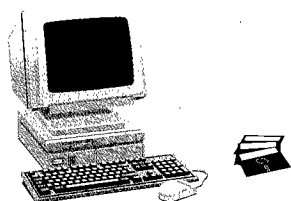


次世代インターネット を利用した 高等教育環境の 構築実験 GIOSプロジェクト

大川 恵子 慶應義塾大学SFC研究所
keiko@wide.ad.jp
泉山 英孝 慶應義塾大学SFC研究所
izu@wide.ad.jp
加藤 朗 東京大学情報基盤センター
kato@wide.ad.jp
村井 純 慶應義塾大学環境情報学部
jun@wide.ad.jp



次世代インターネットに向け、IPv6技術を核として、高速広帯域での高機能な転送、マルチキャストアプリケーション、多様なメディア転送などの新しい技術の研究開発が進められている。WIDEプロジェクトは1997年から、インターネット上の大学環境SOI (School of Internet) を開発構築してきた。GIOSプロジェクトは、このSOI環境を、次世代インターネット技術を用いたネットワーク環境で展開する統合的な研究実験として1999年9月より開始された。GIOS実験環境は、複数の大学のキャンパスと授業を主要な素材とし、高速インターネット時代の家庭環境、サービス領域の分散性とグローバル性など、近未来のインターネット環境に基づいて設計を行った。2000年度前半に行われた第一期のGIOSプロジェクト実験は、日米の7大学、100家庭を対象として、WIDEプロジェクトで研究開発が行われた。IPv6、マルチキャスト、衛星通信、高速回線のデジタルビデオ通信、授業用アプリケーションなどの次世代インターネット技術の実用性が、総合的かつ実践的な環境において実証された。

はじめに

WIDEプロジェクト¹⁾では、デジタルテクノロジーとインターネット基盤を利用した大学環境を模索するための実験として、1997年9月よりWIDE大学School of Internet (SOI) を開始した²⁾。SOIでは、大学における教育資源をデジタル化し、デジタル情報基盤上に載せることで、いままでの教室やキャンパスといった物理的かつ論理的な枠を越えて、インターネット上の人々がこれらを自由に共有することができる環境を構築、実証実験を展開している。SOIが構築する環境は、学びたい個人に自由で多様な学習環境を提供することを目的としている。この目的を達成するために、SOIでは2つの方向でシステム環境を提供している。1つは、授業をいつでもどこでも個人が学びたいときに学べる個人の学習環境。もう1つは、世界的に評価されている先生の授業を、どこからでも受けられるようなキャンパス環境の構築である。

一方、インターネット技術の発達と、社会への浸透が進んでいるなか、「次世代インターネット」についての議論が多く行われている。SOIの目指す環境を、次世代インターネット環境の上で実現するプロジェクトとして1999年秋よりGIOS (Globally Integrated Omnibus Solutions) プロジェクトが開始された (図-1)。

GIOSプロジェクトでは、次世代インターネットが作り出すシステム環境として、

- 1) 広帯域 (数Gbps) から低速 (64kbps以下) に至る幅広い帯域分布
- 2) 衛星などの片方向通信を含む多様な通信路
- 3) マルチキャストによる同報通信基盤
- 4) IPv6 基盤

の4つを主要な要素として位置付けた。次世代インターネットの特徴を帯域から分類し、図-2に示す4種類の受講環境をGIOS受講者環境として定義してそれぞれの環境を設計し、統合的かつ実践的な実証実験を展開した。

本稿では、まず、基盤として提供しているSOI基盤環境の概要を示し、GIOS受講環境の設計、実証実験を述べた後、実証実験システムの評価を行い、今後の課題を議論している。

SOI基盤環境

SOI基盤環境は、授業を中心とした教育・学習活動の基本部分をインターネット上で推進することを目的としている。授業を中心とした大学の教育活動を分析して、(1) オンデマンド授業、(2) 課題システム、(3) オンライン授業調査システム、(4) 成績通知システムと成績証明書システム、(5) ファカルティ支援システムの5つを、基本コンポーネントとしてインターネット上で実現・提供した³⁾。

(1) オンデマンド授業では、講義を1) 教員の音声、2) 教員の映像、3) OHPなどの講義資料、4) 板書の各要素からなる集合体と捉え、これらをそれぞれにデジタル化し、時系

列に同期させる手法⁴⁾を用いて、講義をインターネット上で受講可能にするためのデジタル化を実現した。教員の音声および映像は、RealNetworks社のRealVideoを利用し、150kbps～28.8kbpsの帯域それぞれに対応した品質で蓄積されている。映像を再生すると講義資料が進行とともに自動的に切り替わり、あたかも教室にいるように授業へ参加することができる。オンデマンド授業は、いつでも受講可能であることに加え、講義を部分的に繰り返し視聴可能であることから、復習や、海外講師の場合の言語問題なども部分的に解決している。また、講義資料はHTMLにも変換されて蓄積されているため、検索機能を用いることにより、必要な一部分のみを切り出して視聴する、マルチメディアライブラリとしても活用されている。

