

# 高品質メディアIP転送技術の 実証実験報告

杉浦 一徳

郵政省通信総合研究所 通信システム部  
uhyo@sfc.wide.ad.jp

櫻田 武嗣

郵政省通信総合研究所 通信システム部  
take-s@crl.go.jp

小川 晃通

慶應義塾大学 政策メディア研究科  
akimichi@sfc.wide.ad.jp

## 高帯域化されるネットワークと インターネット

インターネットを構成するネットワーク通信技術の発展によって、従来に比べて低遅延、広帯域な情報伝送が可能となった。ISDN、10Base-Tイーサネットなどといった狭帯域インタフェースから100Base-TX、1000Base-FXイーサネット、ATMなどといった広帯域インタフェースへとインフラストラクチャがシフトし、全体としての帯域幅も増加している。LANデータリンクとして利用されてきたMbpsスケールネットワークを包括できる広帯域リンクが、WANデータリンクとして敷設されている。

ネットワークの帯域幅の増加は、インターネットが世界規模で爆発的に利用されることによる生活環境への浸透の証明である。現在のインターネットの中核技術は、IPv4 (Internet Protocol Version 4) と、TCP (Transmission Control Protocol) である。利用者の増加に伴い、次世代インターネットインフラストラクチャではスケーラビリティを主たる解決目標とし、IPv6 (Internet Protocol Version 6) の開発を終え普及に向けてさまざまな相互接続実験 (Interoperability Testing) を行っている。

このようなネットワークの帯域幅の増加と利用者の急増は会社、家庭、大学など場所を問わず、また時間、方法をも問わない接続性 (Ubiquitous Environment) が確保され始めているのが要因である。特に家庭内で利用するさまざまな電子機器のネットワークへの対応と、その接続インタフェースの開発が着目されている。特にホームネットワークの中で着目されているのが従来の文字、静止画情報に加えて現在のテレビと同等以上の品質を保つ映像、音声などといった、メディアサービスである。本稿では、このような高品質

な映像、音声メディアをインターネットで共有、配信するシステムの構築について、実証例とともに紹介する。

## 高品位メディアとデジタル インタフェース

映像、音声といったメディアのデジタル化が進められ、家電製品として流通を始めている。これらのメディアはDV (デジタルビデオ)、DVD、D-VHSなどといった媒体で提供される。また、衛星デジタル放送をはじめ、従来のアナログ方式によるテレビ放送が順次デジタル方式へと移行している。高品位メディアのデジタル化に伴い、これらをネットワークに相互接続することで、効率的な情報の共有、伝達を可能とするインタフェース基盤技術が開発された。

映像、音声といったメディアのデジタル化は、従来のテキスト、静止画像情報などに比較して定常的にきわめて大容量の情報で構成される。また、メディア伝送にあたって実時間性が要求されるという特徴を持つため、実時間ストリーム型の情報 (ストリームデータ) と呼ばれる。映像、音声メディアのデジタル化は、従来では高額な専用の特化したMPEG、MPEG2エンコーダを用いアナログ情報をデジタル化 (符号化) していた。符号化にあたっては、専門的な知識を必要とし、異種機器との相互接続性という点でも互換性の問題があり、普及の妨げとなっていた。

本稿では、家電製品のネットワーク化という目的で開発された広帯域低遅延シリアルバスインタフェースであるIEEE1394と、そのインタフェースを利用したDVに着目している。IEEE1394は従来のバスインタフェースに比べて以下の4つの特徴を持つ。

1) 高速なバス転送速度

100, 200, 400Mbpsのバス転送能力を持つ。

## 2) 柔軟な接続性の保証

IEEE1394はスター型、デイジーチェーンの2つの組合せを利用し、1バス接続に対して、ケーブル長にして最大72m (4.5mケーブル16本)の範囲で63台の周辺機器を接続できる。またこれらのバスに対してブリッジを利用することも可能となる。

