

# JGN IPv6 ネットワーク

インターネットにおける IP アドレス枯渇問題、経路増大問題などに対応するため、IP version 6 (IPv6) の研究開発が進められている。

TAO (通信・放送機構) は、国際的に通用する次世代のインターネット技術のための広域実験ネットワークとして、JGN (Japan Gigabit Network) の IPv6 への対応を実施し、世界に類のないマルチベンダの商用ルータによる IPv6 ネットワークを構築した。IPv6 サービスが提供可能なアクセスポイントを、ルータ設置拠点 28 カ所を中心に全国に 47 カ所展開させており、IPv6 への早期の移行、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になっている。

本稿では JGN IPv6 ネットワークについて、その概要、運用状況、研究開発について述べるとともに IPv6 ネットワーク利用実験について紹介する。

**小林和真** 倉敷芸術科学大学  
kazu-k@soft.kusa.ac.jp

**勝野 聡** 通信・放送機構  
katsuno@jgnv6.jp

**美甘幸路** 通信・放送機構  
yuki@jgnv6.jp

**江崎 浩** 東京大学  
hiroshi@wide.ad.jp

## JGN IPv6 ネットワークについて

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て、研究開発用ギガビットネットワーク (JGN: Japan Gigabit Network)<sup>1)</sup> を構築し、大学・研究機関、行政機関、地方自治体、企業などに開放している。この JGN に、次世代インターネットの通信規格である IPv6 (Internet Protocol Version 6) 技術に関するさまざま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、2001 年 10 月 1 日より JGN IPv6 ネットワークとして運用を開始した。

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ツー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 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。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 (RFC 2460)<sup>2)</sup> 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、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<sup>3)</sup> 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。また、JGN IPv6 ネットワークの構築に合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 ネットワークの概要

### ● ネットワーク構成

JGN IPv6 ネットワークは、IPv4 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が、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。JGN 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 カ所のルータ設置型サイト
- 29 カ所のブリッジ収容型サイト

の合計 57 カ所である。

運用開始時点の JGN IPv6 ネットワークの接続構成を図-1 に示す。

ルータ設置型サイトのうち、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 カ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 JGN ATM (OC-12) により接続され、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型サイトは、基本的には 4 カ所のコアサイトのいずれかに接続されており、ブリッジ収容型サイトはいずれかのルータ設置型サイトに接続されている。