講義のデジタル化の作業は、プロジェクト開始当初約6時間程度かかっていたが、作業の自動化のための各種ツールを開発し³⁾、現在では90分の授業を2名のTA (Teaching Assistant) が収録にあたり、授業後2時間程度で授業アーカイブがインターネット上にアクセス可能となるまでに作業量が軽減された。また、ビデオエンコードを授業中に並行して行えば最短で授業後20分以内にオンデマンドで受講可能となる。

(2) 課題システムは、学生間の協調による学習効果を実現するために、お互いのレビューができるシステムである。教員がオンライン課題提示を行うと、受講者が課題の解答を提出・参照・相互コメントなどを行うウェブページが自動生成される。受講者は、各自のホームページを用いて課題に対する解答を作成し、そのURLを登録するか、直接テキストをフォームに入力する方法のいずれかで課題を提出する。解答が他の受講者からも参照されることから、課題をコピーするといった不正行為は確実に減少し、さらに、他の受講者の解答をも教材として利用しながら自分の課題に取り組めるため、解答の質も教員の求める水準に近づく結果となった。また、解答内容を締切までクローズしておくモードでの運用においても、解答提出状況が開示されていることにより課題の提出率が向上した。

(3) オンライン授業調査システムは、実施された授業の内容・品質を受講者によって評価し、その結果を次に受講する学生への資産として活用するための重要なシステムである。そのため、教員が学生からフィードバックをもらいたい項目を自由に設定することが可能な、匿名を保証したアンケートシステムを構築した⁵⁾。教員が質問内容を登録すると、学生による回答・集計ページが自動生成され、回答可能となる。回答結果は一般に公開され、誰もがいつでも参照できる。また、この調査結果に対して教員がコメント

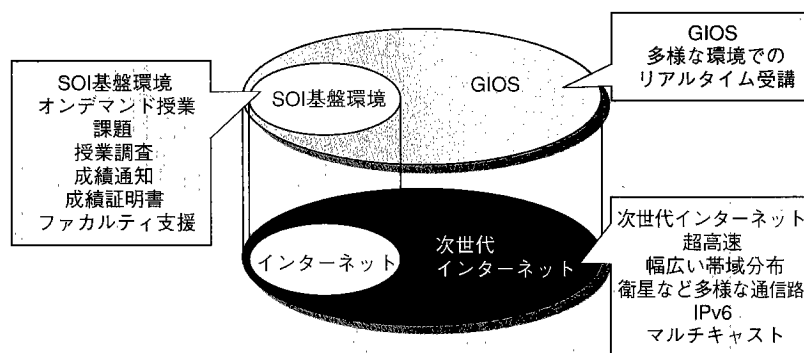


図-1 SOI基盤環境とGIOSプロジェクト

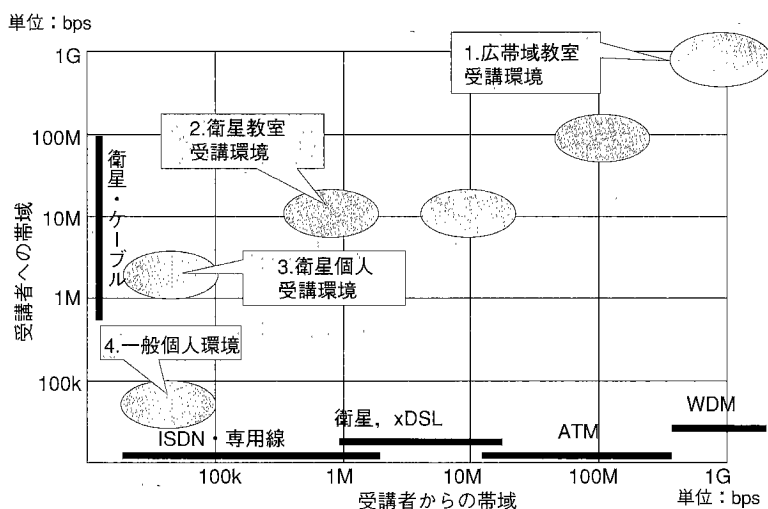


図-2 次世代インターネットにおけるGIOS受講者の帯域による分類

する機能を設け、授業の内容に対する相互コミュニケーションの場を提供している。オンライン授業調査は、用紙による調査と比較して、自由記述回答に対する回答率が高く、公開されることにより建設的なコメントが多い傾向が確認されている⁶⁾。SOIでは1997年度秋学期から6期16授業にわたってこのシステムを利用した授業調査を実施している。