## 3) 活線挿抜

電源を入れた状態のまま、機器の接続、切り離しが可能である。また、接続構成は自動認識され、機器の持つIDが自動割付される。

## 4) 実時間性

通常のLANにおける非同期転送 (Asynchronous Transfer) に加えて、Isochronous (等時) 転送を可能としている。

IEEE1394の出現によって、映像機器の相互接続性が保証され、専門的な知識を必要とすることなく、簡単にメディアのデジタル接続が可能となった。

DV, iLink 端子などの名称で呼ばれるIEEE1394インタフェースは、ビデオカメラ、ビデオデッキ、ゲーム機などといった家電製品から、パーソナルコンピュータ、ノートPC、ハードディスク、DVDドライブなどといったコンピュータ、コンピュータ周辺機器の接続インタフェースとして装備されている。さらに無線による伝送を可能としたワイヤレスIEEE1394も開発中である。

## DVフォーマットとIEEE1394

DVフォーマットでは、DCT (離散コサイン変換) とRun Length Encodingを利用してフレーム圧縮を行っている。DVフォーマットには、MPEGで定義されているようなフレーム間圧縮機構はない。音声、映像、システムなどのすべてのデータはDVフレームと呼ばれるフレームユニットに分けられている。DVにおける画像フォーマットは3階層の階層構造によって構成され、複数のDCTスーパーブロックにより構成されている。NTSC 525-60システム画像フレームに含まれるDCTスーパーブロックの数は50個である。DCTスーパーブロックは、27個のDCTマクロブロックにより構成されている。DCTマクロブロックは、正方形もしくは長方形である。525-60システムにおけるDCTスーパーブロックとDCTマクロブロックを図-1に示す。

DCTマクロブロックは6個の8×8ピクセルDCTブロック

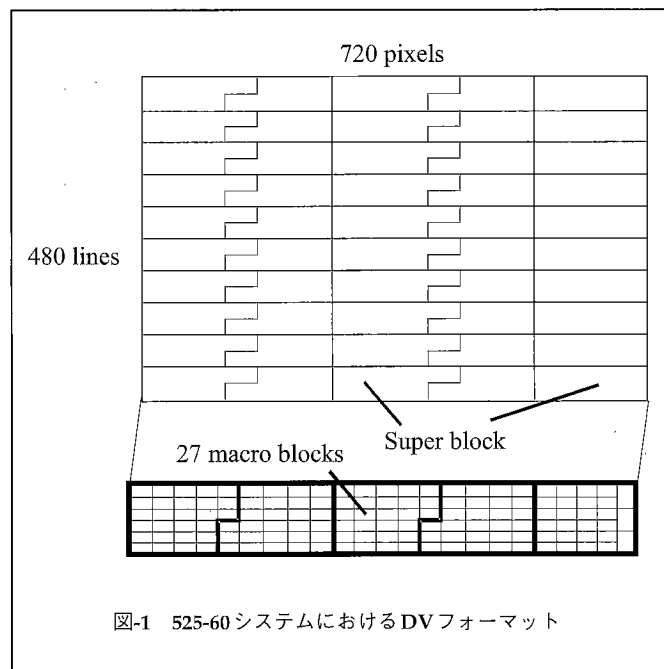


図-1 525-60システムにおけるDVフォーマット

により構成される。6個のDCTブロックのうち、4個はY成分を表現し、他の2個はそれぞれCrとCb成分を表現する。そのためDVフォーマットにおける画像情報は、標本化段階でY:Cr:Cbの比率は4:2:2であるが、DCT変換を行った後には4:1:1に減少する。

DVフォーマットがIEEE1394デバイスを通して使用する場合、DVデータは80バイト長のDIFブロックに区分される。80バイトに区分されたデータの先頭3バイトはヘッダ情報を表現し、残りの77バイトにデータが含まれる。複数のDIFブロックは、「DIF sequence」としてまとめられている。DIF sequenceは、DCTスーパーブロックを表現している。525-60システムでは、各フレームに含まれるDIF sequenceは10である。また、525-60システムでは、各フレームに含まれるDIFブロックは150である。IEEE1394を使用した通信では、適切な個数のDIFブロックによりIEEE1394パケットは構成される。図-2にDVフレームの構造を示す。

DVフォーマットにおける音声情報は、PCMにより符号化されている。音声における符号化周波数は、32KHz, 44KHz, 48KHzの中から選択する。

このように、DVとその接続インタフェースであるIEEE1394は限られた狭空間で利用することを前提に設計、構築されたバスインタフェースである。伝送遅延、電気的特性、ノイズ耐性をそれほど考慮することなく、広帯域、低遅延なバス接続を可能としている。LAN, WANといった、広空間でのネットワークインタフェースとして利用すること

