

第XIX部

JGNv6プロジェクト

第19部 JGNv6プロジェクト

第1章 概要

JBプロジェクトは、1998年に、WIDEプロジェクト、ITRC、CKP(サイバー関西プロジェクト)が中心となって、広帯域/高機能の研究テストベッドの構築を行い、それをを用いた研究開発ならびに実証の実験を展開推進するために、発足させた研究開発プロジェクトである(代表:慶應義塾大学 村井純教授)。JBプロジェクトは、国際的には、APAN、A13、APIIなどとの協力をを行いながら、国際的先進研究開発テストベッドの1つの拠点として、国際接続ならびに国際的な共同研究開発を行うことを目指している。本年度も数多くの研究開発の成果を得ることができた。本年度は、JBプロジェクトの活動の技術的な成果とプロジェクトの運用コミュニティの形成という成果を用いて構築された、通信放送機構が運営するジャパングガビットネットワーク上のIPバージョン6網(JGN IPv6)の概要を報告するとともに、本JGN IPv6網を用いて広く利用されるようになったDVTS技術の評価に関する報告を行っている。

第2章 JGN IP version 6 Network の設計と構築

2.1 背景と概要

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。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。

本セクションでは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、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項目のいくつかを簡単に紹介する。さらに、IPv6ネットワークの性能についても実際の測定結果も示す。

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。

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、それぞれ設置された。

2.2 JGN IPv6 ネットワークの概要

2.2.1 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
- 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 ヶ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 2.1）。

2.2.2 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 2.1 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。

2.2.3 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

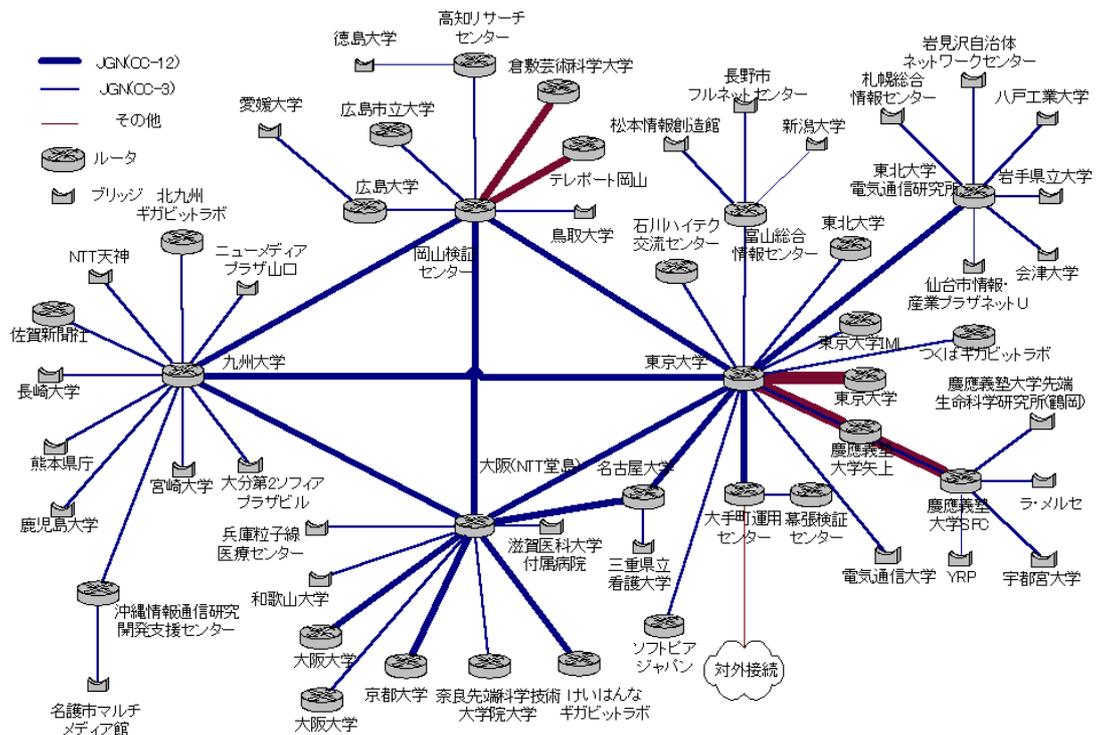


図 2.1. JGN IPv6 ネットワークの構成

表 2.1. JGN IPv6 ネットワーク設置ルータ

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

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、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、バックボーンのは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。

