

インターネットを利用した映像配信とオンライン試験の現状

白 井 靖 敏

Current Situation of Video Delivery and Online Exam on the Internet

Yasutoshi SHIRAI

目 的

ADSL^{注1}などの普及につれて一般家庭の接続環境がかなり改善され、今ではブロードバンドという言葉聞くことさえ珍しくなくなってきた。Webカメラとインターネット回線を利用したTV会議システムによる遠隔授業など、さまざまな活用の可能性が現実感をおびてきている。1996年、名古屋女子大学の私の研究室と東京の幕張とをインターネットを経由して接続し、映像と音声の双方向送受信をテストしたが、当時は回線速度が遅く、モザイク状態の静止画で固まることの多い貧弱な映像でしかコミュニケーションがとれなかった。特にトラフィックの多い昼間では映像の送受信ができなく音声のみとなった。ただし、貧弱な回線速度であっても音声は、比較的クリアな状態が保たれた。当時でも、NTTの専用電話回線を利用したテレビ電話システムを使うことによってクリアな映像と音質を保つことができたが、残念ながらインターネットを利用していないため、高額な投資と接続料を必要とした。その実践運用がデジタルコミュニティ推進の一環¹⁾として三重県各所で行われた。現在でも三重県立みえ夢学園高等学校など一部の学校で予算の許すかぎりにおいて実践されている。

数年前から、TV会議システム技術を利用した遠隔授業の実践的研究²⁾など、関連する研究が急速に進み、2003年および2004年の教育工学会全国大会講演論文集には、TV会議システムを用いた合同授業³⁾や、遠隔教育のためのブラウザデザイン⁴⁾など、関連研究を含むと100編以上の報告があり特集が組まれている。また、毎年、文部科学省が主体となって開催している情報処理教育研究集会においても、15年度、16年度の講演論文集には、教室授業とインターネット授業の併用における問題点⁵⁾など、遠隔授業における課題などを含む様々な研究が数多く掲載されている。

しかしながら、TV会議に参加するとか、遠隔授業を受講するためには、特別な装置や、場合によっては専用回線を必要とすることが多く、一般の公衆回線を使っている家庭等から、しかもパソコンに特別な装置を導入しないで遠隔授業を負荷なく受講するための研究は多くない。

ハードウェアおよびソフトウェアの両面において、新たに高額な投資を行わず、Windows標準のソフトウェアだけで、一般家庭から授業を受講したり、学校行事などを見ることができることが重要だと考える。なぜなら、高い費用のかかる特別なシステムを一般家庭に求めること

はできないからである。そこで、2002年から2003年に三重県の県立学校で学校間VPNと、一般公衆回線によるインターネットを利用したTV会議システムの実験を行った⁶⁾。それは、遠隔授業や学校行事などのリアルタイム配信を目的としたものであった。本稿では、この実験を基礎として、ADSLの普及などによって一般家庭におけるインターネット環境がずいぶんよくなってきている現状をふまえ、一般の公衆回線を使った映像配信の現状と、量販されているパソコンに費用のかかる特別なハードウェアやソフトウェアを付加しないで受講できる遠隔授業の可能性を考察する。

また、遠隔授業等による受講では、オンラインでの課題提出やリアルタイムな授業評価、試験が家庭等、学校外から可能にすることも考えなければならない。オンラインによる試験については、NetTest⁷⁾の研究など、インターネットの普及につれて関連研究の報告が増加しており、今では、WBT (Web Based Training)^{注2)}で数多く実施されている。また、e-learningのコースウェアの中でのトレーニングに多く取り入れられ、その学習効果⁸⁾などの実践的な研究もある。オンラインによる授業評価についても、e-learningによる授業評価に関する研究⁹⁾をはじめ、多くの報告がある。こうしたオンライン試験やオンラインによる授業評価は、学習コンテンツとともに、最近では、CMS (Contents Management System)^{注3)}や、LMS (Learning Management System)^{注4)}といったシステムの中に総合的に組み込まれつつある。

これからのe-learningのあり方を考える上では、対面授業の中で効果的なコンテンツの利用や、授業評価、試験などについてのシステム化も重要であると考えられる。ここでは、実際のオンラインによる授業評価や試験について、本学の学生の実態からみて、どの程度利用してくれるのか、意識はどうかなどを考察する。

