

民生用DVを用いた インターネット ビデオ会議システム

杉浦 一徳 小川 晃通 慶應義塾大学 政策・メディア研究科
中村 修 村井 純 慶應義塾大学 環境情報学部

インターネットを通信媒体として使用する現在のストリーム型データ転送である双方向ビデオ会議システムは、ネットワークの輻輳状態を未然に防ぐため制限されたネットワーク帯域における使用を前提としている。本研究では、IEEE1394 デジタルインタフェースを持つ民生品であるDigital Video (DV) 機器を利用し、インターネットを通信媒体として経由し映像と音声の転送を行う技術を開発した。本システムは一般テレビ、CD (Compact Disc) と同等な高品質な映像、音声を提供し、機材に民生品を多用することにより、きわめて低価格で実現できる。本システムを用いた実証実験として、米国 Orlando から慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスへの遠隔授業を行い、その有効性を確認した。

インターネットの発展と利用環境

今日、広域コンピュータネットワークの担う役割はネットワークを利用する環境、目的、利用するアプリケーション、システムの多様化とともに重要性を増し、その規模は日々拡大を続けている。アプリケーション、システムの多用化によって、従来の文字、静止画情報を主とした利用環境に加えて、映像、音声といった新しいメディアに対してネットワークを通じて利用する環境が生まれた。映像、音声といったメディアは、定常的なきわめて大容量のデータ転送を必要とし、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と呼ばれる。

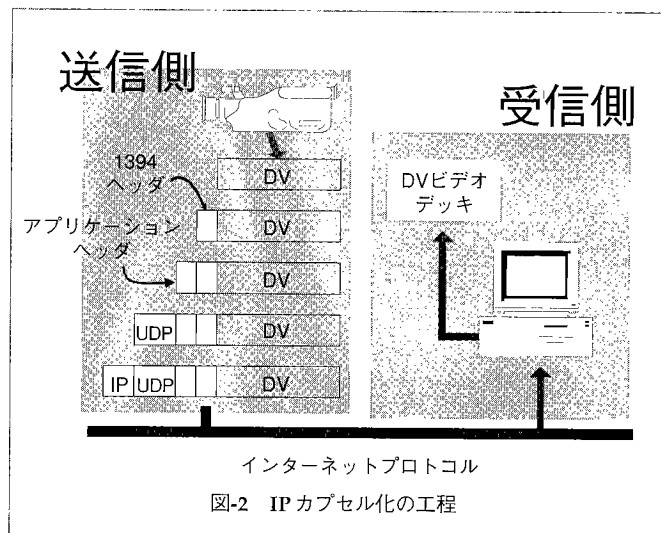
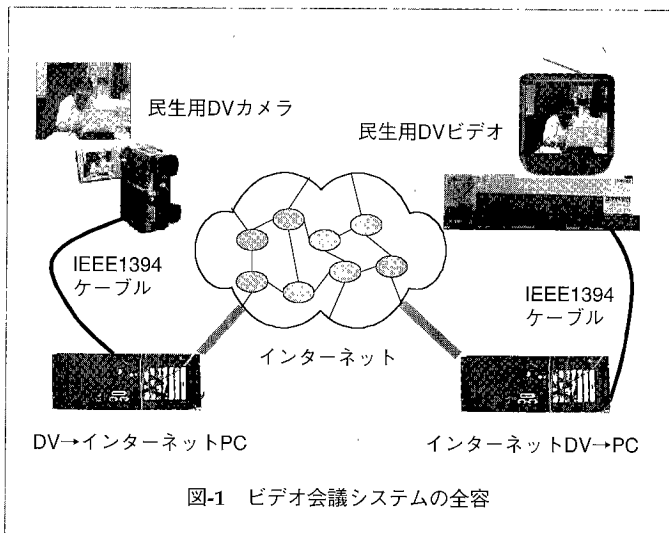
文字、静止画情報に比べて、データ転送量のきわめて

大きいストリーム型アプリケーションによって生成される情報に対応すべく、インターネットを構成するネットワークの拡張が行われている。ネットワークに使用される通信回線、ネットワークに接続される通信機器の低コスト化によって、インターネット全体のインフラストラクチャ拡張に要するコストは年々低価格化している。また、LAN (Local Area Network) におけるネットワークの転送帯域も過去2年間で10Mbps (Ethernet) から100Mbps (100Mbps Ethernet) へと飛躍的に向上している。