2.2.4 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(Autonomus 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) と接続するとともに、米国 Internet2(Abeline)IPv6 網との相互接続を CRL 殿および NTT Communications 殿のご協力により実現しており、世界規模の IPv6 実験ネットワークである 6Bone とも広帯域なリンクを持ちてネイティブでの相互接続を行っている。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。

2.3 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 2.2 参照)。各アクセスポイントでは、Ethernet(10/100 Mbps) 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、/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。

表 2.2. 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-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
		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 神奈川	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
		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
		近畿-3	京都府京都市左京区吉田本町	京都大学
	大阪 兵庫 奈良 和歌山	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
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
		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
	佐賀	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
	熊本	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
	宮崎	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	沖縄	沖縄-1	沖縄県那覇市旭町 1 番地南部合同庁舎 12 階
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

2.4 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。JGN IPv6 ネットワークでは、JB プロジェクトのテストベッドの構成をコアとして、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。

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/JB プロジェクトでは、早くから IPv6 の研究開発に取り組んできた。JGN IPv6 は、JB プロジェクトおよび WIDE プロジェクトとの連携と技術の共有化をはかり、早期の IPv6 の普及に尽力することを目指している。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・共有が大変重要となる。

2.5 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た。

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

などが当初の目標として考えられる。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。

2.6 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つい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 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フィック情報の収集や 128 bit 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、以下のような管理を行っている。

- 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、トラフィック収集・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。

2.7 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(135 Mbit/s)、その他の回線は OC-12(540 Mbit/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。

2.7.1 JGNv6 の UDP 性能

IPv6 UDP によるスループットの測定結果を図 2.2 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、100 Mbps 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。

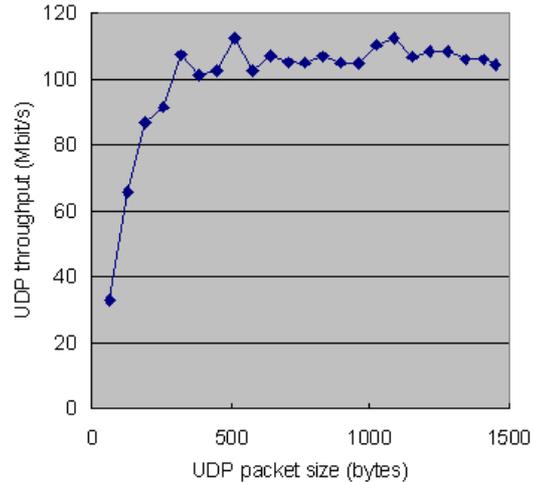


図 2.2. JGN IPv6 ネットワークの性能 — UDP

2.7.2 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 2.3 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 300 KB にすると、ほぼ 120 Mbps 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、 $300 \text{ kbyte} \times 8 / 20 \text{ ms} = 120 \text{ Mbit/s}$ 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。

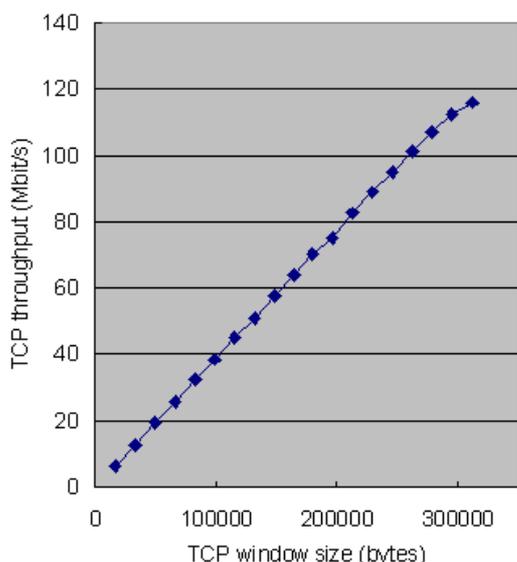


図 2.3. JGN IPv6 ネットワークの性能 — TCP

2.8 まとめ

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ものが 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

