

高品質動画像通信に対応した学校ネットワークの構築と利活用

前田香織¹⁾, 渡辺健次²⁾, 河野英太郎¹⁾, 相原玲二³⁾,
西村浩二³⁾, 染岡慎一⁴⁾, 前原俊信⁵⁾

¹⁾広島市立大学情報処理センター, ²⁾佐賀大学理工学部,
³⁾広島大学情報メディア教育研究センター, ⁴⁾安田女子大学文学部,
⁵⁾広島大学大学院教育学研究科

概要

高品質動画像通信を実現可能な環境を学校現場で先行的に実現することにより, その構築, 運用方法を検討し, 有効な利活用を調査するためのMAMEdeがんす(2001年度)およびMAMEdeがんす2(2002年度)プロジェクトについて紹介する. 本プロジェクトでは, 10Mbps 広域 Ethernet 上で10校程度の学校を結び, MPEG2 動画像伝送方式を用いて国内外の学校間交流, 遠隔合唱, 遠隔授業などインタラクティブな通信を採り入れた様々な利活用を試みた. 1ストリームあたり4~6Mbpsの画像伝送を学校現場で日常的に使用するためのネットワーク構築や運用技術について述べ, 高品質な動画伝送をIT活用として学習に採り入れた際に, 現在の学校のネットワーク環境は対応可能かについて検討する.

Configuration of School Networks for High-quality Multimedia Communications and Educational Applications

Kaori Maeda¹⁾, Kenji Watanabe²⁾, Eitaro Kohno¹⁾, Reiji Aibara³⁾,
Kouji Nishimura³⁾, Shinichi Someoka⁴⁾, Toshinobu Maeahara⁵⁾

¹⁾Information Processing Center, Hiroshima City University, ²⁾Faculty of Science and Engineering, Saga University, ³⁾Information Media Center, Hiroshima University, ⁴⁾Faculty of Literature, Yasuda Women's University, ⁵⁾Graduate School of Education, Hiroshima University

Abstract

We have two projects called a "MAMEdeGansu" project (in FY2001) and "MAMEdeGansu 2" (in FY2002) to configure a high-speed network to realize high-quality multimedia communications and effective educational applications in school networks in Hiroshima, Japan. In these projects, about ten schools are connected on a wide-area Ethernet (10Mbps) and interactive collaboration like distance lecture and distance chorus using a MPEG2 transfer system. Through these practical experiments, we discuss how to configure the network of this project and its management technology. Also, we consider that the current networks of schools are available of high-quality multimedia communication held in our project.

1. はじめに

国の高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部で決定された e-Japan 重点計画 2002[1] の具体的施策により, 多くの公立小中高等学校等が 2005 年度に向けて高速インターネットに

常時接続で, 各学級の授業においてコンピュータを活用できるための整備が進んでいる. 既に校内LAN整備が終了している地域もある. 学校でのネットワーク利用は, これまでネットワーク接続速度の制限, コンピュータ性能の制限, またセキュリティの確保によって, 多くの場合,

Web ページの閲覧や電子メールの利用に留まっている。

一方で、学校間、あるいは学校と社会との交流も、学校でのインターネット利用の大きなテーマである[2]。今後、ネットワークのブロードバンド化が進み、高品質な動画の伝送が一般的になってくると、学校でのネットワーク利用形態は大幅に変わると考えられる。特に、文字を扱う能力が未成熟な児童には声や動作によるコミュニケーションの方が適しており、小学校や中学校においては、動画・音声によるコミュニケーションの方が有効に活用される場面が多い。高品質な動画のリアルタイム伝送が可能となれば、総合的な学習での利用、課外活動、学校間交流など、様々な利用が考えられる。これまで、大学等 비해整備が遅れがちであった小中高等学校のネットワーク環境であるが、むしろ、より高速・広帯域化を必要としていると言える。

