

インターネットストリーミング技術を用いた 双方向遠距離教育システムの構築

四国職業能力開発大学校と職業能力開発総合大学校東京校の約600kmを結んで

四国職業能力開発大学校 藤田 紀勝
埼玉職業能力開発促進センター 菊池 達也
(～平成13年3月 職業能力開発総合大学校東京校)

Development of mutual communicative education system between remote sites using Internet Streaming Technology

Norikatsu FUJITA, Tatsuya KIKUCHI

要約 衛星通信を用いた遠距離授業は、高画質な画像を多地点への配信が可能であることから、雇用・能力開発機構のAGネット、大学、予備校などの教育機関で導入されている。しかしながら、送信設備の設置、技術スタッフの確保、衛星通信コストなどの運用面で、教育訓練の現場同士が容易に利用できるとは言い難い。そのような背景から、ネットワークと高性能なパソコンを利用したシステムが注目されている。筆者らはインターネット・ストリーミングソフトであるRealSystem、テレビ会議ソフトであるNetMeetingを用いて、ISDN回線、インターネット上に遠距離教育システムの構築を行った。実際に、四国能力開発大学校と職業能力開発総合大学校東京校間の約600kmをISDN回線で接続し、実証試験を行った。この試験では、128Kbps (2B) のISDN回線に本システムの適用を行い、ビデオの画質、安定性、同時性の項目について検証した。その結果から、映し出される講師がニュースキャスターのようにある一定の姿勢で講義すれば、ディジタル画像の量子化による乱れは少なかった。また、音声もよく聞き取れた。ビデオのストリーム配信は、映像や音声のディジタル符号処理を高速に処理するため、パソコンのCPUやHDDに過大な負荷を与える。はっきりした原因は不明だが、長期使用しているとシステムが不安定になる傾向がある。再起動した後に、システムに障害が残る場合があった。そこで、オペレーティング・システム部分のROM化で、問題の再発防止を行った。ROM化により再起動後、常に初期状態に戻ることから安定性が確保された。次に、サーバーがビデオをキャプチャして、クライアントが受信するまでの情報の遅延時間を測定した。約20～30秒の時間差があった。これは、ISDN回線の通信速度の問題ではなく、Real Serverが画像情報の量に関係なく、コンスタントに数十秒遅れることが判明した。質疑応答などの同時性を必要とする場合には、NetMeetingを併用して、RealSystemを補完することが望ましい。今後、筆者らは、ブロードバンドや高性能なビデオシステム (IEEE1394) を活用して、本研究を深めていきたい。

I はじめに

生涯学習のニーズの高まりに伴って、教室から地理的に遠く離れた自宅や職場で学習ができる遠距離教育が注目されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。遠距離教育は、衛星通信、ISDN回線、インターネットなどの通信技術を活用し、

双方向のコミュニケーションをリアルタイムに行う特長がある。その利用形態は、地理的に分散した教育施設における集合学習から、自宅などにおける個別学習まで、多様化している。

近年、低価格で実現可能なストリーミングを用いたインターネット授業が急速に広まっている。ストリー

ミングとは、ファイルをダウンロードしながら再生を行う技術である。ストリーミングを用いた授業形態としてオンデマンド型授業とライブ型授業に分類することができる。オンデマンド型授業は保存された授業をインターネット上に用意しておき、いつでも視聴可能な形態である。一方、ライブ型授業は授業が行われている場所から、遠距離地にリアルタイムに送信する形態である。ライブ型の授業は、配信ながらビデオを記録することができる。そのため、オンデマンド型の教材として再利用が可能であることから今後の普及が期待されている。このように急速に広まってきているインターネット授業であるが、インターネットの帯域変動によりビデオのフレームがコマ落ちしたり、動画や音声途切れる問題を抱えている。インターネットの利用者が集中したり、動画のような高負荷な情報が多い場合、ネットワークは輻輳状態になる。そのような問題から、集合学習授業では衛星通信、ISDN回線を用いるのが一般的となっている。衛星通信は高画質な画像の配信を特長とし、拠点数に関わらず通信コストが一定である。一方、ISDN回線は双方向性を特長とし、送信する拠点数に比例し通信コストが必要である。以上のような特長から衛星通信は大規模な配信に、ISDN回線は小規模の配信に使用されている。本研究では、インターネットによる動画配信技術をISDN回線の上で活用することを特色とした、小、中規模の授業提供システムの構築を行う。