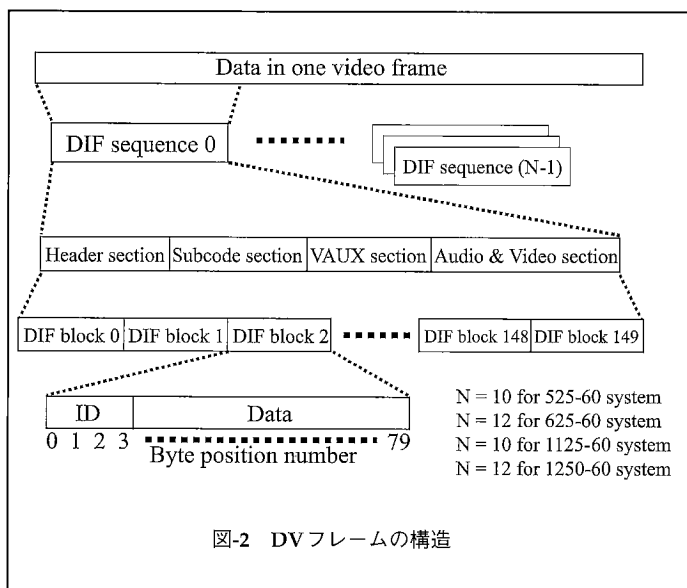


図-2 DVフレームの構造

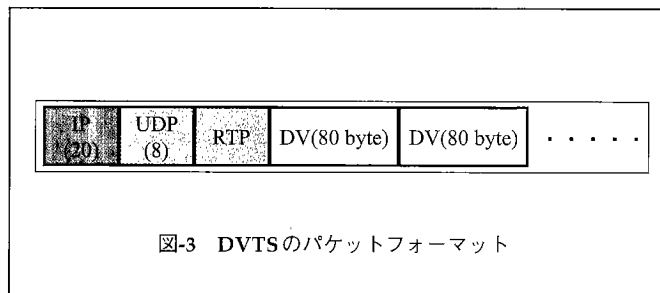


図-3 DVTSのパケットフォーマット

は考慮されていない。

IEEE1394によって接続される機器をLAN, WAN, インターネットに接続することで広空間での共有が可能となる。

IEEE1394で構成される「閉じたデジタルネットワーク」をインターネットによって伝送するためには、相互接続性を可能とするシステムの抽象化が必要となる。実時間通信と非同期転送の双方から焦点をあて、DVの動画音声データの送信を行うネットワークアプリケーションである、DVTS (Digital Video Transmission System) の開発を行った<sup>1)~3)</sup>。

## DVTSの開発

DVTSは、IEEE1394インタフェースからDVストリームを取得し、インターネットを利用して転送を行うシステムである。DVTSでは、以下の6つの方針を考慮し実装した。

- 1) RTP (Real time Transport Protocol) への対応
- 2) DV配信に必要なネットワーク帯域調整機構の実現
- 3) 次世代インターネットプロトコルであるIPv6への対応
- 4) 複数地点へのストリーム配信を行うためのマルチキャストの対応
- 5) 映像データの配信により生じるパーストラフィックの改善
- 6) 利用可能帯域資源への動的な適応

DVTSでは、RTPを利用したDVデータの送受信を行うシステムを構築した。RTPはリアルタイム性の保証が必要なデータの配信を行うためのプロトコルであり、RFC1889としてIETFによって定義されている。RTPが提供するサービスとし

ては、以下の4点があげられる。

- 1) ペイロードタイプの識別
- 2) パケットに対するシーケンス番号の付加
- 3) パケットに対するタイムスタンプの付加
- 4) 送信状況の報告

RTPは主にUDP上で動作するプロトコルとして設計されている。しかしUDP以外のプロトコルを用いても実装が可能であり、またマルチキャストにも対応している。

インターネット上でリアルタイム通信を行う場合、RTPを用いることにより相互接続性という観点からも実装が単純化される。DV/RTPでは、図-3に示されるパケットフォーマットによって構成される。