本稿では、2章で高品質動画通信を実現可能な環境を学校現場で先行的に実現し、その構築、運用方法を検討し、有効な利活用を調査するためのプロジェクトについて紹介する。3章では実際にプロジェクトを通して学校現場で生じた問題点等をまとめる。4章では既に整備、使用が始まっている校内 LAN やインターネット接続は高品質な動画伝送を IT 活用として学習に採り入れた際に対応可能かについて検討し、5章で今後の課題について述べる。

2. マメ de がんすプロジェクト

2.1 プロジェクト概要

「広島地域の高度マルチメディア通信に関する研究プロジェクト」は平成 13 年度に始めた、大学の研究者と広島市内の初等中等教育機関を中心とした学校教員らで構成された実験プロジェクトである。通称として、平成 13 年度を「マメ de がんす¹⁾プロジェクト」[3][4]、平成 14 年度を「マメ de がんすプロジェクト 2」[5]と呼び、学校現場で 1 ストリームあたり 4 ~ 6Mbps という動画伝送を実施する実証実

¹⁾ 「まめ」は広島弁で「元気な」や「変わらない」を意味し、マルチメディアをひっかけている。「がんす」も同じく広島弁で「ございます」という意味である。

験を積極的に続けている。

平成 14 年度の実験構成を図 1 に示す。平成 13 年度は、別の 6 つの小中学校、広島市研修センター、地域コミュニティ（あさきたネット）等の研究協力組織が接続されていた。広島市内の実験網は 10Mbps の広域 Ethernet である。研究協力校は CSI の実験網を経由して、広島県の県域ネットワークであるメイプルネット、WIDE ネットワーク、通信・放送機構の研究開発用ギガビットネットワーク(JGN)[6]に接続することにより、国内外の学校との音声や映像による通信が可能である。ATM で接続された拠点（佐賀大学、広島市立大学、広島大学）も含め、実験拠点は 10Mbps 以上の広域 LAN を構成し、インターネットの出入口にファイアウォールは設けた。実験拠点は peer-to-peer 通信、帯域対称リンク、マルチキャスト通信が実現されているため、相互の交流実験が円滑に実施できる環境である。実験に必要なルータ（マルチキャストルータ含む）やインターネットサーバ（SMTP、DNS、WWW、POP、DHCP 等）は広島市立大学に設置され、研究協力校には実験用 PC が配布された。

2.2 学校の利用環境

学校に設置した PC の概要は表 1 の通りである。映像伝送はテレビ品質の映像を伝送できるシステムとして広島大学で開発した mpeg2ts[7][8]を用い、音声伝送には rat (RobustAudio Tool) を広島市立大学でカスタマイズした mrat(Multi-purpose RAT) [9][10]を併用している。その他の比較等にテレビ会議システムとして、VCON 社のテレビ会議ツール（平成 13 年度）、Microsoft 社の NetMeeting、Polycom 社の ViewStation も用いている。

表 1. システム仕様

PC 基本構成	CPU PentiumIII 1GHz、メモリ 512MB、ハードディスク 20GB、サウンドカード (SoundBlaster)、CD-ROM(48 倍速)、FDD、アンプ付きスピーカ、17 インチ CRT
OS	3 種の OS の切り替え (用途に応じて切り替えて使用) ① Windows 98 SE (電子メール、ホームページ閲覧、文書編集等) ② Vine Linux 2.1or 2.5 (映像・音声伝送用)

	③ FreeBSD 4.3 Release (遠隔保守[11], IPv6 実験用)
MPEG2 映像伝送用	エンコーダ: BMK-Electronic 社 kfir MPEG2 Encoder Card デコーダ: Vela 社 CineView PCI Card Optibase 社 VideoPlex Xpress Decoder Card
IP 電話	大井電気 らんらんコール ODN-318 (10BaseT, NOTASIP 対応)

2.3 利活用実験

平成 13 年度には回線利用開始の 6 月から年度末までに実証実験として、12 回の遠隔交流が実施された。例えば、以下のようなものがある。他の試みを含めた詳しい実証実験の内容については、参考文献[3][5]の URL を参照されたい。