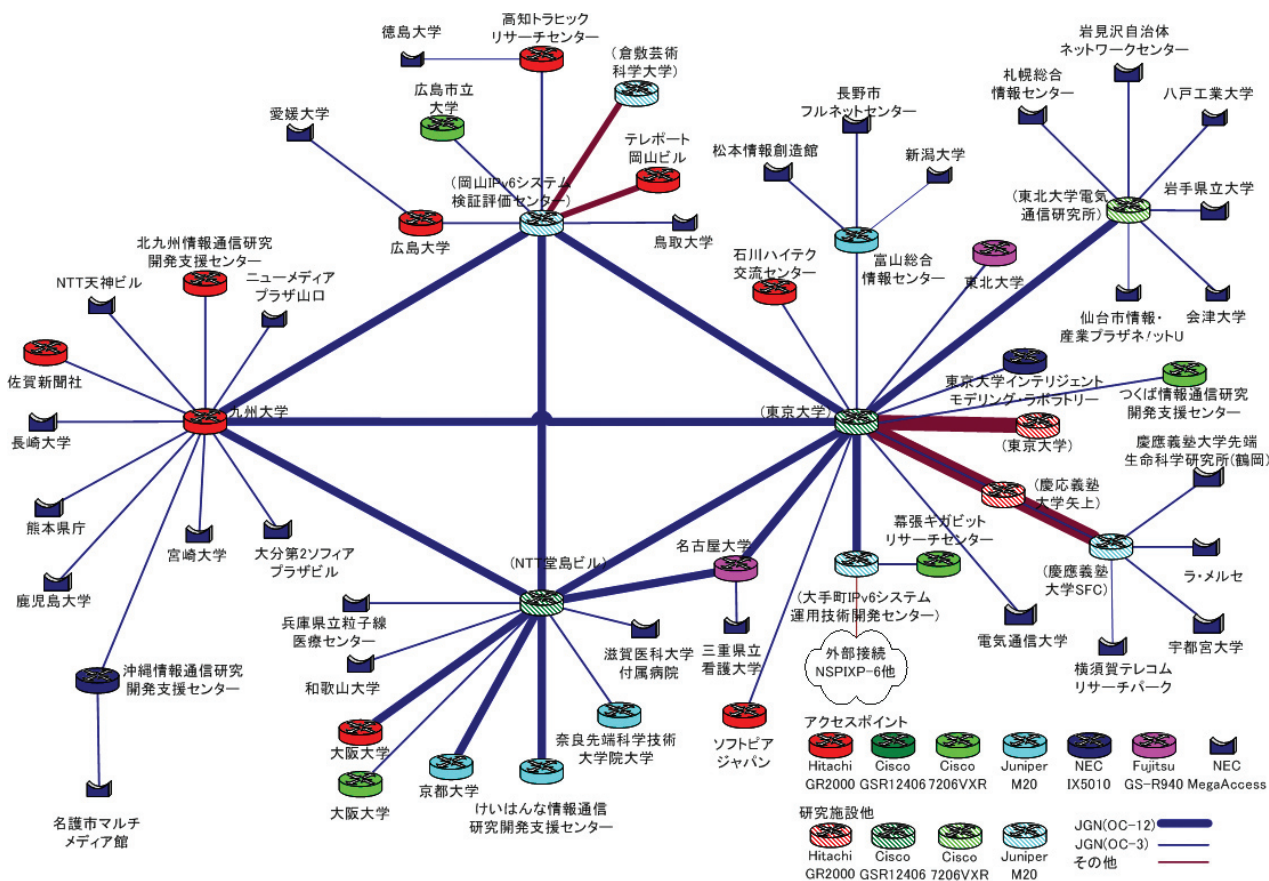


図-1 JGN IPv6 ネットワークの接続構成

## ●マルチベンダ環境

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。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 ネットワークにおいて導入されたルータの製品名と台数を表-1 に示す。

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する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。

## ●ネットワークの特徴

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

ベンダ名	製品名	設置台数
Cisco System	GSR12406	3 台
	7200VXR	6 台
Juniper Networks	M20	8 台
日立製作所	GR2000-6H	13 台
富士通	GeoStream R-940	3 台
日本電気	IX5010	3 台

表-1 JGN IPv6 ネットワークに導入されたルータ

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、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2つの方法と、ATM パ

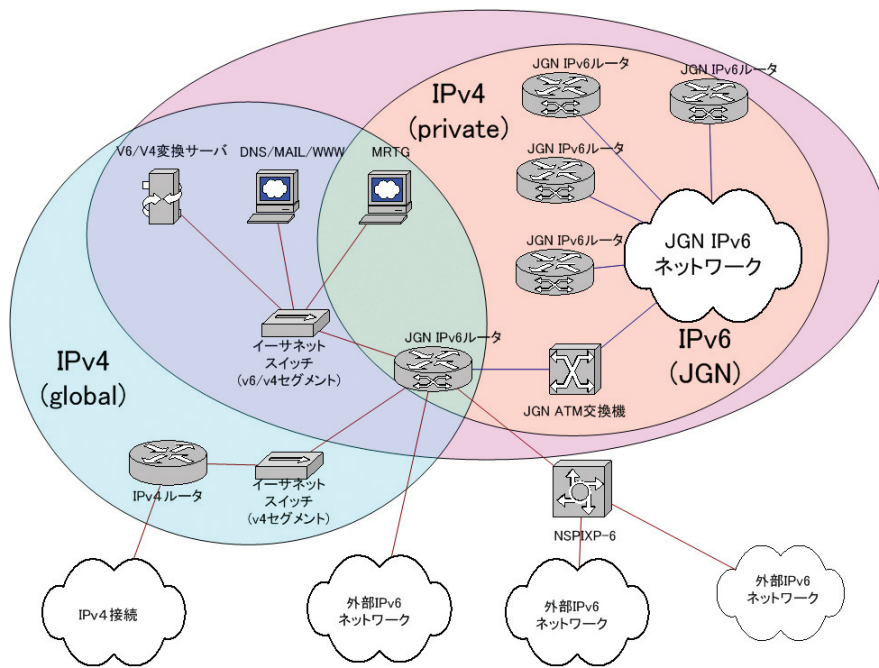


図-2 JGN IPv6 ネットワークの接続形態

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。

## ●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1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。

## ●外部接続とデュアルスタック運用

JGN IPv6 ネットワークの接続形態を図-2に示す。東京大手町の IPv6 ルータにおいて WIDE NSPIXP-6<sup>4)</sup> と対外接続を行い、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。