(4) 成績通知システム・成績証明書システムは、教員が成績を登録し、その成績を安全に保管し、インターネット上の受講者および証明したい第三者に対して安全に通知を行うためのシステムである。電子証明書および暗号技術を利用してその機能を実現した⁷⁾。成績証明書システムでは、SOIシステムに蓄積された学習履歴を利用することで、授業の参加状況から、科目ごとの課題の内容にいたるまで、成績証明書の一部として第三者に提供できる。したがって教育機関は、従来の最終的な成績のみと比較してより正確に個人の能力を証明することができる⁸⁾。なお、SOIシステムでは、インターネット上で個人を識別する方法として、パスワードによる認証と電子証明書による認証を併用している。証明書の利用においては、WIDEプロジェクトの認証局(CA)の下位認証局としてSOI独自のCAを立ち上げ⁷⁾、教員証明書と学生証を実験的に発行している。

	教員の映像・音声			学生との質疑応答		授業資料同期共有	
	アプリケーション		ネットワーク 基盤	アプリケーション	ネットワーク 基盤	アプリケーション	ネットワーク 基盤
広帯域・ 教室	DVTS	フレームレート1/1 以下（約40Mbps）	IPv6 Multicast	DVTS	IPv6 Multicast	RPT PPT同期 表示機能	IPv4 Unicast
衛星・教室		フレームレート1/4 以下（約10Mbps）	IPv6/IPv4 Multicast UDLR	NetMeeting Polycom 等H.323系	IPv4 Unicast		
衛星・個人	Real Video	150kbps	IPv4 Multicast	受講用インタラクティブ アプリケーションと IRC		RPT ウェブページ 同期表示機能	
一般・個人		28.8～64kbps	IPv4 Unicast				

表-1 受講環境ごとのシステム構成

(5) ファカルティ支援システムでは、SOL上の教育活動にまつわる資源をインターネット上で教員が容易に管理するため、授業情報更新、課題設定、成績状況表示など、教員の立場からみた統合的なインタフェースを提供している。

SOL基盤環境はこのように、大学の教育活動を統合的にインターネット上で実現し、授業といういままでは後に残らなかったものをデジタル化して蓄積することにより、授業の持つ新しい価値を創造し、それを有効に利用する、統合学習環境を提供している。現在では、大学授業だけでなく、特別講義やチュートリアルなど合計約600時間以上の講義がアーカイブされており、企業内研修での利用も報告されるなど、多様な方法で活用されている。講義資料には毎週約20万ページのアクセス数が記録されている。登録している学習者約5,000人のうち、60%以上は社会人で、授業後のアンケート結果などからも、オンデマンド授業による学習を継続したいという回答が多く、生涯教育の1つの学習スタイルとして確立されつつある。

GIOS受講環境の設計

1999年までのSOL基盤環境は、ISDN程度の通信速度でインターネット環境を利用する受講者に、オンデマンド授業を中心とした学習環境を提供することを目的としていた。GIOSプロジェクトでは、最先端の次世代インターネット技術を導入し、図-2で示すような多様な環境を用いたリアルタイム受講の実現と統合化を目的とした。具体的には、

- 1) 広帯域IPv6マルチキャストインターネットで接続される教室環境
 - 2) 10Mbps程度の衛星回線(片方向)と1.5Mbps程度の地上線による非対称リンクを利用したインターネットで接続される衛星教室環境
 - 3) 2Mbps程度の衛星(片方向)と公衆電話回線による非対称リンクを利用したインターネットで接続される衛星個人学習環境
 - 4) ISDNや公衆電話回線で64kbps以下のインターネットで接続される個人学習環境
- の4種類の学習環境を構築し、授業を4種類の環境で同時に

リアルタイムで受講するための環境構築、開発、実証実験を行った。遠隔リアルタイム授業実施にあたっては、下記3点を要求事項と定義して研究開発を行った(表-1)。

1. 教員の映像・音声 が90分の講義受講に耐え得る品質で学生に届くこと。
2. 授業資料は複数地点で共有され、ページの変化などが同期されること。
3. 学生と教員との間で質疑応答ができること。

広帯域・教室受講環境

広帯域・教室受講環境は、1.0Gbps程度の広帯域IPv6インターネット接続を持つ教室受講環境である。教員からの映像・音声、および学生との質疑応答の両方が、IPv6マルチキャスト上で稼動するDVTS (Digital Video Transfer System)⁹⁾を用いて共有される。また、授業資料共有にはGIOSプロジェクトで開発した、遠隔プレゼンテーションツール(RPT: Remote Presentation Tool)¹⁰⁾を用いた。DVTSは、WIDEプロジェクトで開発され、デジタルビデオのデータをインターネット上で配信するためのシステムで、双方向でのデジタルビデオ会議を行うことが可能となる(図-3)。デジタルビデオと同等の高品質性、低遅延性と、フレーム間圧縮を行わないためパケットロスによる画像伝送に対するロバスト性を提供する。また、ネットワークの輻輳時には音声のフレームレートは間引かず、画像のフレームレートのみを間引いて送信する技術により、音質を保持したまま使用帯域を40Mbpsから10Mbpsまで調整できるため、一定の帯域を確保することが困難なインターネットにおいても受講者に対して良好な通信品質を提供可能である。多地点への配信にはPIM-Sparse mode (IPv6) による経路制御技術を適用した¹¹⁾。