1) 日食リアルタイム中継

アフリカからの皆既日食映像を実験網経由で 4 拠点から mpeg2ts を用いて MPEG2 で、2 拠点がリアルで受信し、ライブで観測体験をするとともに、総合的な学習として利用した。全拠点で参加者は 900 名にも及んだ[7]。

2) 2 地点遠隔合唱

遠隔 2 地点において、mrat の低遅延音声伝送モードを用いて合唱を試みた[9][10]。

3) 障害児学級交流

2 小学校の障害児学級間の遠隔交流を実施した。双方の学級でそれぞれ、別の種類の餅をつき、その様子を動画伝送するとともについた餅を相手校に運び、双方で試食する。2 時間、テレビモニタの中にある交流相手を意識した交流は学級の担当教員の予想に反して、自然な形で進められ、担当教員にとって障害児学級における遠隔交流の利活用の検討材料となった。

平成 14 年度は接続小学校数が減り、中学や高校を追加した。平成 14 年 8 月の回線利用開始以来、17 回の遠隔授業や遠隔交流が実証実験として実施されている。例えば、以下のようなものがある。

4) 高大連携(遠隔授業)の試み

和歌山大学から広島市立基町高校と広島大学福山附属中・高校向けの天文の授業、広島大学学長より附属 2 校向けの理科の遠隔授業、広島市立大学から芸術学部、情報科学部より美術と情報の遠隔授業を実施した。授業は講師が一方的に話をする従来の遠隔授業でなく、パソコンソフトを利用した学習の結果をリアルタイムで講師に提示したり、自分の姿に画像処理を施した

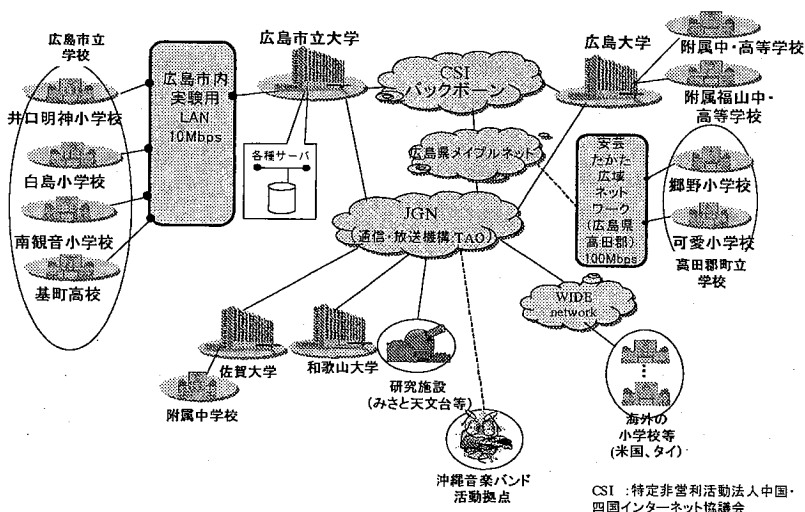


図 1. 平成 14 年度実験ネットワーク構成概要

実演、芸術学部の作業場所等のライブ中継等々を交えるなど、高品質動画伝送を生かしたものを実施した。

5) 国際交流

WIDE や JGN 等を用いることにより、広島市立南観音小学校では、平成6年度から互いにホームステイ等で実交流のあるタイのプラチャニウェット小学校とテレビ会議を用いた交流を実施した。総合的な学習として位置付け、米の比較など食文化交流がテーマであった。

6) 音楽交流（遠隔合奏、3地点遠隔合唱）

2 地点で楽器演奏の合同練習をしたり、3 地点で別々のパートを歌う 3 部合唱を実現した。平成13年度と異なり、異校種交流だったので、普段使用しない楽器や声質の違い等の学習でもあった。

