2.1 ネットワークの構成

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

表 1 JGN IPv6 ネットワーク設置ルータ

Table 1 Routers in JGN IPv6 Network

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

- 29 箇所のブリッジ収容型サイトの合計 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 箇所のコアサイトのいずれかに接続されており, ブリッジ収容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 (図 1)。

2.2 マルチベンダー環境

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, 複数ベンダのルータを採用し, 各サイトの事情を考慮した上で, 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。

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行っている。

2.3 ネットワークの構築

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ポロジは, 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,

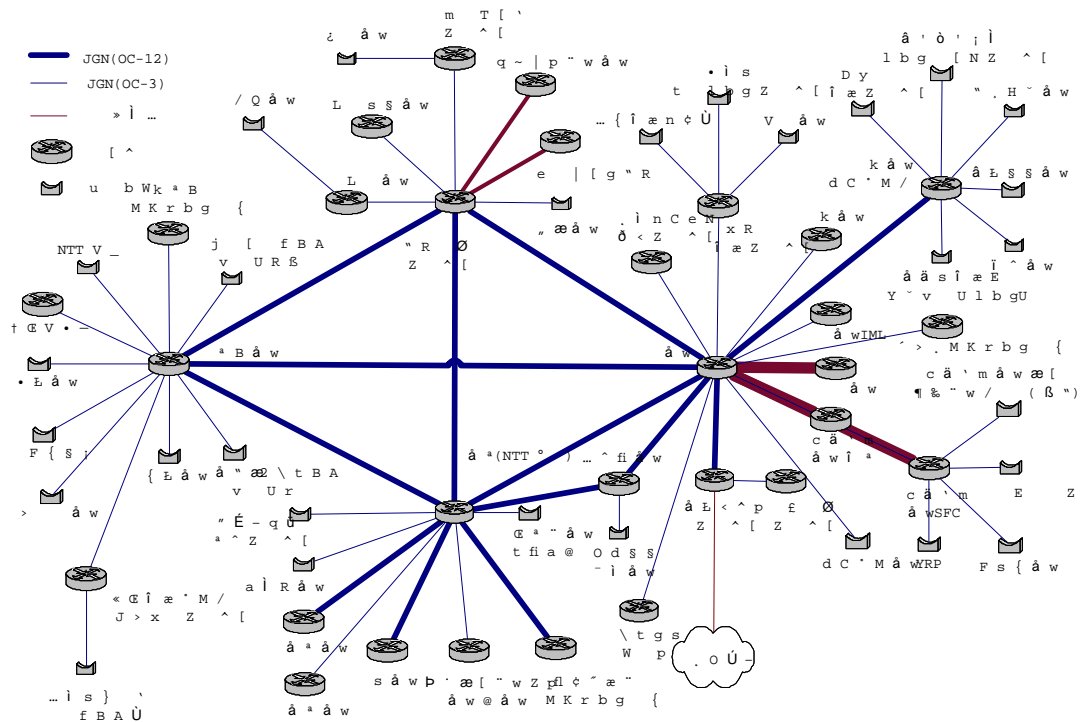


図1 JGN IPv6 ネットワークの構成
Fig.1 JGN IPv6 Network Topology

各ルータの IPv6 機能の実装の進捗に合わせて、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。

2.4 アドレス空間とルーティング

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 運用にかかわ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。

運用開始時点の 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-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している。

3. 機器整備状況

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。各ルータ設置型サイトでは、 $1/48$ 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ている。

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、いず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。

4. ネットワーク運用方針

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わることで、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。

インターネットでは、開発者が想定していなかっ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。

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 [6] 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 [7]、Linux を対象とした USAGI プロジェクト [8]、IPv6 の正確な実装検証を目的とした TAHI プロジェクト [9] 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。

5. 相互接続性の検証

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。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。

そこで、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。

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。

表 2 JGN IPv6 アクセスポイント設置場所
Table 2 JGN IPv6 Access Points

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-4	北海道岩見沢市有明町南 1-20	岩見沢市自治体ネットワークセンター
東北	青森 岩手 宮城 山形 福島	東北-6	青森県八戸市大字妙字大開 88-1	八戸工業大学
		東北-3	岩手県岩手郡滝沢村滝沢字菓子 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	東北大学情報シナジーセンター
		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-8	山形県鶴岡市馬場町 13-17	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 東京	関東-9	栃木県宇都宮市陽東 7-1-2	宇都宮大学総合情報処理センター
		関東-10	群馬県高崎市八島町 70	ラ・メルセ
		関東-2	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
		関東-4	東京都文京区弥生 2-11-16	東京大学インテリジェントモデリングラボラトリー
	神奈川	関東-6	東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1	電気通信大学総合情報処理センター
		関東-7	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	愛知県名古屋市中千種区不老町	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	ソフトピ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	滋賀 京都	近畿-6	滋賀県大津市瀬田月輪町	滋賀医科大学附属病院
		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
	大阪 兵庫 奈良 和歌山	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
		近畿-7	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-5	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-8	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	岡山県岡山市大内田 675 番地	テレポート岡山ビル
		中国-5	鳥取県鳥取市湖山町南 4-101	鳥取大学総合情報処理センター
		中国-4	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
		中国-7	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	徳島 愛媛	四国-3	徳島県徳島市南常三島町 2-1	徳島大学工学部
		四国-4	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・沖縄	福岡	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
	佐賀 長崎 熊本 大分 宮崎 鹿児島 沖縄	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	熊本県熊本市花畑町 12-32	熊本県庁
		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		