に関する検討と方法論および技術の確立が重要な使命となる。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、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。

第 3 章 IP バージョン 6 網上でデジタルビデオ映像の転送

3.1 概要と背景

DV 映像伝送アプリケーションは WIDE プロジェクトの研究者が研究開発したシステムであり、家庭用デジタルビデオカメラやビデオデッキを利用して、通常のテレビ品質に匹敵する映像をインターネットでやりとりすることを可能にするものである。必要な伝送帯域は、既存のインターネット上のビデオアプリケーションより遥かに大きい、高価なハードウェアを必要とする必要もなく、また伝送品質も非常に高い。一方、次世代インターネット技術として研究開発がすすめられている IP version 6 (IPv6) の普及により、家電機器を含むコンピュータ以外のさまざまな機器がインターネットに接続され、いままでないアプリケーションが登場することが予想される。DV 映像伝送アプリケーションも、IPv6 対応がおこなわれており、Japan Gigabit Network (JGN) IPv6 ネットワークにおける映像伝送実験が行われている。本セクションでは、DV 映像伝送アプリケーションについて紹介し、その概要や特徴、IPv6 対応の実装等についての概要を報告する。

3.2 Digital Video(DV) の仕様

Digital Video(DV) は、民生用の高画質デジタル

表 3.1. 動画像の品質と情報量

種別 (品質)	画素数	ライン数	フレーム数 (1 秒あたり)	輝度・色差	情報量 (バイト/時間)	伝送速度 (bps)
VTR 品質 (VHS 相当)	360	240	30	4:2:0	14 G	30 M
現行テレビ (受信品質)	720	480	30	4:2:0	54 G	120 M
現行テレビ (スタジオ品質)	720	480	30	4:2:2	97 G	216 M
HDTV (スタジオ品質)	1920	1080	30	4:2:2	540 G	1.2 G

表 3.2. DV と他の主な符号化方式の比較

方式名	符号化方式	ビットレート (bps)	品質	伝送媒体
DV	DCT	30 M	テレビ品質	高速インターネット
MPEG-2	MC + DCT	10 M	テレビ品質	DVD、ATM
MPEG-4	MC + DCT	5 k-4 M	TV 電話-VTR	移動体
MPEG-1	MC + DCT	1.5 M	VTR 品質	CD-ROM
H.261	MC + DCT	64 k	TV 電話	ISDN
H.263	MC + DCT	32 k	TV 電話	アナログ電話

ビデオの規格である。DV は、テレビ品質 (720×480 画素) の映像情報をデジタル圧縮したもので、映像はフレーム内圧縮で、音声は PCM(12 または 16 ビット) である。また、DV は IEEE1394 インターフェースを介して映像機器とコンピュータとの間のデータのやりとりが可能である。

動画像の符号化技術については、品質と情報量によって分類できる。動画像の品質と情報量を表 3.1 に、DV と他の主な符号化方式の比較を表 3.2 に示す。

DV の符号化方式としての特徴は、動画像符号化においては、フレーム内の予測符号化のみを使用し、フレーム間の予測符号化を行わないため、各フレームが独立であるという点にある。

デジタル動画像は通常、高さを持つフレームから構成され、1 フレーム中の画素数・ライン数、および 1 秒毎に伝送されるフレーム数が元の動画像が持つ情報量となる。表 3.2 に示すように、DV を除く動画像符号化の国際標準方式は、すべて MC + DCT を用いている。MC(Motion Compensation) は、フレーム間の動き予測をおこなって符号化効率を上げるものであり、ほとんどの映像符号化方式はこれを採用している。これに対して、DCT(Discrete Cosine Transform) は、静止画像の符号化方式 (JPEG など)