JGN IPv6 ネットワークは IPv6 接続サービスを提供しているが、外部接続点に設けた IPv6/v4 デュアルスタックのセグメント上に KAME プロジェクト開発の IPv6/v4 プロトコル変換サーバを設置し、JGN IPv6 ネットワーク上のホストから外部の IPv4 ネットワークへの接続が可能になっている。また、KAME プロジェクト<sup>5)</sup> 開発の IPv6 プロトコルスタックを用いた DNS サーバ、WWW サーバ、メールサーバを稼働させ、各ルータ設置サイトの管理者向け情報などを提供している。

さらに、米国の次世代 Internet である Abilene がネイティブ IPv6 ネットワークとして稼働するのに伴い、JGN IPv6 との相互接続がなされている。

## ●アクセスポイント

57カ所の接続ポイントのうち、直轄研究施設などの一部のサイトを除いた47カ所が、アクセスポイントとして公開されている。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。

ルータ設置型サイトのネットワーク接続構成を図-3に示す。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 スイッチの 10/100BASE-T ポートに接続する。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ている。

ブリッジ収容型サイトのネットワーク接続構成を図-4に示す。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



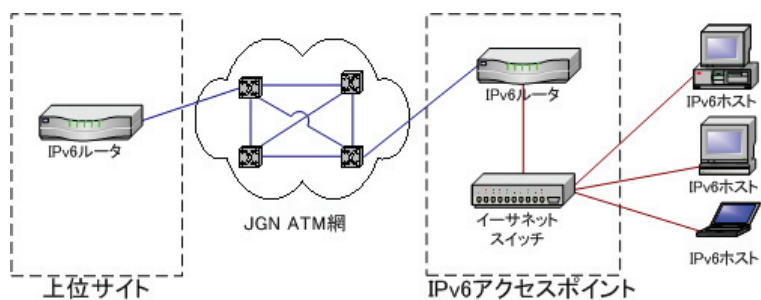


図-3 ルータサイトの構成

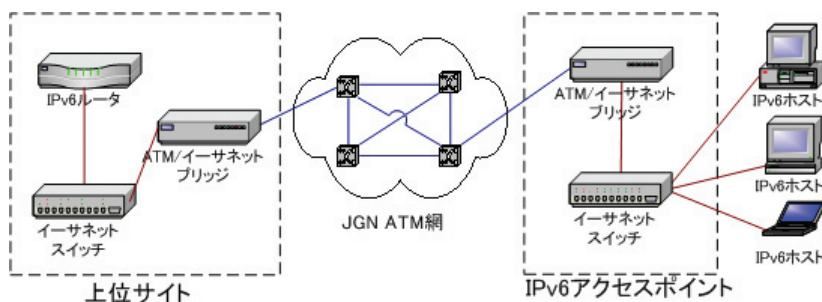


図-4 ブリッジサイトの構成

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と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、潜在的な問題の早期発見が期待できる。

## JGN IPv6 ネットワークにおける研究開発

### ● IPv6 ルータの相互接続性の検証

現状の IPv6 対応のルータ装置は、必ずしも良好なマルチベンダ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がまだ存在していない。このため、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よく似た状態にある。

そこで、JGN IPv6 ネットワークでは、さまざまなベンダ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。

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ことと、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、可能な限りベンダに直接フィードバックする方針がとられている。

### ● 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<sup>5)</sup> 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 の世界では当たり前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フェースのトラフィック情報の収集や 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。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、トラフィック収集・監視システムの開発を行っている。

### ● IPv6 ネットワーク情報管理ツール JaNI

IPv6 関連の管理情報ベースの実装は全般に遅れており、通信部分の IPv6 化だけを推し進めても IPv6 ネットワークに関して管理を満足に行い得る情報を収集できない現状が明らかになっている。