このようなネットワークの発展によって、従来のネットワークの狭帯域に縛られることのない、より多くのネットワーク帯域を利用するビデオ会議システムの実現が可能となった。高帯域なネットワークを活用し、高品質、低遅延、低価格なビデオ会議システムを本稿では解説する。

▶ インターネットを利用したビデオ会議システム

現在のインターネットに代表されるTCP/IPプロトコルスタックを用いたパケット交換型のネットワークシステムは、共有されたネットワーク資源を利用した最善努力型のネットワークである。ネットワーク資源の競合によるパケットの揺らぎや喪失を防ぐことは、その性格上困難な対応が必要となる。インターネットを通信媒体として使用する現在の実時間ストリーム型データ転送によるビデオ会議システムは、ビデオカメラ等から得られる映像、音声インターネットに適した形でデジタル化、変換を行い、配送する。制限されたネットワーク帯域における使用を前提としているため、ネットワークの負荷に柔軟に対応できるように、生成される映像、音声に対して高効率な非可逆圧縮を行う。映像、音声に対する圧縮は、特化したハードウェアによって行われるハードウ



ウェア圧縮処理と、ソフトウェアによるソフトウェア圧縮処理の2つに大分できる。リアルタイム性を考慮したハードウェアを用いた圧縮処理は、圧縮に要する処理時間が短縮されるが、その工程には特化した専用の機材が要求される。ソフトウェアによる圧縮処理は、専用の機材を要求しない反面、圧縮工程における計算処理のための時間的遅延が増加する。

DV (デジタルビデオ) を用いた 双方向ビデオ会議システムの設計

本研究で開発を行った双方向ビデオ会議システムは映像、音声のデジタル符号化、圧縮に民生用DVカメラ、ビデオデッキを用い、高品質であり、効果的なデータ圧縮を低価格な機材で実現する。通信機構は、一般的な民生品の機材を使用する。使用する機材の特徴を以下に記す。

- ビデオストリームをIEEE1394 DVパケットに符号化するための、民生用DVビデオカメラ³⁾
- 映像再生、記録用に使用する民生用DVデッキ
- DVビデオカメラから生成されるIEEE1394 DVパケットに対してインターネットを経由して配送可能とするための、UDPによるカプセル化を行うAT-PC互換機²⁾
- UDPによってカプセル化し、インターネットを経由したIEEE1394 DVパケットを脱カプセル化し、映像再生用ビデオデッキに転送するためのAT-PC互換機

本機構を用いたビデオ会議システムの全容を図-1に示す。本ビデオ会議システムは、3つのアプリケーションにより構成される。

- カメラから転送されてきたIEEE1394 DVパケットをPC互換機のIEEE1394インタフェースから受信し、UDPにカプセル化し、IPを利用して受信者側のネット

ワークに向けて送信するアプリケーション¹⁾

- UDPによってカプセル化され、転送されたIEEE1394 DVパケットを脱カプセル化するアプリケーション
- 脱カプセル化したDVパケットをPC互換機のIEEE1394インタフェースを通じてDVビデオデッキへ出力するアプリケーション

送信者側に接続されたDVカメラ(図-1左側)は、映像、音声をIEEE1394にカプセル化したDVパケットストリームに変換し、PC互換機に転送する。PC互換機では、カメラから転送されたDVパケットをUDPにカプセル化し、IPを使用して受信者側PC(図-1右側)へネットワークを経由して送信するアプリケーションが実行される。受信者側PCは、2つのアプリケーションが実行される。ひとつはUDPにカプセル化されたDVパケットを脱カプセル化するアプリケーションである。他方はUDP/IPヘッダを取り除かれたDVパケットを、IEEE1394インタフェースを通じてDVビデオデッキへ出力するアプリケーションである。DVビデオデッキは接続されたモニタに映像、音声を出力する。

DVカメラから生成されたIEEE1394 DVパケットは、日本のテレビの標準信号である垂直解像度525本、映像フレームレート29.97HzのNTSCビデオフォーマットを圧縮符号化し提供する。DVパケットをIPによってカプセル化し転送すると、35Mbps以上のネットワーク帯域を必要とする。DVカメラから得られる映像フレームの破棄制御機能を追加することにより、必要となるネットワーク帯域を減少できる。