にも採用されているフレーム内の符号化技術である。DV は、DCT のみを採用することにより、他の国際標準符号化方式に比べて、圧縮率は高くないが、特殊なハードウェアの必要なしに高速な符号化・復号を実現でき、記録した映像の編集が容易であるという特徴を持つに至った。この特徴をインターネットにおける映像伝送方式として見ると、必要とする回線容量は大きい、家庭用ビデオカメラ等で利用できる、かつ、テレビ品質の映像を容易に伝送できるという大変都合のよいものである。

3.3 DV 映像伝送システム

3.3.1 DV 映像伝送システムの構成

DV を用いた映像伝送ネットワークの例を図 3.1 に示す。

データ送信側は、ライブ映像などを DV デジタルビデオカメラから撮影し、DV 符号化されたデータを IEEE 1394 インターフェースを用いて送信側の PC に入力する。送信側の PC では、DV データを IP パケット化して、インターネット上で伝送する。

データ受信側 PC は、送信側 PC から IP パケット化された符号化データを受信し、送信側 PC とは逆に、IEEE 1394 インターフェースを介して符号化

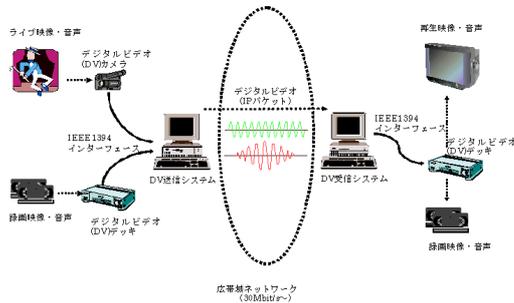


図 3.1. DV 映像伝送ネットワーク

されたデータをデジタルビデオデッキなどの DV 機器に出力する。そこで復号された映像が出力される。

一般の DV デジタルビデオカメラや DV デジタルビデオデッキは、IEEE 1394 インターフェースをとおして、DV 符号化されたデータを入出力することが可能である。このため、他の MPEG-2 などの符号化方式を用いた同様のシステムと異なり、DV 映像伝送システムでは、送信側、受信側の PC は、映像信号圧縮、伸張のための高価なハードウェアを装備する必要が無く、また、ハードウェアのドライバも、特殊なものはない。

DV 映像伝送システムのために必要な機器は、DV 対応デジタルビデオカメラおよびデジタルビデオデッキのほかには、IEEE 1394 インターフェース、ファースト・イーサネットカードなどの DV データを送受信するに十分な性能を持つネットワークインターフェースがあればよく、他の映像伝送システムに比べて遥かに実装が容易である (図 3.2)。

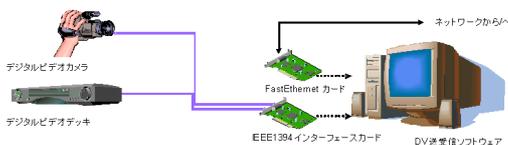


図 3.2. DV 映像伝送システム

DV 映像伝送システムを他の映像伝送システムと比較したときの特徴として、以下のような点が挙げられる。

- 画像品質がよい。
- 必要な帯域が大きい。
- 遅延が少ない。

このような特徴から、本システムは、蓄積型の映像伝送システムよりも遠隔会議、遠隔講義などのライブ映像の伝送に、より適している。

3.3.2 トランスポート層プロトコル

一般に、映像伝送にパケットの再送が不要かどうかは一考の余地がある。音声および映像データは符号化時に冗長な情報が削減されており、特に、低ビットレート符号化方式を用いた映像伝送では、パケットロスが映像品質に大きく影響するため、映像の品質を保つために、パケットの再送あるいは誤り訂正のための冗長パケットを送信する方法も考えられる。