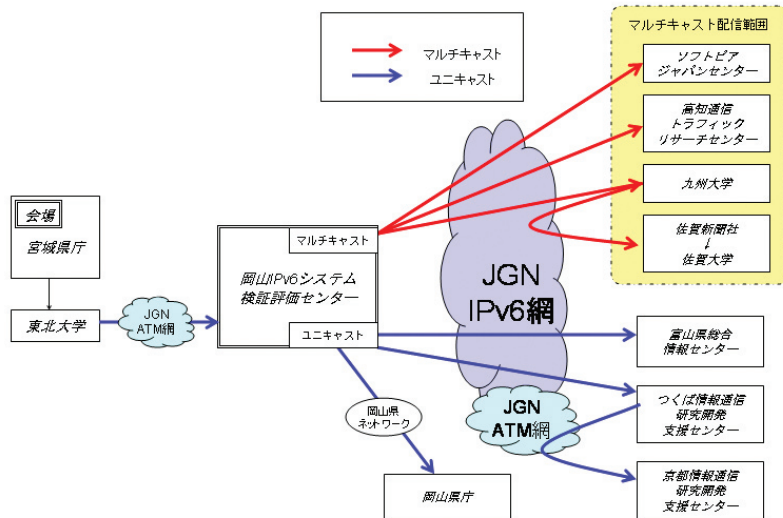


図-5 みやぎ IT フォーラムにおける IPv6 マルチキャスト実験

## ●みやぎ IT フォーラムにおける IPv6 マルチキャスト実験

通信・放送機構および JGN IPv6 ネットワーク運用チームは、2002年5月に開催された IT フォーラムにおいて、IPv6 商用ルータによる IPv6 マルチキャスト実験を実施した。みやぎ IT フォーラムは、宮城県などが主催する地方におけるブロードバンドネットワークの構築と活用のためのフォーラムである。同会議において、JGN IPv6 網を用いてマルチキャストとユニキャストを混在した映像配信実験を実施した。本実証実験は IPv6 を用いたマルチキャスト配信技術の実証を世界に先駆けて実施したものである。

また、比較的自由に観測場所を設定できる管理エージェントとしては RMON がすでに存在するが、フィルタ等の設定が煩雑であり取り扱いが困難なこと、IPv6 に対応（通信・情報収集とも）した RMON はまだ存在しないことから、現状では IPv6 管理に RMON を用いることは不可能である。

そこで、JGN では IPv6 対応情報管理ツール JaNI (Japan gigabit Network Information system) および、新たな管理エージェントであるマルチプロトコルトラフィック情報収集エージェントを開発している。このエージェントはネットワーク上のトラフィックを受動的に観測し、情報を管理アプリケーションに提供する。外部への情報提供のためには SNMP を用いることが適当であると判断し、CpMonitor MIB を開発している。

本エージェントは通信部分も IPv6/IPv4 両対応となっており、通信・放送機構ギガビットネットワーク研究プロジェクト東北大学分室に構築されている JGN-IPv6 ネットワークをテストベッドとして本格的な評価実験を行うための実験システムを構築した。本エージェントを用いて、IPv6/IPv4 それぞれにおける、IP・TCP・UDP・ICMP それぞれの通信量・パケット数、および、指定したアプリケーションごとの通信量・パケット数等を得ることができる。

## JGNv6 ネットワークの利用

JGN IPv6 ネットワークでは、IPv6 ネットワークの実用化のための一環として、さまざまな利用実験を実施してきている。ここでは、JGN IPv6 ネットワークを用いた利用実験として、「みやぎ IP フォーラム」における IPv6 マルチキャスト実験と「四国四県連携 e- 会議」における双方向遠隔会議について紹介する。

IPv6 マルチキャスト機能は、本フォーラム開催時点では、JGN IPv6 ネットワークに導入されたすべてのルータに実装されていない。そこで、本実験のために、IPv6 マルチキャストのための臨時ネットワークを構成した。実験ネットワークの構成を図-5に示す。本実験ネットワークは、岡山 IPv6 システム検証評価センターを中心に、それぞれ4カ所のマルチキャスト配信先とユニキャスト配信先を接続している。本フォーラム会場となる宮城県庁から JGN の ATM 網を使って岡山検証評価センターへ映像を伝送し、岡山検証評価センターからマルチキャストを用いた映像配信実験を実施した。

## ●四国四県連携 e- 会議における双方向遠隔会議

通信・放送機構および JGN IPv6 ネットワーク運用チームは、2002年6月に開催された四国「四県連携 e- 会議」において、JGN IPv6 ネットワークを用いた4地点間を同時に結んだ双方向会議の実現に協力している。四県連携 e- 会議は、総務省四国総合通信局、ギガビットネットワーク四国連絡協議会が主催する、四国各県（香川県、徳島県、愛媛県、高知県）の情報担当関係者、大学の研究者による双方向遠隔会議である。各県には、それぞれ JGN のアクセスポイント（四国1～4）が設置されておりそのうち四国-3と四国-4において JGN IPv6 サービスを提供しているが、IPv6 サービスを提供していない県もある。そこで、本会議の開催にあたり、JGN IPv6 ネットワークを拡張し、各アクセスポイントと、会議会場となる各県の大学を結ぶ IPv6 ネットワークを構築した。会場としてはアクセスポイントとの接続を考慮して、香川大学、徳島大学、愛媛大学、高知工科大学が選ばれた。