授業資料はMicrosoft社のPowerPointを前提とし、表示同期のためにRPTのPPT同期表示機能を利用した。教員が作成したPowerPointファイルはあらかじめ遠隔の各教室に送付しておく。教員はRPT(送信モード)を利用してPowerPointファイルをスライド表示させる。受講する教室ではRPT(受信モード)を利用して送付されたファイルをスライド表示させておくと、教員のRPTからスライド切り替えとマウス移動のイベントが送信され、それにしたがって各受講教室のス

ライド表示が自動的に操作される。RPTは多地点間の通信にIRC (Internet Relay Chat) を利用している。

衛星・教室受講環境

衛星回線を用いた教室受講環境は、衛星回線による10Mbps程度の受信と、地上回線による1.5Mbps程度のIPv4インターネット接続を持つサイトにある教室である。広帯域な地上線を確保できない大学や教育機関に、衛星通信技術、UDLR (Uni Directional Link Routing) 技術、マルチキャスト技術を利用して、比較的安価に高品質授業を提供する。

教員からの映像・音声を教室に届けるアプリケーションとしては、前述のDVTSを同じ理由で採用した。IPv6マルチキャストを利用しているDVTSを、IPv4でインターネット接続されている教室で利用するために、UDLR技術を用いた¹²⁾。UDLRルータは、慶應義塾大学で開発されたUDLRの実装をベースに、IPv4とIPv6の2つのプロトコルスタック上で動作するように拡張を加え、IPv4の地上回線とIPv6の衛星回線を組み合わせて、IPv6の広域マルチキャスト網に参加するための機構を構築した。

一方、質疑応答のために学生から教員へ音声・映像を送る場合、1.5Mbps程度の地上回線を利用することになるため、Microsoft社のNetMeeting、Cisco社のPolycomViewstation など、500kbps以下で音声・映像をリアルタイムにやりとりできるアプリケーションを利用し、双方向性のある質疑応答を実現した。

授業資料共有には、広帯域・教室環境と同様にRPTを利用した。

衛星・個人受講環境

衛星を用いた個人受講環境は、公衆電話回線を利用したインターネットプロバイダ経由のIPv4接続を持つPCに衛星通信用ボードを搭載し、2Mbps程度の受信ができるようにした。

2Mbpsの衛星帯域を多数の衛星個人サイトで有効に共有するため、帯域をネットワークの輻輳状況に合わせて約28.8kbps～300kbpsで段階的に制御でき、IPv4マルチキャスト配信機能をサポートしているRealNetworks社のRealVideoを採用した。

授業資料共有には、教室環境と同じくRPTを利用したが、PowerPointファイルを多数の受講者へ事前に送付することが非現実的なこと、PowerPointファイルそのものの配布を望まない教員も多いことを考慮し、RPTのウェブページ同期表示機能を利用して資料同期表示を実現した。教員が作成したPowerPointファイルは、あらかじめHTML形式に変換して、http server上に掲載しておく。個人の受講用PCでRPT (受信モード) を立ち上げておくと、教員がPowerPointのページ表示を変えるたびに、教員側のRPT (送信モード) から、受講者側のRPTに対して表示すべきURLが送られ、個人受講用PC上のウェブブラウザで、資料同期表示を行うものである。PowerPoint形式からHTML形式への変換のためには、SOI基盤環境でアーカイブ作成用に利用している変換ツール (P2H) を用いている。