▶IEEE1394 DVフォーマットのIPカプセル化

DVカメラから符号化されたIEEE1394 DVパケットをインターネットに配送するために、IEEE1394 DVパケットに対してIPによるカプセル化を行う。本機構で使ったIPカプセル化の工程を図-2に示す。

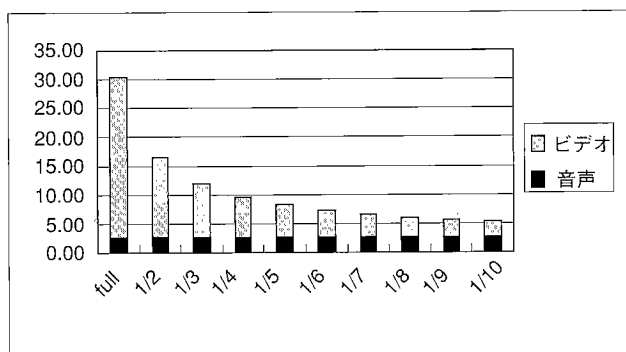
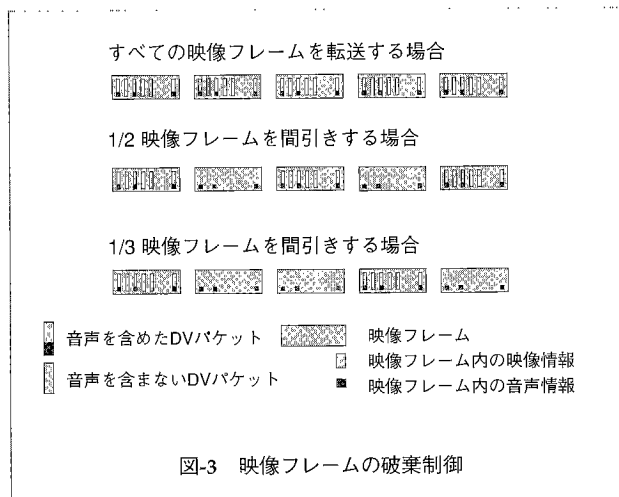


図-5 映像フレームレートと利用するネットワーク帯域の変化

▶ 映像フレームの破棄制御とパケット損失

ビデオストリームを転送するネットワーク帯域が不十分な場合、定期的な映像フレームの間引き（破棄制御）を行うことによって、必要となるネットワーク帯域を減少させることが可能である。音声情報は映像情報ほどネットワーク帯域を消費しないが、ジッタ、情報欠損による影響が大きく、連続的な再生が要求される。映像フレームの間引きを行うことにより映像情報のフレームレートを減少させ、音声情報を保持することによって、DVパケットストリームに対して効果的な圧縮を行うことができる。本機構では複雑な画像圧縮工程を用いないため、画像処理負荷が増加しない。圧縮のための複雑な処理は計算量を増加させ、計算機負荷が増大するため、画像フレームを減少させることによる解決を行っている。

利用可能なネットワーク帯域が十分であり、全映像フレームのDV転送を行う場合、送信アプリケーションは単純に受け取ったすべてのIEEE1394パケットを受信PCへ転送する。ネットワーク帯域が不十分な場合には、送信アプリケーションは映像フレームの間引きをすることによって送出レートを減少させる。本機構の実装では、送信アプリケーションは音声情報を間引かれた画像から抽出し、送信する。図-3に、映像フレームの破棄制御手法を示す。

送信アプリケーションがフレームの間引きを行っている

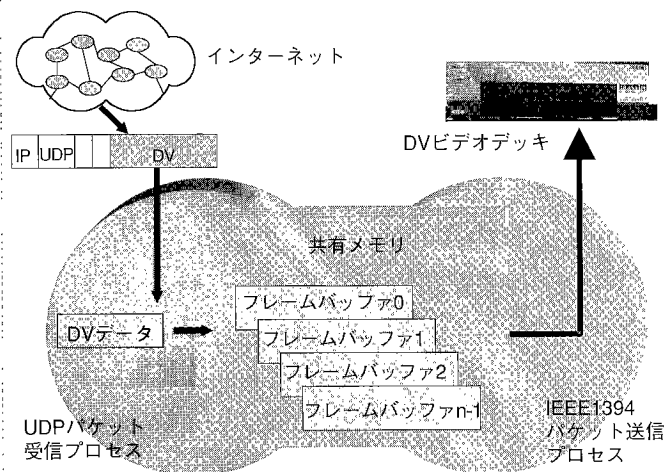


図-4 フレームのバッファリング

場合は、受信アプリケーションは転送された前フレームの画像を再利用する。音声のみの情報を受け取ったとき、受信アプリケーションは前フレーム画像に音声を加えて再生する。そのため、利用可能なネットワーク帯域が少ない状況では送信アプリケーションは音声情報を連続的に配信し続ける。