各DV/RTPパケットは、RTPヘッダとDVデータ部分により構成される。DV/RTPでは、DVデータ部分は複数の80バイト長DIFブロックにより構成される。DV/RTPのパケット長は利用するデータリンクのパケットサイズ長 (MTU) を考慮し、80バイト単位で変化できるように実装した。そのため、途中経路でのMTUによっては、パケットサイズをMTUに近付けられる。

IEEE1394上を流れるDVパケットに含まれるDV DIFブロックは6個であるが、DVTSではDV/RTPパケットに含まれるDV DIFブロックの数を自由に設定できる。DVTSにおけるDV/RTPのペイロードに含まれるDV DIFブロックの通常値は6である。DVTSでは送信者側でDV DIFブロックをバッファリングし、設定した個数貯めてから送信を行う。画像間引きを行ったときに、音声のDV DIFブロックはそのまま送信される。画像間引きを行ったときのDV/RTPパケットは、複数の音声DV DIFブロックだけを含む。

DVTSでは、送信するパケットの優先制御は行わない。本研究では、パケットの優先制御を行うためにALTQのHFSC (Hierarchical Fair Service Curve Algorithm) を利用した。

次世代インターネットの標準プロトコルに対応するため、DVTSはIPv4とIPv6の両プロトコル体系に対応した。IPv6対応のための実装環境として、FreeBSD上でKAMEライブラ

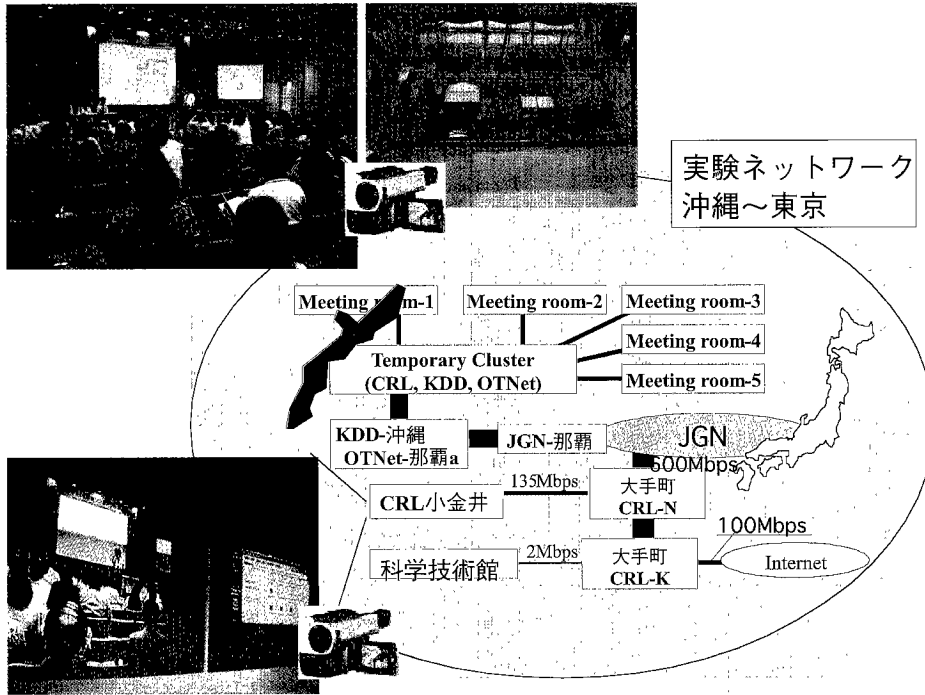


図-4 インターネットと教育シンポジウム 2000

リを利用した<sup>4)</sup>。IPv6対応のための変更は主に sockaddr\_in と sockaddr\_in6 である。

## DVTSを用いた実証実験

DVTSを用いてさまざまな実証実験を行ってきた。その中からいくつかの実験について紹介する。

### 1)「インターネットと教育シンポジウム2000」

DVTSを用いた遠隔研究会の実証実験を、2000年5月「インターネットと教育シンポジウム2000 in 沖縄」にて、郵政省通信総合研究所(CRL)、科学技術館と沖縄コンベンションセンタとの間で行った。図-4にネットワーク構成とDVTSの映像ダンプを示す。

### 2) INET 2000「DV LAND」デモンストレーション

INET 2000にて行われたIPv6によるDV中継実験。IPv6を用い、九州、沖縄、北海道、CRL、CERN(ヨーロッパ)の5カ所をマルチキャストによりDV配信を行った。図-5に当日のスナップを示す。