3. 高品質動画伝送する際の学校現場の問題点に関する考察

本章では実際に遠隔交流の実証実験をすることにより、学校現場で生じた問題についてまとめる。

3.1 Ethernet 使用の問題点

学校では現在、光ファイバやカテゴリ5以上のツイストペアケーブルを配線し、スイッチを設置する校内 LAN の整備が進んでいる。今回の実験用に学校で独自に配線したり、ハブを設置したところもある。さらに、組織間も広域 Ethernet のサービスを利用して接続し、実験網は広域 LAN の形態で運用されている。これらはいずれも全二重 Ethernet (IEEE 802.3x) [12] が可能であるという前提で実験を開始した。動画伝送に先立ち、組織間のネットワーク性能の確認作業をする (netperf を用いた双方向同時に TCP パケットを送出するスクリプトを作成) が、以下のような理由で十分な性能を得られないケースがあった。

1) 全二重通信ができない

- ・ スイッチ間や ONU との自動ネゴシエーションが想定通りにならない
- ・ ハブ (リピータ) が接続されていた
- ・ スイッチのあるポートに半二重通信のみホストが接続されていて、マルチキャスト配信されたデータでバッファあふれが生じた
- ・ ケーブルの結線不備なものがあった

2) 広域 Ethernet サービスの網内の状況が不明である。

校内 LAN で設置してあるスイッチの多くは自動ネゴシエーションに設定されているだろう。自動ネゴシエーションのための信号処理方式は IEEE802u に基づいて規定されている [13] が、相手が全二重の固定で設定されている場合、想定どおりの全二重通信ができない。広域 Ethernet サービスは提供される ONU のインタフェースは 10Mbps や 100Mbps の全二重固定しかないものもあり、自動ネゴシエーションの問題は発生しそうだ。

数段のスイッチの各インタフェースを 10Mbps の半二重/全二重の設定を自動ネゴシエーションと固定にするいくつかの組み合わせにおいて、netperf を用いて TCP パケットを一方向や双方向同時に送出すると、正常に全二重通信ができていない場合、一方向で約 9.4Mbps、双方向同時に送出で約 9.0Mbps であった。プロジェクトの実験網に使用した広域 Ethernet サービスを介した場合は同様の実験で、一方向で約 9.4Mbps、双方向で約 8.0Mbps の実効帯域であった。途中で何らかの要因で正しい全二重通信ができていない場合は、一方向でも双方向でも数 10Kbps~5Mbps 程度の帯域となり、正常な半二重通信とも異なる通信状況となる。双方向同時にパケットを送出する通信テストは必須と言える。

こうした問題が発生した際にどこで全二重通信が確立していないのかを判別するのが困難だった。特に、スイッチのポートを手動で全二重固定に設定する場合、多くのスイッチでは設定後は設定状況を表示し、通信の状態を表示しないため、接続状態確認が困難であった。

ホームページのダウンロードを主たる利用で使っている限りは、1) にあげたような問題が発覚することは少ないであろう。ブロードバンドアプリケーションを使用するときになって初めて問題が発覚し、支障をきたす例が増えるのではないかと予想される。

3.2 音声に関する問題

1) 音のまわりこみ

音のまわりこみは古くからの問題で、その解決策もエコーキャンセラー等提案されている。学校の教室には通常オーディオ関連の十分な設備はなく、マイクとスピーカ位置の調整、仮設の音声ミキサーで対応するしかない。できるだけまわりこみを小さくしたい一方で、それが

ないために相手に声が伝わっているのかを確認できず、児童・生徒が不安感を感じるケースもあった。仮に会話を想定したエコーキャンセラーがあったとしても、歌や演奏の交流にそのままするのは困難である。

音楽交流の場合、伝送遅延や音声データの品質だけでなく、音のまわりこみや複数地点からの音量とローカルの歌声の調整等、テレビ会議や遠隔授業に比べて調整は一段と難しくなる。

2) 遅延

自然な会話をするために、MPEG2の音声伝送では遅延が深刻な問題となる。本プロジェクトでは mrat を併用することにより、会話はもとより遠隔合唱等も実現することができたが、映像とのずれが生じ、総合的なストリームの品質という意味では問題を残したままである。MPEG2 圧縮を利用することによる限界と考えている。