TCP/IP で通常用いられるトランスポート層のプロトコルのうち、UDP は信頼性を提供しないプロトコルで、パケットを再送せず輻輳制御も行わない。TCP は、パケットを再送し信頼性のある伝送を行うが、ネットワークの状態に応じた輻輳制御を行い、通信速度を自律的に変動させるため、音声や映像の転送に適していない。インターネットにおける映像伝送アプリケーションには、しばしば TCP の上に実装されているものがあるが、特に、高速なネットワークにおける映像伝送を試みようとする場合には、TCP の輻輳制御による伝送速度の変更が映像伝送品質に大きな影響を及ぼす。

DV では、その符号化方式の特性から、多少のパケットロスは再送映像の品質に致命的な影響を与えない。また、先に述べた理由により、本システムはライブ映像伝送に使われることが多いため、再送による遅延への影響は避けるべきである。これらの点から、DV 映像伝送システムでは、UDP による伝送が有効であるといえる。

3.3.3 帯域制御方式

DV は、固定ビットレート符号化方式を用いている。MPEG-2 等の方式では、あらかじめ指定されたビットレート以下に符号化されたストリームを生成するため、フレーム内符号化を行うときに、量子化幅 (Q 値) を変えることができるが、DV では、そのような機構は備わっていない。このため、DV 映像伝送システムにおいて帯域制御を実現するためには、一旦 DV 符号化されたデータを何らかの方法で加工する必要がある。

DV システムの帯域制御方法として、

- DV 映像データをブロック単位で廃棄する。
- DV 映像データをフレーム単位で廃棄する。
- DV 映像データを再量子化する。

という方法が考えられる。DV では、その符号化特

性から、フレーム単位でのデータの廃棄 (いわゆるコマ落ち) が最も実装が容易である。また、他の動画画像符号化方式で一般に用いられる再量子化方法は、帯域制御の面からは望ましいが実装は容易でない。

3.4 DV/IPv6 アプリケーションの実装

DV/IPv6 映像伝送アプリケーションとしては、DVTS が最初に FreeBSD 上に実装されて使われている。その他に、Microsoft Windows 上にいくつかの実装が行われている。しかしながら、DV 伝送形式やタイミング情報の相違のため、これらのシステム間の相互接続はこれからの課題である。ここでは、それらの実装の特徴と相互接続性の問題について述べる。

3.4.1 DVTS

DVTS は、最初に実装された DV 映像伝送アプリケーションであり、さまざまな分野で広く利用されている。IEEE 1394 インターフェースを搭載した送信用 PC、受信用 PC およびそれらの上で動作する DV 送受信ソフトウェアから構成されている。

本ソフトウェアは、IPv6 スタックの動作する FreeBSD などのオペレーティングシステム上で動作し、IEEE 1394 のドライバと送受信コマンドから構成されている。本ソフトウェアでは、IEEE 1394 デバイスに接続された DV 対応機器 (ビデオデッキ、ビデオカメラ等) との間で DV データを入出力し、DV データを RTP/UDP/IP パケット化してネットワーク上の送受信を行う。UNIX 版ではコマンド `interf` と `dvsend` と DV 受信コマンド `dvrecv` を用いる。

また、本 DVTS では、さまざまな改良がなされており、送信フレーム数を間引くことによる帯域制限や、音声パケットと映像パケットを分けて送受信することにより、音声情報を優先して伝送するなどの機能が実装されている。

3.4.2 KDDI 研究所の Windows 用 DV 伝送システム

KDDI 研究所は、Microsoft Windows 2000 上で動作する IPv6 に対応したアプリケーションソフトウェアの研究開発を行った。

本システムは、他の DV 映像伝送システムと同様に IEEE 1394 インターフェースを搭載した送信用

PC、受信用 PC およびそれらの上で動作する DV 送受信ソフトウェアから構成されている。4 台の PC で送受信可能であるが、ソフトウェア復号時の受信画像品質は PC 性能に依存する。

DV 送受信ソフトウェアは、マルチキャストが可能な Microsoft Research の IPv6 スタックを用いた Microsoft Windows 2000 上で動作し、Microsoft DirectShow ライブラリ上のフィルタプログラムとして実装されている。