UDPは宛先ホストへのパケットの到着を保証しない。また、UDPは途中経路での輻輳についても関知しない。そのため、DVストリームでのデータ送出量の調整、パケットの喪失、ジッタへの適応が必要である。受信アプリケーションは、ジッタに対応するために受信したDVに対するバッファリングを行う。フレームのバッファリング方法を図-4に示す。受信アプリケーションは、到着したDVストリームのフレームバッファ用の共有メモリで接続された2つのプロセスから構成される。フレームバッファの容量を増加させることによって、ネットワーク転送時に生じるジッタを吸収することが可能となるが、バッファリングによる遅延もバッファ容量に応じて増加する。フレームバッファの容量は、転送に利用するネットワークの特徴に合わせて受信アプリケーションを起動するときに決定する。ネットワーク上でパケットの喪失が発生し、映像・音声フレームの欠如が発生した場合、受信アプリケーションはバッファ内の直前に転送された映像・音声フレームの関連されるパケットを再利用する。

映像フレームの破棄制御を用いた転送によって減少するネットワークの帯域幅と、映像フレームレートの相関グラフを図-5に示す。

本機構での送信アプリケーションは、利用者がはじめに決定した静的な映像フレームレートを使用する。しかし、インターネットで利用可能なネットワーク帯域は時間とともに変化する。自動的に利用可能なネットワーク帯域に適応する機構が必要となる。

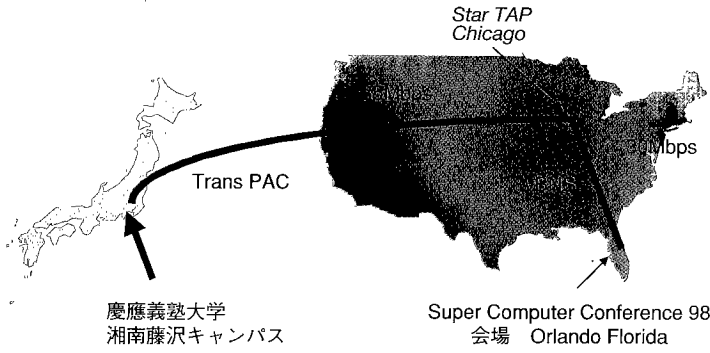


図-6 ビデオ会議実証実験のネットワークトポロジ

AT-PC互換機	特徴
プロセッサ	Intel Pentium MMX 200MHz
メモリ	128MByte
IEEE1394ボード	PCI Lynx IEEE1394 Card
ネットワークカード	DEC 100BaseTX NIC
オペレーティングシステム	FreeBSD 2.2.6 ⁴⁾
DVカメラ	Sony DCR-PV10
DVカメラビデオデッキ	Sony WV-D10000

表-1 周辺機器の詳細

本機構の実証実験

本機構をインターネットに接続された異なる2点上で使用し、遠隔ビデオ会議を行うことの効果を実証するため、Super Computer Conference 98 (SC98) (1998年11月10日～14日)にてアメリカと日本間のAPAN Transpacificリンクを使用した2つのDV通信実証実験を行った。図-6に本実験を行ったネットワークトポロジを示す。アメリカから日本に向けて送信されたUDPにカプセル化されたパケットは、韓国にも転送された。本実験で利用した周辺環境について、表-1に示す。

▶ 双方向遠隔授業の実験

村井純教授によるアメリカ、オーランドSC98会場から日本の慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) に向けて90分の双方向遠隔授業実験が行われた。図-7に本ビデオ会議システムを用いた遠隔授業実験の映像フレームのダンプを示す。双方向通信の実現により、授業中の生徒の反応と質問が、日本からアメリカへ本システムを使用し、送信された。図-8に遠隔授業実験の構成を示す。