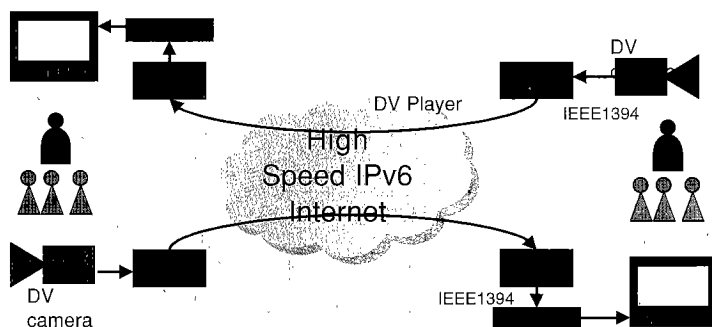


図-3 DVTSシステム概要

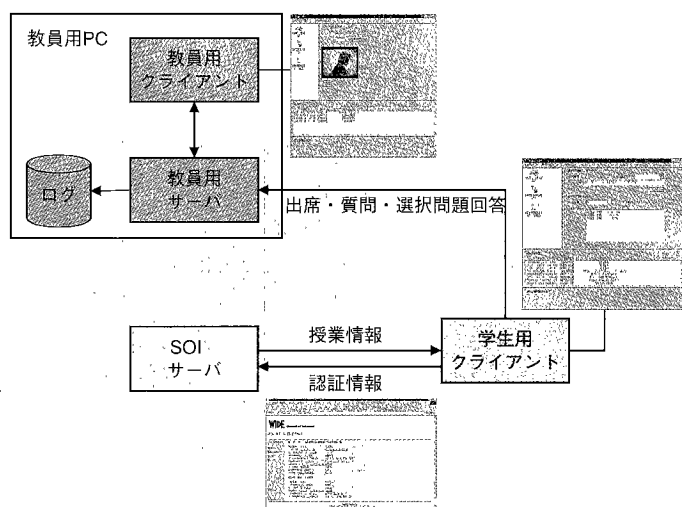


図-4 受講用インタラクティブアプリケーション

個人受講環境では、教員のいる教室に対して十分な帯域が確保できない。このような個人受講環境で、教員とインタラクティブなコミュニケーションをとる手段として、受講用インタラクティブアプリケーションを開発した。受講者は、このアプリケーションを利用して、1) 授業の選択、2) 受講 (出席)、3) 文字による質問登録、4) 選択問題提示・回答、5) 音声 (映像) による質問を行うことができ、その通信履歴は学習記録としてログに保存される。

受講用インタラクティブアプリケーションの構成を図-4に示す。教員は、教室にあるPCで教員用クライアントと教員用サーバを立ち上げ、SOIサーバに授業開始を伝えると、その授業は、学生が出席可能な状態となる。学生は、学生用クライアントを立ち上げ、電子証明証を利用した学生証か、あるいはSOI学生登録時に登録したパスワードで認証を終えると、その学生が履修・聴講している授業一覧と現在出席可能なリアルタイム授業にマークが表示され、学生はその1つを選択してリアルタイム授業に出席を登録する。学生用クライアントはその時点で、教員用サーバに接続し、教員用クライアント上で出席が確認される。また、リアルタイムに他の学生やTAとコミュニケーションをとるために、IRCの併用も行った。

このように、衛星個人環境では、RealVideoプレーヤ、RPT、受講用インタラクティブアプリケーション、ウェブブラウ

授業名	コンピュータネットワーク概論	インターネット応用	無線通信応用工学	メディア学概論	革新企業の戦略分析
実験期間	1999年9月～2000年1月	2000年4月～7月	2000年4月～7月	2000年5月～10月	2000年9月～11月
広帯域・教室	米国ウィスコンシン大学 奈良先端科学技術大学院大学 慶應義塾大学	早稲田大学 慶應義塾大学	東京大学 慶應義塾大学 (*)	東京工科大学 慶應義塾大学 (*)	佐賀大学 慶應義塾大学 (SFC) 慶應義塾大学 (森ビル) 慶應義塾大学 (三田キャンパス)
衛星・教室					慶應義塾大学 (KBS) 他国内2カ所
衛星・個人		国内モニタユーザ 96名	国内モニタユーザ 31名	国内モニタユーザ 約18名	国内ユーザ7名
一般・個人		国内外SOIユーザ 127名	国内外SOIユーザ 56名	国内外SOIユーザ 93名	国内SOIユーザ 63名

表-2 実験授業と実験サイト

ず、IRCクライアントを同一のPC上で統合的に利用しながら、大学で行われている授業をリアルタイムに、比較的高品質な映像・音声の講義と質疑応答などを行いながら授業受講を行う環境を実現した。

一般・個人受講環境

一般の個人受講環境は、電話回線、ISDNなどを利用したインターネットプロバイダ経由のIPv4接続を持つPCで受講を行う環境であり、100以上の多数のサイト数を想定して設計した。

受講に利用するツールは、すべて衛星・個人受講環境と同様であるが、RealVideoによる映像・音声の配信は、個人の接続環境によって28.8kbps～64kbpsなどの低帯域版のストリームとなる場合があるという違いがある。

実験と評価

本プロジェクトでは、1999年9月より、前章で述べた各受講環境に適合するサイトを構築し、実際の大学で行われる授業を用いて実証実験を開始した。2000年11月までに実施した実験授業と実験サイトを表-2に示す。すべての授業はGIOSシステムによるリアルタイム授業と、SOI基盤環境を利用したオンデマンド授業とを併用した授業として提供された。

実験授業

「コンピュータネットワーク概論」は、日米の教員2名が、それぞれの大学から得意な分野の講義を実施し、3地点を接続して全45回の講義を日米3大学の学生で共有した。言語の問題、時差の問題、学期のずれなどは、アーカイブ授業を併用することで解決した¹³⁾。「インターネット応用」も同様に早慶両大学の教員あわせて3名が、このテーマに沿ったトピックスを早慶それぞれから交代で講義を行った。同時に、衛星・個人と一般・個人環境から受講する、合計133名の履修者に対してリアルタイム遠隔授業を実施した。「無線通信応用工学」と「メディア学概論」は、それぞれ東京大学、東京工科大学から講義を行い、それを慶應