II RealSystemを用いた配信の概略

インターネット上で動画を配信する形態として、ダウンロード型とストリーミング型に分類することができる。ダウンロード型は、すべてのデータをダウンロードしてから再生する形態である。一方、ストリーミング型は、ダウンロードの完了を待たずにリアルタイムに再生する形態である。ストリーミング型は、ダウンロード型と異なりLive放送が可能となる。表1に代表的なストリーミング型配信ソフトを示す。

今回はコンサートライブ等の実績、UNIXへの対応からRealNetworks社のRealSystem⁸⁽⁴⁾を用いる。図1にRealSystemによる配信の概略図を示す。RealSystemはRealProducer、RealServer、RealPlayerで構成される。RealProducerは、ビデオやオーディオのマルチメディアデータをストリーミングに適したデータフォーマットに変換するエンコーダアプリケーションである。転送レートや画像サイズは、

RealProducerにより決定される。RealServerは、RealProducer等により作成されたマルチメディアデータを効率良く配信するためのサーバーアプリケーションである。RealServerはLiveデータの保存、接続クライアント情報のモニタリング機能を有している。RealPlayerは、RealServerから配信されてくるストリーム情報を再生するクライアントアプリケーションである。RealPlayerでは、FullScreenモードでの再生が可能であり、パソコンのディスプレイがTVのような画面に設定できる。

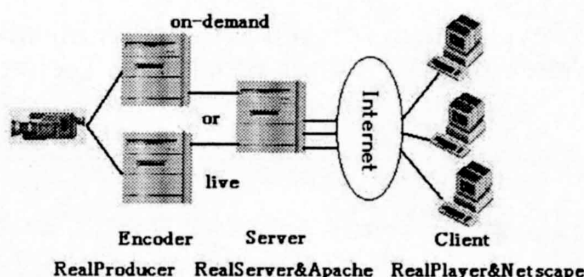


図1 RealSystemによる配信

表1 代表的なストリーミング型配信ソフト

RealSystem	RealNetworks社 http://www.jp.real.com
WindowsMediaTechnologies	Microsoft社 http://www.microsoft.com
QuickTime	Apple社 http://www.apple.co.jp

III Cu-SeeMe, NetMeetingを用いた双方向システム

本システムは、RealSystemをベースとしたシステムである。RealSystemは片方向のシステムであるため質問の受け付け時に、他のシステムを併用する必要がある。当初RealSystemを用いた双方向通信について検討を行っていたが、RealSystemを用いた配信は会場と受信者の間で、20秒程度の遅延があり会話が困難であった(6章、実験5を参照)。そこで、双方向システムとして、テレビ会議ソフトの導入を行うこととなった。テレビ会議用ソフトとして有名なものに、Cu-SeeMe⁽⁵⁾とNetMeeting⁽⁶⁾がある。Cu-SeeMeは、アメリカコネール大学で開発されたテレビ会議用ソフトである。現在WhitePine社が著作権を獲得し、Cu-SeeMeProという商品名で発売を行っている。一方NetMeetingは、Microsoftが開発したテレビ会議

ソフトである。NetMeeting は、Microsoft のホームページからダウンロードが可能である。テレビ会議ソフトは Reflector と呼ばれる多地点装置に接続することによって、複数のユーザー同士での会話が可能となる。Reflector ソフトとして Sref (住友電気工業)⁽⁷⁾、Reflector (Cornell大学)⁽⁸⁾、ConferenceServer (WhitePine)⁽⁹⁾ がある。

IV 遠距離教育システムについて

本システムを用いた遠距離授業は、RealSystem により授業の配信を行い、テレビ会議システムにより質問の受け付けを行う形態で実施される。本システムは、以下4つの特長を有したシステムである。

(1) 1つのシステム上で集合型の授業提供及び個別型の授業提供が可能である。

衛星通信、ISDN回線などで使用されているテレビ会議システムは、インターネット上に公開するための機能を有していない。そのためインターネット上へ公開するためには、表1に示したストリーミングを用いたシステムの導入を行う必要がある。別のシステムの導入は、初期設備費、運用管理コストの増大を招くこととなる。