授業はインターネットへの送信映像フレームを1/3 (約10映像フレーム/秒) に設定し、行われた。授業中に送信映像フレームの間引きによる実証実験を行うため、映像フレームの間引き数の変更も行った。授業の際にネットワークとして利用したTransPACで使用されたネットワーク帯域を、図-9に示す。図内のグラフはMRTGにより生成された。グラフ内の灰色のエリアは、アメリカから日本へのエキスチェンジポイントで観測された入力利用ネットワーク帯域の5分毎平均値である。グラフ内の実線は、アメリカから日本へのエキスチェンジポイントで観測された出力利用ネットワーク帯域の5分毎平均値である。

実験中にはTransPAC回線をほぼ占有する形で行われた。そのため、TransPAC上のすべてのトラフィックは本実験により生成された。実線は授業の行われた時間帯(21時～25時)が最も利用帯域幅が多いことを示している。グラフ上の14時から16時にかけて、アメリカから日本への全映像フレーム送信実験も行った。全映像フレームの送信実験時は、ネットワーク帯域の上限によるパケ

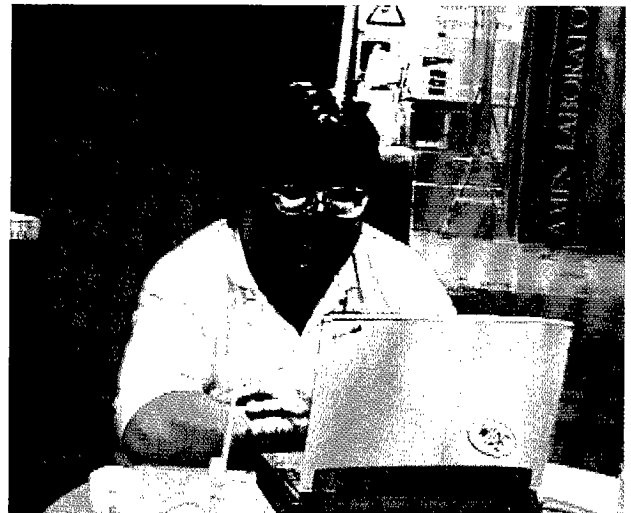


図-7 授業風景のビデオ会議システムスクリーンダンプ

ット喪失 (15%) が観測された。

▶ リアルタイムデモンストレーション

2つめの実験はオーランド、SC98会場内iGRIDブースと日本の間で行われた対話デモンストレーションである。実験に使用されたネットワークトポロジは、前実験の授業と同一である。韓国へのDVデータは、ATMスイッチングのpoint-to-multi-point VC (Virtual Connection) を使用して分岐送信された。TransPACから韓国への回線のネットワーク帯域は30Mbpsであった。StarTAPとvBNSをDVストリームが通過する際には、通常のIPトラフィックと同時に転送されていたためネットワーク帯域は保証されない。通常のインターネット同様、実験中もパケットの喪失やジッタが観測された。そのため、ネットワークの輻輳状況に応じて送信フレームレートを1/2から1/10にネットワークの利用状況に応じて変更した。