義塾大学で受講し、同時に個人環境に向けた遠隔授業も実施した。「革新企業の戦略分析」では、GIOSで定義した全4種類の受講環境にいる受講者が同時に授業に参加する実験を行った。また、広帯域・教室サイトと衛星・教室サイトからの学生発表などもまじえ、全教室サイトがインタラクティブに授業に参加する試みを行った。

なお、実験に参加した各大学・キャンパスでは授業を履修可能な科目として設置し、それぞれの大学で単位を授与した(表-2内(*)のついた大学を除く)。

実験構成

各GIOS環境を構築した実験サイトの全体像と、各GIOS環境に対する音声・映像のための通信の流れを図-5に示す。広帯域・教室受講環境としては、米国ウィスコンシン大学、奈良先端科学技術大学院大学、東京大学、早稲田大学、東京工科大学、佐賀大学、慶應義塾大学の7大学が参加した。広帯域IPv6ネットワーク基盤は、日米間の国際回線部分をAPAN/Transpac (Asian Pacific Advanced Network Association)、国内回線部分をJGN (Japan GIGABIT Network)、JB (Japan Research and Development Network Association)、WIDEプロジェクトによって試験的に開発・運用がなされている高速回線上に構築した。また、各IPv6の実装はWIDEプロジェクトで開発されたKAME¹⁴⁾を用いた。

図-5の青線はIPv6マルチキャスト通信の流れを示し、赤線はIPv4ユニキャストを示す。広帯域教室環境のPCから発信されたDVTSからのストリームは、IPv6マルチキャストを利用して他の広帯域教室サイトで受信する(A)。そのストリームを衛星教室サイトで受信するために、衛星教室環境に設置されたDVTSが稼動するPCは所定のIPv6マルチキャストアドレスにjoinメッセージを送り、そのjoinメッセージはIPv4の地上回線を経由して衛星送信サイトにあるマルチキャストルータに届けられる(B)。マルチキャストルータは、要求を受けたIPv6のマルチキャストアドレスのストリームを、衛星側に送信することで、各衛星サイトに配信される(C)。このような流れでIPv6マルチキャストによる講義映像は衛星教室環境へ配送される。