本システムは、オペレーティングシステムがサポートする標準的な IEEE1394 デバイスおよび DV 対応機器を利用できる。また、Microsoft Windows 上の GUI を提供しており、一つのプログラムで送信モードと受信モードを切り替えることにより、映像信号の送受信を実行する。

本ソフトウェアでは、伝送する DV データは、OS の内部ではマイクロソフト AVI 形式で取り扱われ、元の DV データに、パケット毎にフレーム番号/フレーム内のパケット番号等の情報を付加した後に RTP/UDP/IP パケット化している。

入出力として IEEE 1394 デバイスに接続された DV 対応機器を選択することにより、DV 符号化データを DV 対応機器 (ビデオデッキ、ビデオカメラ等) との間でやりとりする。

また、送信、受信の各モードにおいて、出力として、DV 対応機器の代わりに、ファイル出力および画面出力を選択することが可能である。DV 符号化データのファイルへの入出力は、Microsoft Windows 上の AVI 形式で保存する。

3.4.3 通信総合研究所の Ruff Systems

通信総合研究所 (CRL) と東京エレクトロンが共同で開発した Ruff Systems は、Microsoft Windows 2000/XP で動作する DV 他の映像伝送システムである。DV 伝送は、IPv6 にも対応している。

本システムの構成も他の DV 映像伝送システムと同様である。DV 送受信ソフトウェアは、Microsoft Windows 2000/XP 上の IPv6 スタックに対応している。

本ソフトウェアは、Microsoft Windows 上の GUI を提供しており、一つのプログラムで送受信を同時に実行できる。

本ソフトウェアでは、上記 Windows 用 DV 映像伝送システムと同様に、元の DV データに、パケッ

ト毎にフレーム番号/フレーム内のパケット番号等の情報を付加しているが、不要なデータを省くことにより、データ量を削減している。また、伝送には UDP/IP のほかに TCP/IP にも対応している。

3.4.4 相互接続性に関する課題

上に述べた DV 映像伝送システム間の互換性はとれておらず、相互接続はこれからの課題である。

最も大きな問題はパケットの形式である。MPEG-2 のトランスポートストリーム/プログラムストリームの関係に類似しているが、DV 映像伝送の場合にも、純粋な DV ストリームを伝送するか、独立して再生するための情報を付加した DV ファイルとして伝送するかという問題が生じる。Microsoft Windows 上で実装する場合、AVI 形式のファイルとして送信する場合、再生時にファイル中に含まれるタイミング情報を利用でき、ファイルも扱いやすくなる。しかし、それだけ余分な情報を付加する必要があるため、伝送量は大きくなる。今後は、IETF で標準化された形式を元に、相互に通信可能なシステムへの改良がなされるものと考えられる。

3.5 DV 映像伝送システムの測定

インターネットにおける映像・音声アプリケーションの開発、サービスの提供に当たっては、適切なサービス品質の提供を目的とした遅延、映像品質、トラフィック特性などの把握が必要とされる。ここでは、DV 映像伝送システムに関するさまざまな測定事例と DV 映像伝送システムの特徴について述べる。

3.5.1 DV システムの遅延測定

前に述べたように、DV 映像伝送システムでは、各フレームが独立して符号化されており、フレームを再生するために必要なバッファは最小限でよい。このため、DV 映像伝送システムに起因する遅延は小さく、ライブ映像伝送で利用されることが多い。

一方、DV は、そのビットレートが高いこともあって、送受信システムに備えるバッファが小さい場合、送信側システムのパケット送出時およびネットワーク伝送時のジッタの影響を受けやすくなり、バッファのアンダーフロー、オーバーフローによるフレームの損失を発生させる。