3.3 教室の問題

2005 年度には普通教室でのテレビ会議システムを用いた遠隔授業等の実現が計画されているが、現在の教室は教室内が学習空間として設計されているものであり、前述の音の問題意外にも以下のような点で遠隔交流には支障をきたした。

- ・ 採光や照明の調整が単純なため、プロジェクトタ投影画面が見にくい、カメラ撮影時に逆光になる。
- ・ 木造教室の床が音を伝播してしまう。そのため、映像伝送の実験時に児童の何気ない足踏みの音が振動してマイクに入力される。
- ・ 教室の使用可能電源容量を超過する。

3.4 支援体制

本プロジェクトでは大学で開発中のシステムを使用することで実証実験が進められたため、操作性や準備で大学などから支援スタッフが出かけなければならなかった。しかし、前節以前で記述したいくつかの問題は、製品を購入すれば解決するものではなく、特に普通教室で実施することを想定するならば、ノウハウとして蓄積し、新しい技術を伝授する支援体制が必要と考える。

また、遠隔交流を採り入れた授業の組み立てや交流校間の調整をするコーディネータ的な役割も必要だろう。

4. 学校ネットワークへの要求

4.1 peer-to-peer 通信の必要性

学校ネットワークのブロードバンド化、教育利用の多様化により、今後はプロジェクトで実施したようなアクティブな遠隔交流が学習における IT の利活用として重要な 1 要素になるのではないかと考えている。現在、学校ネットワークの多くは、1) Web ページが閲覧できること、2) セキュリティレベルが極めて高いことの 2 点に重点がおかれたシステム構成である。しかし、この構成では peer-to-peer 通信の必要な遠隔交流は困難である。

インターネットが普及した現在、教育ネットワークの設計において、セキュリティの考慮は必要不可欠である。しかし、セキュリティとシステムの使い易さは相反する要素であるため、セキュリティレベルをどの程度に設定するかが、システムの設計において重要な点である。多くの場合、セキュリティを強化するために、プライベート IP アドレスと NAT (アドレス変換システム) が用いられる。プライベート IP アドレスは、多くの IP アドレスが利用可能であり、多くの学校の、校内のパソコンに、アドレスを割り当てることができる。一方 NAT は、片方向のネットワーク利用に適しており、セキュリティを確保した上で、学校内のクライアントが Web などのサーバにアクセスするだけなら、十分な機能を提供する。

しかし、動画や音声などによる交流を行うためには、自分と相手とが直接通信できることが必要である。グローバル IP アドレスを用いているネットワークでは普通のことであるが、NAT を導入したネットワークでは、片方向の通信しか行うことができないため、peer-to-peer 通信ががが必要な双方向での交流には適していない。一部に NetMeeting 対応の NAT など、特殊な機器を導入している場合もあるが、アプリケーションに依存することと、設定の変更などを伴うことがある点が、円滑な交流の妨げとなっている。また、地域全体の学校インターネット網をプライベート IP アドレスで構築した場合、地域を超えた交流が困難となる。

4.2 双方向広帯域通信の必要性

本稿の冒頭に記述した e-Japan 計画では、光

ファイバや ADSL といった高速なインターネット接続の整備も 2005 年度までの計画に入っている。学校ネットワークを整備する際にインターネット接続の帯域はホームページのダウンロードが意識され、ADSL, CATV, 衛星といった非対称なネットワークの下り方向の帯域のみを取り上げている場合が多い。本プロジェクトで用いている MPEG2 映像はテレビ品質で、遠隔交流において臨場感、集中力を維持可能と好評を得ている。そのためには 1 ストリーム 4~6Mbps の帯域を双方向で要する。FTTH サービスにおける回線速度は速く、学校のインターネット接続としてコストパフォーマンスが良いようにも見えるが、双方向で十分な帯域を必要とする学校間の交流には利用困難な場合が多い。