オレンジ線は、IPv4マルチキャスト通信の流れを示す。

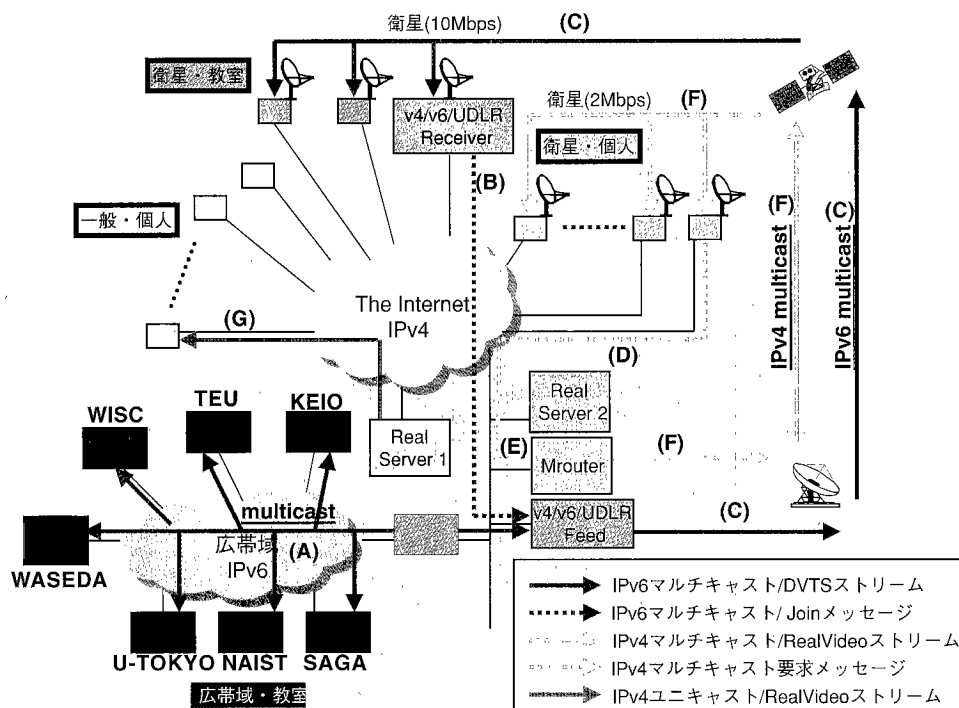


図-5 GIOS実験環境：映像音声の流れ

RealVideoストリームは、衛星・個人サイトから地上回線を經由してRealServer2に接続要求が送付されると(D)，RealServer2からIPv4マルチキャスト通信を利用して各衛星個人サイトに配信される(E)。一般個人環境は、RealVideoサーバ1にユニキャストで接続してRealVideoによる講義映像を受信する(F)。なお、図中では示していないが、教室でエンコードされたRealVideoのデータは、慶應義塾大学に設置されたRealVideo1に送られて配信されるとともに、RealVideoサーバのスプリット機能を利用して、衛星送信サイトに設置したRealServer2にも送信され、一般個人環境と衛星個人環境に同じ映像ストリームが配信される。また、受講用インタラクティブアプリケーションの教員用クライアントおよびRPTのために、広帯域教室環境はIPv4インターネットへの接続も利用している。

評価

教室受講環境

広帯域教室環境では、IPv6マルチキャストアプリケーションを継続的に実運用したことでいくつかの課題が明らかになった。トポロジによってはRP(ランデブーポイント)の負荷集中からくるパケットロスが発生し、ユニキャストでの運用時と比較してDVTSでの映像品質が劣化するという問題が観測された。また、IPv6ユニキャスト経路が不安定になった場合に、広帯域を利用しているDVTSでの映像が一時的に途切れるなどの問題も発生した。より効率のよいツリー構成、最適なRPの分散配置、ストリーム数や分岐によるルータの負荷分散を考慮したトポロジの設計、敏速なトラブル解析のために有効なモニタの仕組みなどが今後の

課題である。

運用面では、安定した運用を低コスト(人的資源)で実現することが要求されたが、操作をなるべく遠隔に行えるように工夫することで、人数の削減が実現できた。たとえばDVTSを拡張して受信パケットのロス値をログに残す機能を追加したことにより、教室で実際に画像を確認するのではなく、遠隔より品質確認が可能となり、オペレータの負担が軽減された。また、RPTを利用したことにより、各教室での資料表示作業を無人化させることができたことも運用コスト削減につながった。準備にかかる時間の短縮も課題である。教室によっては毎回休み時間に機材搬入と設置を行うため授業開始に間に合わないケースもあった。定常的な安定運用のためには、マシンやAV機器などの必要機材を教室に常設しておき、かつ常に稼動状態になっていることが不可欠であることが認識された。

衛星教室環境では、地上回線の場合と比較して、各教室における帯域確保のための導入コストや導入にかかる時間が小さく、マルチキャストを低コストでサポートすることができるため、受講者数が増大した場合のスケラビリティを考慮すると、有効な受講手段であることが実証された。しかし、地上回線でのIPv6マルチキャストが不安定になった場合に、衛星送信を行うサイトそのものでストリームが受信できなくなることがあり、衛星教室サイトでの受講ができない場合もあった。そのような場合にバックアップとして、衛星個人用に配信されているRealVideoを代替として利用したが、授業を実施するサイトから衛星送信サイトへの通信をユニキャストにするなど、安定運用のための機構を検討する必要がある。また、DVTSの映像フレームレートの最適選択も重要な課題として残された。本実験では広帯

域サイトと同じマルチキャストストリームを利用したため、DVTSの映像フレームレートを衛星回線の上限にあわせて運用したが、今後は、広帯域サイトと衛星教室サイトで異なるフレームレートの映像を送るために中継点でレート変換をするなどの技術的な解決が必要である。

教室環境で受講した学生に対するアンケート結果では、9割の学生によって授業内容が価値あるものだったと評価されていることから、遠隔講義に品質的な問題がなかったと判断できる。また、インターネット応用の受講学生のうち約6割は、他大学の授業を受講できることに肯定的な意見を述べていた。授業に関する制度の違いや学生のバックグラウンドの違いなどを克服して、大学間授業共有を有効に活用するためには、今後もノウハウの蓄積や、授業共有にむけた大学間の積極的な協調が必要である。

個人受講環境

衛星個人環境では、高品質で受講することができたため臨場感、持続性、理解度などが64kbps以下の場合と比較して向上したという意見が寄せられた。しかし、地上回線として電話回線によるプロバイダ接続のみをサポートしたが、地上回線が不安定な場合に映像が途切れるなどの問題があったことや、ダイヤルアップ以外で地上回線を持っているユーザをサポートできなかったことで、ユーザ環境に制限があった点が、今後の課題として残された。

一般個人環境の中には、映像が十分な品質で受信できない環境もあり、音声だけの配信に対する希望も出ていたが、その問題は一般的なインターネット接続状態の向上により解決されると考える。

資料共有に利用したRPTは、通信に利用しているIRCサーバの負荷状態、IRCサーバへの接続状態による遅延や切断が生じる可能性があるという欠点もあり、自動再接続機能の実現や独自サーバによる運用など、トラブルに対しての対応策が今後の課題である。またIRC網の伝播遅延による同期の遅延が問題になる場合もあるため、場合によっては遅延の少ない別の方法で1対多の通信路を確保することも考慮すべきである。