(2) 簡易な多地点装置により運用が可能である。

テレビ会議システムは、多地点装置が高価であるためかなりの初期投資が必要である。本システムは、質問がある場合にのみ多地点装置にアクセスを行うため、簡易な多地点装置での運用が可能となり初期投資の削減が行える。

(3) システムのROM化によりハードウェア処理のシステムに匹敵した、安定性が実現される。

本システムはシステム全体を64MBのコンパクトフラッシュ上にインストールを行い、ソフトウェア的にROM化を行っている。ROM化により再起動後、初期の安定した状態に戻り、システムの安定性が確保される。

(4) バージョンアップが容易である。

バージョンアップ作業は、ROM化するファイルとROM化を実現するプログラムをコンパクトフラッシュ上にコピーするだけである。5分程度でバージョンアップ作業が終了する。

図2に遠距離教育システムの実験ネットワークを示す。インターネット網は2Mbpsの常時接続を行っている。インターネット網からの接続は、45Kbpsで30ユーザー程度を想定している。一方128Kbps (2B) のISDN回線からは、16施設に対して授業提供が可能である。各施設からは、ダイヤルアップ接続により通信回線の帯域確保を行う。各施設で使用したリモートルータはYAMAHA RTA52iである。RTA52iからのダイヤルアップ接続は、リモートアクセスサーバーにより受け付ける。リモートアクセスサーバーは、SEIKO NS-2482-30を用いた。本システムに用いたコンピュータの仕様を表2に示す。受信用のコンピュータは、すべての施設において同じコンピュータで統一した。授業配信は、四国校、東京校で可能である。またビデオキャプチャカードはViewCast.com⁽¹⁰⁾のOsprey100を用い、320×240ドットのサイズでエンコードを行っている。

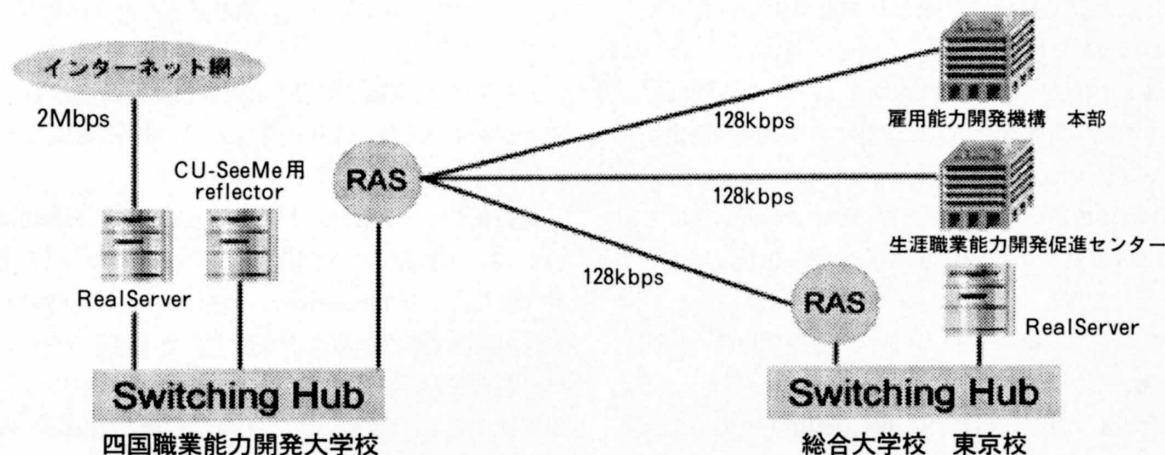


図2 実験ネットワーク

表2 コンピュータの仕様

四国校

ソフトウェア	CPU	RAM
RealProducer (Windows98)	ATHLON 900MHz	256MB
RealServer (Linux)	Pentium III 800MHz	256MB
RealPlayer (Windows98)	Celelon 633MHz	128MB

東京校

ソフトウェア	CPU	RAM
RealProducer (Windows98)	Pentium III 800MHz	128MB
RealServer (NT4.0)	Celelon 600MHz	128MB
RealPlayer (Windows98)	Celelon 633MHz	128MB