3.5.2 DV システムの映像品質評価

インターネットにおける映像アプリケーションの品質評価は、従来の映像評価とは異なる点があり、単純に符号化による映像品質の劣化を見るだけでなく、ネットワーク伝送時のパケット遅延、ジッタ、損失等によって引き起こされる映像品質の影響を調べなければならない。DV システムの場合、映像信号から DV データへ比較的高い固定のビットレートで符号化しているため、ネットワーク伝送時の影響に比べて、符号化時の影響は無視できる。このため、ネットワークの品質が直接映像品質に反映されると考えられる。

3.5.3 DV トラフィック・パターン測定

インターネットにおける DV 映像伝送アプリケーションのトラフィックの特性について述べる。ここでは、Microsoft Windows 2000 の動作する PC (pentium III 500 MHz) に送受信ソフトウェアを搭載して、NTSC 入力した映像信号を DV で符号化・伝送した。各 PC は、100 Mbit/s イーサネットにネットワークに接続し、イーサネットスイッチのモニタ・ポートより IP パケットを収集した結果を示す。

DV トラフィックの測定

図 3.3 は、DV トラフィックを 1 ミリ秒単位で集計した結果の一部である。横軸は時間 (秒)、縦軸は 1 ミリ秒ごとのパケット数を示している。本実験時は、送信側の IP パケット長を 1500 バイトとしている。この結果から、DV 形式の場合、映像信号の各フレームに対応して、84 個のパケット群が送出されていることが分かる。パケット群の送出間隔は、フレームの間隔である 1/30 秒であるが、間隔の揺らぎが見られる。しかし、ここで見られるパケット間隔の揺らぎが原因と思われる再生画像への影響は見られなかった。また、伝送途中に 100 ミリ秒～1 秒の遅延を加えて伝送試験を実施したが、再生画像への影響は見られなかった。

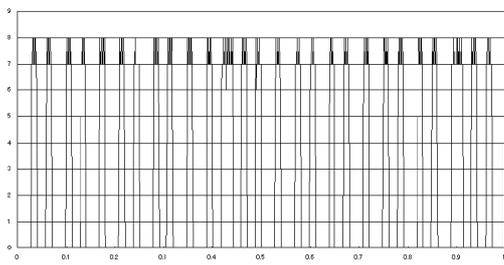


図 3.3. DV トラフィック

次に、伝送途中にパケット損失がある場合の DV アプリケーションの再生画面を、図 3.4 に示す。



図 3.4. DV 再生画面 (パケット損失 1%)

これらの結果より、DV アプリケーションでは、パケットの損失に対して、画面の小ブロック毎にエラーが発生することが分かる。また、画面を見て、後述する MPEG-2 アプリケーションと比較すると、画面のエラーは、映像の内容には依存していない。ただし、DV アプリケーションは、画面の復号時に受信エラーが生じた場合、それ以前に受信し正常に復号できた画面をそのまま使用するという方法を用いているため、動きのない映像の場合にはエラーが目立たないという現象が見られる。

MPEG-2 トラフィックとの比較

参考のため、国際標準方式の一つである MPEG-2 トラフィックについて、DV と同様の実験結果を示す。図 3.5 は、MPEG-2 トラフィックを 1 ミリ秒単位で集計した結果の一部である。横軸は時間 (秒)、縦軸は 1 ミリ秒ごとのパケット数を示している。送信側では、IP パケット長を 1500 バイトとしてパケット化している。符号化パラメータは、ビデオのビットレートが 5.0 Mbit/s、オーディオのビットレートが

192 kbit/s、システムのビットレートが 5.3 Mbit/s、参照フレーム間隔が 3、MPEG-2 のフレームパターンは IPPBPPBPPBPPBPP である。この結果から、MPEG-2 形式の場合、映像信号の各フレームに対応して、約 30 分の 1 秒ごとに、MPEG-2 の符号量に応じた数のパケット群が送出されており、平均的には、I フレームおよび P フレームでは、B フレームより多くのパケットを送出している。ただし、映像の内容に依存すると思われるトラフィックパターンの変化が見られ、各フレームに相当するパケット群の比は変化が大きく、B フレームに相当するパケットが発生しない場合もある。