受講用インタラクティブアプリケーションとIRCによる質疑応答では、RealVideoのパッファリング機能に起因して、受講者が視聴している映像音声は、教室での進行と約30秒のずれが生じることから、文字による質問が届くころには教室での授業は先に進んでいるという問題が発生し、授業の合間での円滑な質疑応答は困難であった。しかし、授業の最後にまとめて質問時間をとるなど、進行を工夫することで質疑応答を実現することができた。受講用インタラクティブアプリケーションだけでは、リアルタイムなコミュニケーションがとりづらいため、IRCを併用したが、多くのツールを同時に操作することが受講者にとって負担になることから、今後はツールの統合も検討する必要がある。

衛星と一般の個人環境の受講者に対するアンケートからは、自宅や職場で大学の授業を受講できることについて90%以上の受講者が肯定的な意見を述べ、一般にこの学習スタイルが受け入れられていることが分かる。また、オン

デマンド授業とリアルタイム授業の併用に関しては、アンケート結果から両方の組合せによる受講形態が最も望ましいと評価された。リアルタイム授業の臨場感は、授業に参加することへのモチベーションを促進し、オンデマンド授業の自由度と併用することで、社会人など定期的に時間を作ることが困難な学習者にも最適な環境を提供することができた。

結論

次世代インターネット環境として、IPv6、マルチキャスト、UDLR、衛星技術などの次世代インターネット技術を統合し、その環境の上で大学の遠隔授業活動を展開し、次世代インターネット技術の有用性を実証した。他大学の学生とキャンパス外の学生などの受講者、授業提供者からのフィードバックを収集し、次世代インターネット環境が、マルチメディアストリームなどに強い要求がある教育環境に十分貢献できることを実証した。またリアルタイム授業受講とオンデマンド授業受講の組合せが個人受講者にとってさまざまな点から学習環境として望ましい環境であることが実証された。

謝辞：本研究を進めるにあたり、実験にご協力くださった、慶應義塾大学、東京工科大学、東京大学、奈良先端科学技術大学院大学、早稲田大学、佐賀大学、ウィスコンシン大学の諸先生方ならびに学生の皆様、授業TA/SA、衛星モニタの方々に感謝いたします。また、さまざまなサポートをしてくださったWIDEプロジェクトの皆様にも感謝します。最後に、常に研究を支えてくれたSchool of Internet研究グループの諸氏に感謝の意を表します。なお本研究の一部はIPAの次世代アプリケーションプロジェクトの一環として実現されています。

参考文献

- 1) 村井 純: 生きたインターネット研究への取り組みと成果 ― WIDE Projectの10年, 情報処理, Vol.39, No.5 (May 1998).
- 2) WIDE大学School of Internet: <http://www.soi.wide.ad.jp/>
- 3) 大川恵子, 伊集院百合, 村井 純: School of Internet ― インターネット上のインターネット学科の構築, 情報処理, Vol.40, No.10 (Oct. 1999).
- 4) Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL) 1.0 Specification, W3C Recommendation 15-June-1998 (<http://www.w3.org/TR/REC-smil/>).
- 5) 伊集院百合, 大川恵子, 村井 純: インターネット上の授業アンケートシステムの設計と実装, Internet Conference 98 (Dec. 1998).
- 6) 慶應義塾大学バーチャルユニバーシティ研究グループ: オンライン授業調査に関する報告, 湘南藤沢学会 (Nov. 1997).
- 7) 村上陽子, 小川浩司, 大川恵子, 村井 純: 電子証明書を用いたインターネット成績通知システムの設計と実装, IC99 (Dec. 1999).
- 8) 秋田百合: インターネットにおける大学授業を積極的に活用した生涯学習支援環境の構築, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科1999年度修士論文.
- 9) Ogawa, A., Kobayashi, K., Sugiura, K., Nakamura, O. and Murai, J.: Design and Implementation of DV Based Video over RTP, Packet Video Workshop 2000.
- 10) 小川浩司他: インターネットを利用したリアルタイム中継における資料共有システムの設計と実装, 情報処理学会第61回全国大会講演論文集 (Oct. 2000).
- 11) 長橋賢吾他: GIOSプロジェクトにおける高速マルチキャストネットワークの構築, 情報処理学会第61回全国大会講演論文集 (Oct. 2000).
- 12) 泉山英孝他: IPv6衛星マルチキャストを利用した遠隔教育環境に関する実証実験, 情報処理学会第61回全国大会講演論文集 (Oct. 2000).
- 13) Okawa, K., Kato, A., Gast, J., Atarashi, R., Toyabe, Y., Landweber, L. H. and Murai, J.: Global Collaboration for the Joint University Course on the Next Generation Internet, INET2000.
- 14) KAME: <http://www.kame.net/>

(平成12年12月4日受付)