## ノートPCを用いたDVの伝送システム

今まで、開発、実証実験を兼ねたデモンストレーションを行ってきたDV配信実験に用いた計算機は、従来の通常のデスクトップPC(PC ATX互換機)から、よりコンパクトなPC NLX互換機へと変化した。しかし、携帯型計算機(ノートPC)の性能が向上し、IEEE1394インタフェースを装備した機種も発表され、きわめてコンパクトにシステムを構築することが可能となったため、本システムをノートPCに実装した。

ノートPCへのDV伝送システムの実装は2つの方法で行われた。

### 1) ノートPC内ハードディスクへの実装

従来のデスクトップPCと同様に本体内に装備されるハードディスクにFreeBSDをインストールし、ノートPC特有のインタフェース(節電管理機構、特殊デバイス)を有効にした後、実装を行った。

### 2) フロッピーディスクによる実装

DVTSシステムは、きわめてコンパクトなアプリケーションであるため、通常の3.5インチフロッピードライブ1枚ですべての機能を集約することが可能である。1.44MBフォーマットタイプの3.5インチフロッピー1枚で構成され、ノー



図-5 DV LAND 2000

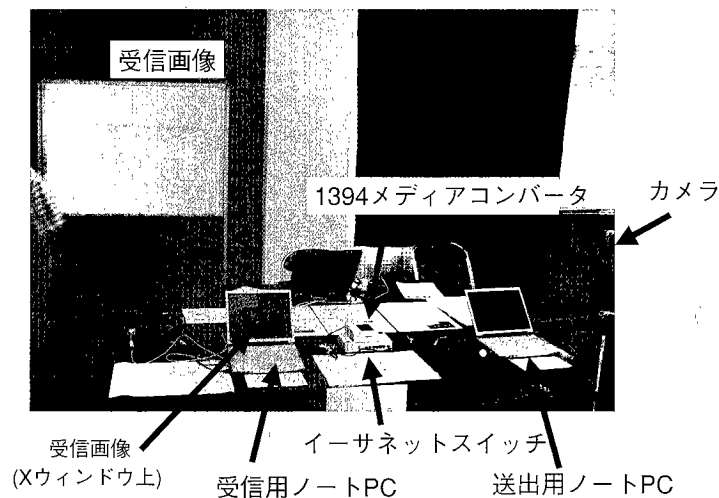


図-6 ノートPCを用いたDV転送実験

トPC内のハードディスクに入っているオペレーティングシステムと干渉することなくDVTSが利用できる。

ノートPCなどの携帯型計算機は、移動運用を主眼として設計され、ある限定された場所に制限されることなく、いつでもどこでも支援環境を利用することができる。このような移動透過性を維持するために携帯型計算機は小型化、軽量化によってバッテリーで運用されるが卓上型計算機との完全互換性を保っている。特に充電機を利用した携帯型計算機を特徴付ける運用形式は、利用するオペレーティングシステムおよびアプリケーションに対して重大な実装問題となる。

ノートPC上で動作するDVTSの開発にあたって、特に内蔵バッテリーによる運用時、高負荷による消費電力、発熱に伴う安全策としてのプロセッサ、バスクロックの動的変化に対応するための、消費エネルギーに対して抽象化したオペレーティングシステムに着目し、柔軟に対応できるシステムの構築を目指した。具体的には携帯型計算機の電池運用方式について調査を行い、実験的な携帯型計算機の節約機構とオペレーティングシステムと協調システムを作成した。本システムをDVTSに実装することによってより安定した携帯型計算機での運用が可能となった。また、DVTS以外にも限定された携帯型計算機の資源の有効利用が可能とな

## Streaming Engine

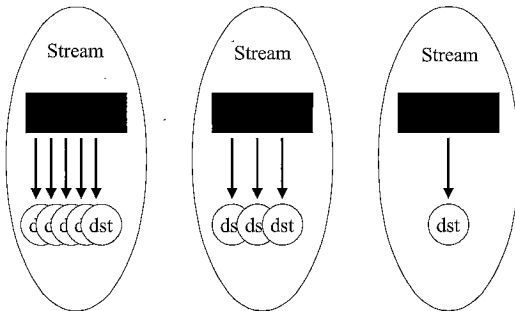


図-7 Streaming Engine の概要

った。オペレーティングシステムはシステム内の消費エネルギーを把握し、規定されたデバイスの予想エネルギー消費量によって、システムの動作状態に応じて機器状態を管理する。