4.3 マルチキャスト通信の必要性

プロジェクトでは複数拠点への映像配信をする実験も多々あった。また、遠隔合唱や遠隔合奏では、合唱をする当事者以外の拠点から伴奏を配信するため、マルチキャスト通信は必須であった。今後の遠隔交流においてもこうしたマルチキャスト通信の需要は高まると思われる。

5. おわりに

平成 13 年度から実施している、学校現場での高品質動画像伝送の実証実験を通して、ブロードバンドを想定した学校ネットワークのあり方や利活用について検討した。

初等中等教育機関における遠隔授業や遠隔交流実施の要望はあるものの、その実施方法や教員の要望の実状は十分に把握できていない。現在、遠隔交流の実態について調査を進めているところで、この結果を分析することで、より高品質な動画像伝送システムの有効性を検証していきたい。また、今後は遠隔授業や遠隔合唱等アプリケーションに応じたストリームの品質をどういった観点(帯域、解像度、遅延、フレーム数など)で考えるべきかを再検討し、場面により適した品質のストリーム伝送を検討していきたい。

謝辞

プロジェクトのメンバー諸氏に感謝します。本研究の一部は広島市立大学特定研究費(平成 13 年度 1803, 平成 14 年度 2206)、通信・放送機構 JGN プロジェクト(P341005, G13013)、財

団法人コンピュータ教育開発センターE スクエア・アドバンス(経済産業省委託事業)の支援を受けて実施されている。また、西日本電信電話株式会社広島支店にも実験回線の使用に関してお世話になった。ここに記して謝辞を記す。

参考文献

- [1] e-Japan 重点計画-2002, IT 戦略本部, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/020618honbun.html>2002.
- [2] 渡辺健次, 岡崎泰久, 江藤博文, 田中久治, 近藤弘樹, 原秀勝, 川崎健二, 大島正豊, “グローバル・クラスルーム・プロジェクト-インターネットとマルチメディアの教育利用の実践-”, 教育システム情報学会誌, Vol.12, No. 3, pp.179-192, 1995.
- [3] マメ de がんすホームページ <http://www.csi.ad.jp/activity/MAMEdeGansu/>
- [4] 広島地域の高度マルチメディア通信に関する研究プロジェクト報告集, 特定非営利活動法人中国・四国インターネット協議会, 2002
- [5] マメ de がんすプロジェクト 2 ホームページ <http://www.csi.ad.jp/activity/2MAMEdeGansu/>
- [6] 通信・放送機構研究開発用ネットワークホームページ <http://www.jgn.tao.go.jp/>
- [7] 相原玲二, 大塚玉記, 近堂徹, 西村浩二, 前田香織, “MPEG2 over IPv6 システムの開発と皆既日食中継実験”, 情報処理学会研究報告, 2001-QAI-1-23, 2001.
- [8] 大塚玉記, 西村浩二, 相原玲二, 前田香織, “FEC を用いた MPEG2 over IP 伝送システムの開発と評価”, 情報処理学会研究報告, 2001-DSM-24, 2001.
- [9] 岸田崇志, 河野英太郎, 前田香織, “多目的な音声伝送システムの設計”, 情報処理学会研究報告, 2002-DSM-26-3, 2002.
- [10] Kaori Maeda, Takashi Kishida, Eitaro Kohno, “Collaborative Learning by Distance Chorus on the Internet”, Proc. of International Conference on Computers in Education, Vol.1, pp.229233, 2002.
- [11] 小鷹狩晋, 河野英太郎, 前田香織, 天野橘太郎, “IPv6 Reliable Multicast に対応したソフトウェア更新システムの開発”, 情報処理学会研究報告, 2001-DSM-24, pp.37-42, 2001.
- [12] Rich Seifert (間宮あきら訳), “LAN スイッチング徹底解説”, 日経 BP 社, pp.287-289, 2001.
- [13] Charles E. Spurgeon (桜井豊監訳), “詳説イーサネット”, O'REILLY, pp.93-104, 2001.