6. IPv6 ネットワークの管理技術

JGN IPv6 ネットワークは、複数の商用ルータを用いたマルチベンダーの実証ネットワークであり、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。

IPv6 に対応したネットワーク管理プロトコルである SNMPv3 [5] は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構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 に対応できておらず、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。運用技術開発センターでは、JGN IPv6 ネットワークの運用管理業務として、以下のような業務を行っている。

- IPv6 アドレスの管理とアドレスの付与
- ネットワーク構成の管理と経路制御情報の監視
- IPv6 ネームサーバ、WEB サーバ等の管理
- 他の IPv6 ネットワークとの相互接続

また、IPv6 ネットワークの運用上必要となるネットワーク管理ツール、トラヒック収集・監視システムの開発を行っており、IPv6 ルータおよびサーバから運用情報を収集し、ルータおよびネットワークの監視、サーバ機器の動作監視、運用情報の解析などを実現する予定である。

7. IPv6 ネットワークの性能評価

先に述べたように、ルータベンダー各社の IPv6 への取り組みの違いにより、商用ルータ装置の中には、JGN IPv6 ネットワークの試験運用開始時において、IPv6 パケットのルーティング性能が、IPv4 のそれに比べて相当劣る機器も存在していた。しかしながら、JGN IPv6 ネットワークでは、ルータ装置の実運用と、岡山検証センターにおけるルータ検証試験を通して得られた実験結果を各ルータベンダーへフィードバックしており、各ベンダーから、問題を解決した最新のソフトウェアの提供を受けることにより、現在運用中の JGN IPv6 ネットワークにおいては、各社のルータ装置は、ほぼ IPv4 利用時と遜色のない性能を示している。

ここでは、JGN IPv6 ネットワークにおいて実施した実ネットワークにおける性能測定の結果を示す。測定対象として、JGN IPv6 ネットワークの TAO 北九州情報通信開発支援センターと TAO 大手町運用技術開発センターとの間の回線を選んでいる。測定対象と

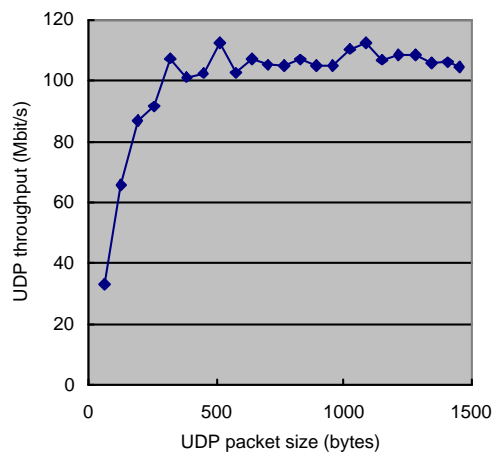


図 2 JGN IPv6 ネットワークの性能 — UDP
Fig. 2 JGN IPv6 Network Performance — UDP

なる回線の経路は、(TAO 北九州)-(九州大学)-(東京大学)-(TAO 大手町)のように接続されており、経路上には、複数のベンダーによる 4 台の商用 IPv6 ルータ装置が使用されている。回線速度は、TAO 北九州と九州大学の間が OC-3(135Mbit/s)、その他の回線は OC-12(540Mbit/s)である。

PING により測定した RTT(Round trip time)は、約 20 ミリ秒であり、この値は、パケットサイズを 64 バイトから 1500 バイトまで変化させても、ほぼ一定であった。測定方法として、IPv6 対応 netperf を用いて、Gigabit Ethernet インターフェースを持つ FreeBSD 搭載 PC の間で、UDP と TCP のそれぞれについてスループットを測定した。

7.1 JGNv6 の UDP 性能

IPv6 UDP によるスループットの測定結果を図 2 に示す。パケットサイズ(UDP のペイロード長)を変化させ、IPv6 対応 netperf により 10 秒間連続してパケットを流した場合のスループットを示している。本測定では、パケットサイズを約 500 バイト以上にすると、100Mbps 以上のスループットが得られており、それ以上パケットサイズを大きくしても、スループットは回線速度によって制限されていることが読みとれる。この結果から、測定経路上のルータ性能は十分なパケット処理能力を持ち、本測定において性能上のボトルネックになっていないことが分かる。