本実装を用いたDV転送実験を情報処理学会全国大会のデモンストレーションセッションにおいて行った。本実験の様子を図-6に示す。

ノートPCで動作するDV配信システムは、DVTSの次ステップとして開発したStreaming Engineが実装されている<sup>5)</sup>。

## Streaming Engine

Streaming Engine (SE) は、DVTSの次ステップとして開発した記述式の汎用プラットフォームアプリケーションである。SEの全体像を図-7に示す。

SEアーキテクチャでは、SE内に複数のストリームが存在できる。SEでは、ストリームデータstreamを単一の供給源から複数の宛先へのフローの集合であると定義した。また、SEでは、コンテンツ供給源をdeviceと呼び、フローの宛先をdstと呼ぶ。

deviceは抽象化されたストリームコンテンツの供給源として定義した。streamでは、deviceはコンテンツをバイナリデータとして表現し、それを供給し続ける。dstは、抽象化されたフローの宛先と定義する。deviceで供給されるバイナリデータは、データ長とともに各dstに渡される。各dstは、それぞれ別の挙動でストリームの配信を行える。

このように、コンテンツ供給源とフロー受信者を抽象化することにより、さまざまなストリーミングアプリケーションのプラットフォームとして利用できる。また、各stream

```
pty set port inet 11394
pty set timeout 30
create dst TESTDST
create device TESTDEV
create stream TESTSTREAM
dst add module-path ./dst-modules
dst load module dv_rtp_normal
dst set module TESTDST dv_rtp_normal
dst dvrtp set addr TESTDST inet 192.168.10.1 1394
dst dvrtp set framerate TESTDST 10
dst dvrtp no-audio TESTDST
create dst AUDIO
dst set module AUDIO dv_rtp_normal
dst dvrtp set addr AUDIO inet 192.168.10.1 1396
dst dvrtp audio-only AUDIO
device add module-path ./device-modules
device load module fw_freebsd
device set module TESTDEV fw_freebsd
device open TESTDEV ohci0
stream attach device TESTSTREAM TESTDEV
stream attach dst TESTSTREAM TESTDST
stream attach dst TESTSTREAM AUDIO
stream activate TESTSTREAM
#stream deactivate TESTSTREAM
```

図-8 SEの記述設定ファイル

は独立に動作するため、異なる種類のストリームを同時に配信できる。図-8にSEの記述例を示す。

SEでは各streamは単一スレッドとして動作する。各streamスレッドは、1つのdeviceと複数のdstを持つ。本実装ではstreamはactivateされるまで活動を休止する。streamは、activateされるとdeviceからの入力を開始する。deviceから入力されたデータは、stream中のすべてのdstに対して渡される。

## これからのメディア転送技術

本稿では、DVに着目したインターネットを利用した高品位メディアの転送技術について、技術的な解説を行った。いつでも、どこでも、誰でもが利用できる (Ubiquitous) 環境が、このようなストリームメディアで、かつ、きわめて広帯域を有する情報が簡単に扱えるようになることによって、実現化に向けて前進したといえる。

### 参考文献

- 1) 杉浦一徳, 小川晃通, 中村 修, 村井 純: 民生用DVを用いたインターネットビデオ会議システム, 情報処理, Vol.40, No.7 (July 1999).
- 2) 杉浦一徳, 小川晃通, 中村 修, 村井 純: IEEE1394による家庭内ネットワークとインターネットの相互接続性, 計測と制御, Vol.39, No.8 (2000).
- 3) Ogawa, A., Sugiyama, K., Kobayashi, K., Nakamura, O. and Murai, J.: Design and Implementation of DV Stream Over Internet, IWS Internet Workshop (Feb. 1999).
- 4) The KAME Project Home Page: <http://www.kame.net/> (2000年10月現在).
- 5) DVTS Project: <http://www.sfc.wide.ac.jp/DVTS/> (2000年10月現在).

(平成12年11月1日受付)