今後の課題

今回の実証実験では、開発したアプリケーションに依存した形でDV転送プロトコルを使用した。しかし、同様

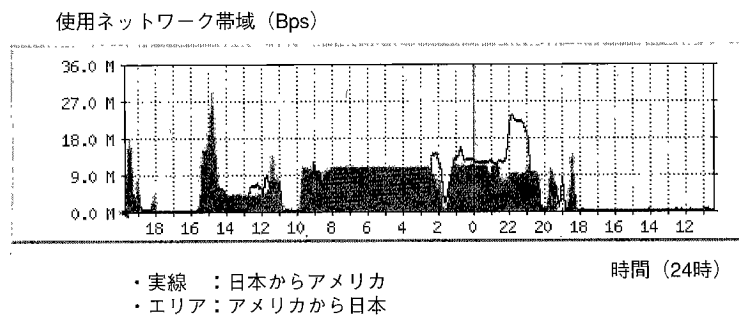
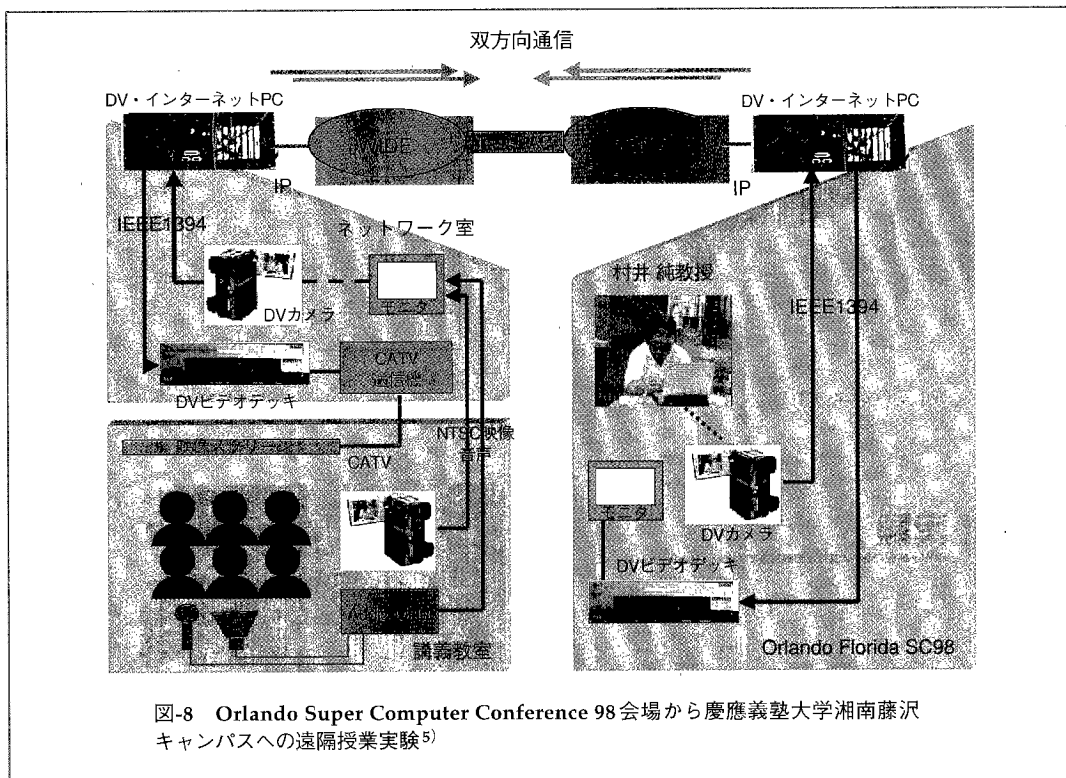


図-9 日本、TransPAC間のネットワークトラフィック

なDVを用いたビデオ会議システムの実装が将来的に相互接続されるための互換性を保つために、統一化されたプロトコル体系の開発が必要である。現在、RTP (Real-time Transport Protocol) を用いた、相互接続性を確保するためのプロトコル体系の開発をIETF (Internet Engineering Task Force) にて提案中である。

▶ 有効なネットワーク帯域への動的な対応

今回開発を行ったアプリケーションは、起動時に送出する映像のフレーム数を手動で選択する。インターネットにおける利用可能な資源としてのネットワークの有効帯域は、時間とともに変化する。多くのトラフィックがネットワーク上で発生し、利用可能な有効帯域が得られない状態のときに過度のデータ転送を行うと、輻輳状態が生じ、パケットの大量喪失が発生する。ネットワークの輻輳状態を避けるために、有効帯域への動的な対応が必要である。現在、RTCPを使用した受信者から送信者に対する制御と、それによるデータの送出量の調整を行う機構を開発中である。

おわりに

本稿では、高速、広帯域なインターネットの基盤ネットワークインフラストラクチャが整備される中で、現在のテレビ放送と同等以上の品質を保証できるDVを用いたビデオ会議システムを構築した。本システムは、低価格で効果的なデータ転送を実現し、その有効性は、日米間の双方向遠隔授業における実験によって実証された。

参考文献

- 1) IEEE Computer Society: IEEE Standard for a High Performance Serial Bus, IEEE (1995).
- 2) Postel, J.: User Datagram Protocol, RFC768 (1980).
- 3) HD Digital VCR Conference: Specifications Consumer-Use Digital VCR's using 6.3mm Magnetic Tape, HD Digital VCR Conference (1994).
- 4) FreeBSD Inc.: FreeBSD Announcement Homepage, <http://www.freebsd.org/> (1999年4月時点).
- 5) WIDEプロジェクト: SOIワーキンググループ, SOI (School Of Internet), <http://www.sfc.wide.ad.jp/soi/> (1999年4月時点). (平成11年5月11日受付)