V 実験と考察

本研究では128Kbps (2B) のISDN回線上に実験システムを構築し、画質、安定性、同時性について検証を行う。

実験1：128KbpsのISDN回線上で安定した動画伝送が可能な最大速度と画質の測定。

測定はRealProducerを用い、80Kbpsから1Kbps刻みに通信速度を上げ、RealPlayerで受信することにより行う。

実験2：実験1で得られた最大伝送速度での長時間再生時の安定性の測定。

RealProducerを用いて最大転送速度により4時間連続Live放送を行い、安定した動画再生が行われているかについて確認を行う。

実験3：LAN内の25台のコンピュータから同時アクセスを行い負荷がかかった状態での安定性の測定。

本システムは、ISDN回線のリンク接続により最大512Kbpsでの通信が可能である。測定する通信速度として128Kbps、256Kbps、384Kbps、512Kbpsにより行う。

実験4：コンピュータシステムの長期使用時の信頼性測定。

測定は3ヵ月間、頻繁に使用する環境下においてシステムの安定性の確認を行う。

実験5：会場と受信者間の同時性(遅延時間)の測定。

測定は、東京校と四国校を128KbpsのISDN回線によりLAN間接続後、Live放送を行い会場と受信者の遅延測定を行った。両校は、OSならびにCPU速度が異なったシステムを用いているため四国校と東京校、両方のシステムで測定を行った。測定方法は、会場から電話とRealSystemで“合図”を送信し、受信者は電話で“合図”を聞きストップウォッチをスタートさせる。受信者は、Realplayerで“合図”が聞こえるまでの時間をストップウォッチで計測する。測定ごとに、RealPlayerとRealProducerを再起動させて、同じ測定を10回繰り返す。遅延時間は、CPUの処理速度と関係していると仮定し、 160×120 、 320×240 ドットでの取り込みと音声のみ(16Kbps)で取り込みの3種類において実施する。

実験6：双方向システムの実用性測定。

測定方法は、雇用能力開発機構本部(横浜)、生涯職業能力開発促進センター(東京)、総合大学東京校(東京)、四国職業能力開発大学校(香川)の4地点において会議を行い、音声、画質について調査を行う。

次に実験結果を示す。実験1から安定して動作可能な最大転送速度は、99Kbpsであることが分かった。RealSystemを用いて128Kbpsの帯域に動画を流す場合、混雑を想定して80Kbpsで送信するのが一般的である。実験よりISDN回線によるアクセスは99Kbpsとインターネット接続に対して2割程度高速通信が可能である事が分かった。ISDN回線を用いた利点は、安定性以外に画質の面においても有効であるといえる。しかしながら画質は、衛星通信に準じた画質まで達しておらず、今後256KbpsのISDN回線の使用ならびにIEEE 1394ビデオキャプチャカードを使用した画像劣化のないデジタルデータでの取り込みを行う必要がある。

実験2では、実験1で得られた最大転送速度99Kbpsにより4時間連続Live放送を行った。4時間安定した再生が行われた。

実験3では、128Kbps、256Kbps、384Kbps、512Kbpsのすべての帯域において25台のコンピュータ上で安定動作した。よってRealServerに負荷がかかった時の安定性が確認できた。今後さらにアクセス数を増やしたデータを取る必要がある。

実験4では、長期使用時RealProducerとRealPlayerが不安定になる現象が確認された。この現象はRealProducerとRealPlayer実行時に、希に発生するエラーによりシステム関係のファイルが一部書き換えら

れてしまうことが原因であると考えられる。その根拠として、不安定になったコンピュータにRealProducerとRealPlayerの再インストールを行い、安定性の確認を行ったが不安定のままであった。すなわちシステム関係のファイルの一部が書き換えられ、システム全体が不安定になってしまったと考えられる。この解決方法は、OSを含めたシステムのROM化により解決を行った。ROM化とは、システムを読み取り専用で動作させるということである。ROM化はWACOMエンジニアリングのROM-WINCard⁽¹⁾を用いた。ROM-WINCard自体はフラッシュメモリで書き換え可能である。ROM化はソフトウェアにより実現している。ROM化によりコンピュータは再起動後、最初の安定した状態に戻る。すなわちシステム関係のファイルが一部書き換えられてしまう問題の解決が行える。ROMへの書きこみはスティックライトというソフトにより行う。スティックライトはアプリケーションを起動することにより自動で必要なファイルを抽出するソフトである。WindowsとRealProducerを入れるのであれば64MBのROM-WINCardにインストール可能である。図3にROM-WINCardを示す。ROM化の信頼性を測定するためROM化したコンピュータ上のRealProducerを実行し、実行中に電源から切る操作を100回行った。起動後、すべての操作において安定しており、安定性、耐久性の確認が行えた。