四国-1に設置された ATM 交換機を介して、四国-2

から四国-4までのアクセスポイントおよび通信・放送機構の高知通信トラヒックリサーチセンターの間にATMパスを設定し、e-会議用のネットワークを構築した。次に、高知通信トラヒックリサーチセンターに設置されたIPv6ルータからIPv6アドレス空間を割り当てた。映像伝送方式として、デジタルビデオ転送システム(DVTS)を用い、四国-4と接続された愛媛大学と他の3大学との間でデジタルビデオの伝送を行い、愛媛大学において映像の合成と再配信を行った。これにより、テレビ品質の映像を用いて、四県の4つの会場において、双方向の遠隔会議を実現した(図-6)。

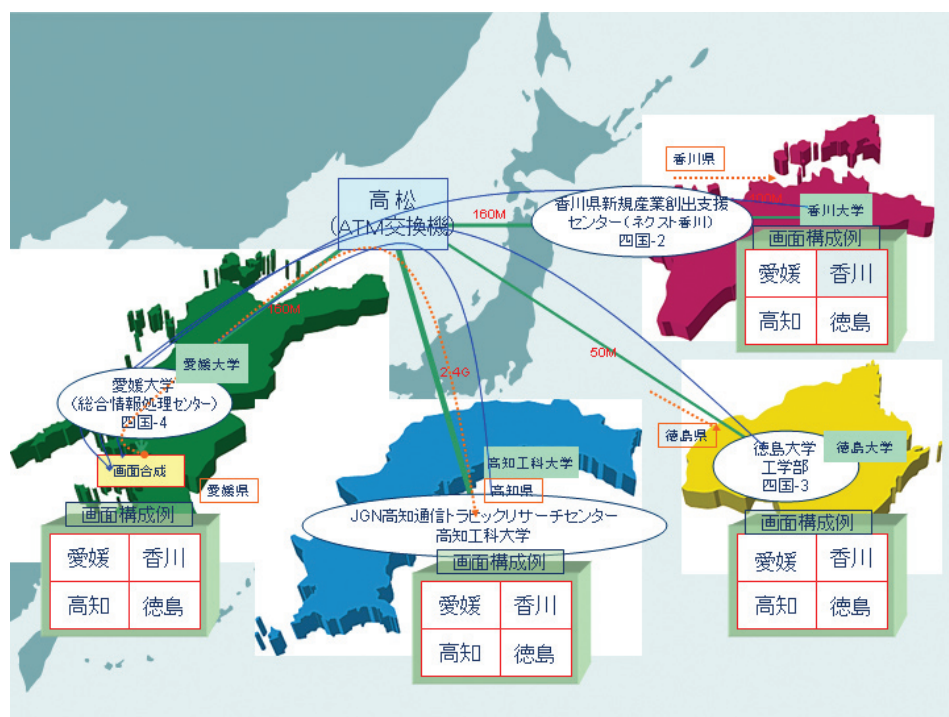


図-6 四国四県連携 e-会議のネットワーク

## 今後の展望

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カ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事が、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

が必要だといわれている。

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、有益な経験を積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総務省、通信・放送機構関係各位、および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感謝する。

### 参考文献

- 1) 通信・放送機構: Japan Gigabit Network, <http://www.jgn.tao.go.jp/>
- 2) Deering, S. and Hinden, R.: Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, IETF RFC2460 (Dec. 1998).
- 3) 通信・放送機構: 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\\_tec/ipv6\\_start.html](http://www.jgn.tao.go.jp/org_tec/ipv6_start.html) (Sep. 2001).
- 4) WIDEプロジェクト: NSPIXP-6, IPv6-based Internet Exchange in Tokyo, <http://www.wide.ad.jp/nspixp6/>
- 5) KAMEプロジェクト: KAME Project, <http://www.kame.net/> (Dec. 1997).
- 6) Case, J., Mundy, R., Partain, D. and Stewart, B.: Introduction to Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, IETF RFC 2570 (Apr. 1999).

(平成14年9月20日受付)