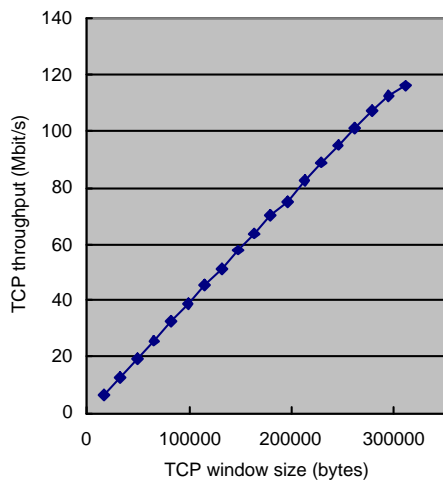


図3 JGN IPv6 ネットワークの性能 — TCP
Fig. 3 JGN IPv6 Network Performance — TCP

7.2 JGNv6 の TCP 性能

UDP の性能測定と同様に、IPv6 TCP によるスループット測定結果を図3に示す。送受信 PC の TCP ウィンドウサイズを変え、IPv6 対応 netperf により 60 秒間パケットを流した場合のスループットを示している。本測定の結果では、設定した TCP ウィンドウサイズに比例してスループット値が上昇していく様子が読みとれる。ウィンドウサイズを約 300KB にすると、ほぼ 120Mbps 以上のスループットが得られた。この時 RTT とウィンドウサイズから計算される最大スループットは、 $300 \text{ kbyte} \times 8 / 20 \text{ msec} = 120 \text{ Mbit/s}$ であり、ほぼ実際の測定結果と一致している。この結果からも、測定経路上の各ルータ装置は、JGN IPv6 ネットワークにおいて十分な性能を保持していると言える。

8. むすび

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。

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。

今後、本ネットワークでは、海外を含めた他の IPv6 ネットワークとの相互接続を積極的に進め、運用管理に関する技術検証を行っていくとともに、IPv6 ネットワーク機器の性能評価と相互接続性の検証結果を産業界にフィードバックして、IPv6 技術の普及につとめる予定である。

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。

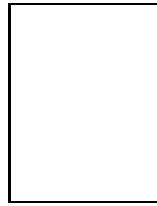
謝 辞

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、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。

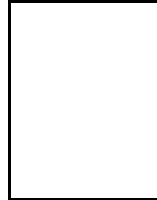
文 献

- [1] TAO Home Page, "Japan Gigabit Network", <http://www.jgn.tao.go.jp/>.
- [2] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol Version 6(IPv6) Specification", IETF RFC2460, Dec. 1998.
- [3] A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol(ICMPv6)", IETF RFC2463, Dec. 1998.
- [4] TAO Home Page, "研究用ギガビットネットワークにおける IPv6 サービスの試験運用の開始について", http://www.jgn.tao.go.jp/org/jec/ipv6_start.html, Sep.

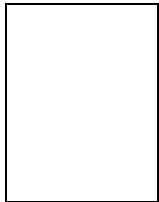
- 2001.
- [5] J. Case, R. Mundy, D. Partain and B. Stewart, "Introduction to Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework", IETF RFC2570, Apr. 1999.
- [6] WIDE プロジェクト Home Page, "WIDE Project", <http://www.wide.ad.jp/>, 1994.
- [7] KAME プロジェクト Home Page, "KAME Project", <http://www.kame.net/>, Dec. 1997.
- [8] USAGI プロジェクト Home Page, "Usagi Project", <http://www.linux-ipv6.org/>, 2000.
- [9] TAHI プロジェクト Home Page, "TAHI Project", <http://www.tahi.org/>, Oct. 1998.
- (平成 x 年 xx 月 xx 日受付)



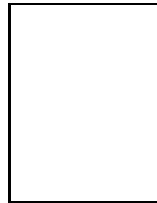
林 久善 (正員)



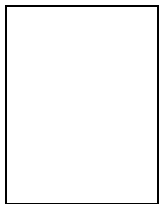
町澤 朗彦 (正員)



小林 和真 (正員)



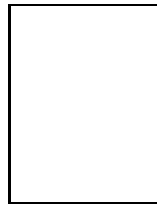
北辻 佳憲 (正員)



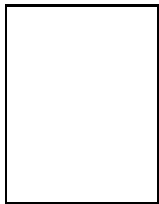
勝野 聡 (正員)

平元東大・工・電気卒，平 3 同大大学院修士課程了。同年国際電信電話 (現 KDDI)(株) 入社。以来、画像通信及び画像処理，IP トラフィック収集等に関する研究に従事。現在、通信・放送機構大手町 IPv6 システム運用技術開発センター研究員。平

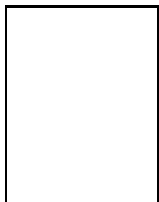
9 本会学術奨励賞受賞。



江崎 浩 (正員)



中村 一彦 (正員)



美甘 幸路 (正員)