実験5の結果を表3に示す。実験結果から取り込むサイズと遅延が関係なく、CPUの処理能力から遅延が発生していないことが分かる。このことからRealServer固有の問題であると推測する。

また遅延にバラツキがあるのは、ネットワークのコネクション状態により変化しているものと思われる。

実験6では、当初Cu-SeeMeを用いた双方向システムを想定していた。しかしながらCu-SeeMeにおいて会話が聞き取れない場合や画像が3秒に1度切り替わ



図3 ROM-WINCard

表3 会場と受信者間の遅延測定結果

四国校

	160×120	320×240	音声のみ
1回目	20.91秒	32.91秒	18.97秒
2回目	25.91秒	26.49秒	26.73秒
3回目	27.28秒	29.86秒	26.22秒
4回目	28.80秒	28.98秒	26.85秒
5回目	30.11秒	26.24秒	26.98秒

東京校

	160×120	320×240	音声のみ
1回目	13.25秒	17.28秒	13.19秒
2回目	24.93秒	11.00秒	13.94秒
3回目	25.50秒	11.13秒	27.31秒
4回目	24.97秒	24.85秒	28.40秒
5回目	26.56秒	27.28秒	28.97秒

る程度で動画とはいいがたいレベルであった。このような問題からNetmeetingを用いた双方向実験を行った。NetMeetingを用いた場合、Cu-SeeMeと比べ画像が滑らかであり、音声途切れる問題も生じなかった。

VI まとめと今後の課題

本授業提供システムは、インターネット、ISDN回線により接続することが可能である。インターネットを利用した場合、受講者は手軽に自宅で授業を受講することが可能である。またISDN回線を利用した場合、安定した画像を大きなスクリーンに映し授業を受講することが可能となる。また一度行った授業は、サーバー機に保存され、24時間インターネットを利用して閲覧することが可能である。本システムは、遠距離教育を実施するにあたり必要な膨大な設備投資、通信費の削減が可能となる。今後の課題として、衛星通信に準じた画質を提供するために更なる改良が必要である。今後、筆者らは、ブロードバンドや高性能なビデオシステム（IEEE1394）を活用して、本研究を深めていきたい。

謝 辞

最後に、遠距離教育システムの実験を行うに当たって多大な協力を賜った、雇用・能力開発機構本部の小竹昌弘氏と中央職業能力開発協会（前・生涯職業能力開発促進センター）の坪井達宏氏、四国職業能力開発

大学校ならびに職業能力開発総合大学校東京校の関係各位に深く感謝する。

【参考文献】

- (1) 田中健二, 近藤喜美夫, “大学間衛星ネットワーク (スペース・コラボレーション・システム) の構成,” 電子情報通信学会論文誌, D-I, Vol.J82-D-I, No.4, pp.581-588 (1999-04)
- (2) 岡村耕二, 鶴正人, 藤木卓, 中村千秋, 池永全志, “インターネットを利用した遠隔授業の実用化に関する研究,” 教育システム情報学会誌, Vol.14, No.3, pp.84-94 (1997-08)
- (3) 島田昌幸, 菊池達也, “学習支援教材開発の方法 遠隔学習とCAI-,” 職業能力開発研究, 第18巻, pp.37-66(2000-03)
- (4) <http://www.real.com>
- (5) <http://www.jp.wpine.com/cu/index.html>
- (6) <http://www.microsoft.com/windows/netmeeting/download/nm301x86.asp>
- (7) http://www.sei.co.jp/RandD/freeware/sref/sref_j.html
- (8) <ftp://ftp.unina.it/pub/multicast/CU-SeeMe/Reflector/4.00b3.dist/>
- (9) <http://www.jp.wpine.com/mp/index.html>
- (10) <http://viewcast.com>
- (11) <http://www.wacomeng.co.jp/>