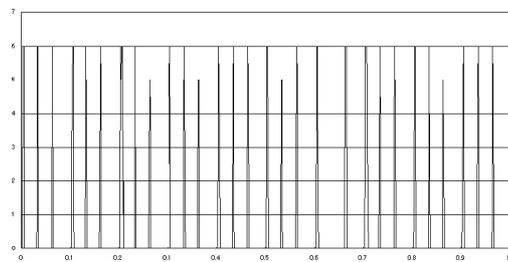


図 3.5. MPEG-2 トラフィック

次に、MPEG-2 の場合について、途中にパケット損失がある場合の、アプリケーションの再生画面を 図 3.6 に示す。

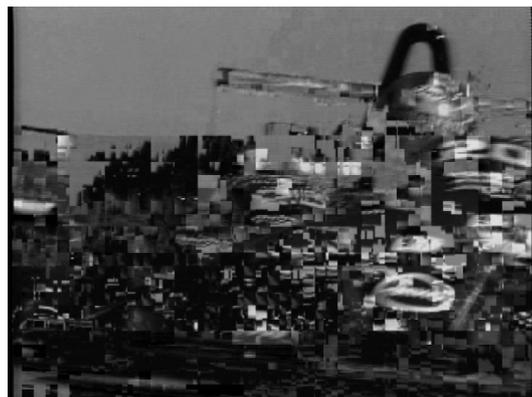


図 3.6. MPEG-2 再生画面 (パケット損失 1%)

MPEG-2 アプリケーションでは、パケットの損失に対して、エラーの発生度合いが一定ではなく、画面の一部が乱れたり、画面全体が停止するなどの現象が見られる。画面では、DV アプリケーションと比較すると、エラーは、画面中の広い範囲に及ぶことが分かる。また、動きのある画面で、画面全体にエラーが及ぶ現象が見られる。

大が期待されるところである。

3.5.4 DV と従来の映像伝送アプリケーション

トラフィック収集実験より、映像アプリケーションのトラフィックの品質劣化には、映像情報の符号化方式が関わっていると考えられる。

DV 形式では、映像情報に含まれる各フレームを独立に固定長で符号化する。符号化方式は、画面中のブロック毎に独立した DCT ベースの符号化方式であり、時間軸方向での予測は行っていない。

DV トラフィックについてエラー付加を行うと、画面中の小ブロック単位で画像の乱れが発生し、MPEG-2 のように全画面に影響を及ぼすことはない。また、時間軸方向の依存性が無いため、特に画面の切替時にブロック単位のエラーが目立つという特徴がある。

一方、MPEG 形式のような国際標準方式は、映像情報に含まれる各フレームを、符号化パラメータに従って、空間方向および時間軸方向で予測して符号化する。DV の場合と同様に、MPEG トラフィックについて帯域制限あるいはエラー付加を行うと、画面の特定の領域から連続した画面の乱れが発生したり、同じ場所の画面の乱れが継続したり、一定時間画面が停止する等の現象が見られる。

DV 形式と MPEG-2 形式を比較すると、同じパケット損失率を途中の回線に与えた場合、DV 形式の方が、エラーの画面への影響が比較的小さく、ほぼ一定の画面の乱れが見られるのに対して、MPEG-2 形式では、映像内容によりエラーの画面への影響が大きく異なり、最悪の場合復号処理が停止してしまうという現象が発生する。

3.6 むすび

本章では、次世代インターネットのアプリケーションとして Digital Video(DV) 映像伝送アプリケーションについて紹介し、その概要や特徴、IPv6 対応の実装等について述べた。

DV は、従来の映像符号化方式と比較して、映像編集の容易さや、コンピュータとの入出力機能を重視しており、インターネット上の映像伝送アプリケーションとして本報告書に述べたような他の方式に無い特徴を持っている。

将来のインターネットにおけるアプリケーションの一つとして、Japan Gigabit Network(JGN) IPv6 ネットワークにおいて、ビデオ会議や映像配信のために盛んに利用されており、今後さらなる利用の拡