方 法

1. 映像配信

量販されている一般的なパソコンに費用のかかる特別なハードウェアやソフトウェアを導入せず、通常公衆回線によるインターネットを利用して映像を受信するには、送信側として、動画配信サーバ (Windows2000 server など) とTVカメラ (WebカメラやDVカメラ) およびキャプチャ機器 (講義室等ではネットワークに接続したノートパソコンとキャプチャカード^{注5)}) を用意し、撮影してキャプチャした映像をエンコード^{注6)}して送信するだけでよく、特別に高価な装置は必要としない (図1)。今回は、キャプチャカードを必要としないDVカメラ (画面サイズは720×480ピクセル、フレームレートは30fps、圧縮率は約1/5) を利用した。撮影した映像データは、IEEE 1394^{注7)}により直接パソコンに取り入れた。

映像の配信では、インターネットに負荷を与えない程度 (視聴する側のストレスをできるだけ少な

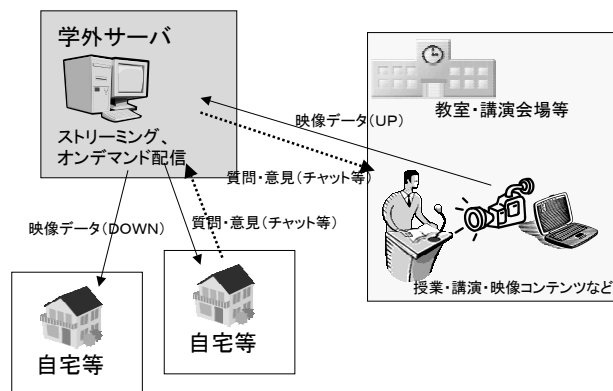


図1 映像のストリーミングやオンデマンド配信におけるシステム概要

くする程度)の圧縮処理をしなければならぬ。高品質な MPEG-1^{注8}や MPEG-2が理想ではあるが、現状のインターネット配信では負荷が大きく不向きである。今回のストリーミング配信^{注9}では、通信速度の遅い回線でも負荷の少ない画質で、高圧縮の映像の配信ができる MPEG-4を用いた。

また、DVカメラを用いた映像記録と蓄積には MPEG-2、そして、記録映像のオンデマンド配信には WMV^{注10}を用いた。後者は非常に圧縮率が高く画質も MPEG-1並みで、MPEG-1と同じ320×240サイズで圧縮しても MPEG-1の約半分のファイルサイズで映像を収録することができることと、Windowsに標準で装備されている WindowsMediaPlayer で簡単に再生でき点が優れているためである。

2. オンライン授業評価と試験

オンラインによる授業評価と試験には、ごく普通の Web サーバ(今回は RedHat Linux8.0^{注11})を準備し、プログラムは kentweb のフリー CGI^{注12}を授業評価と試験用に編集した。授業評価は毎回、授業が終わったときに携帯電話から Web サイトにアクセスして、評価と感想や質問事項を入力するようにした。オンライン試験は、選択肢問題や記述問題を多く取り入れるため入力スペースが大きく携帯電話からでは難しいので、インターネットに接続したパソコンからのアクセスのみとした。その場合は自宅等にインターネット接続環境が整っていることが条件となる(図2)。こうした試験では、学校で行われる通常の紙ベースによる一斉受験とは異なり試験監督ができないため、教科書、ノート、参考書等、その他さまざまな資料の参照は許可をするとともに、電卓や辞書などのツールの使用も許可をした。また、他者(友人や親など)による替え玉受験を行わないよう監視することもできな

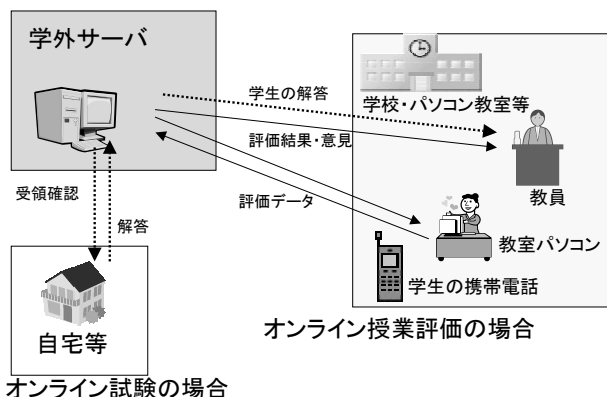


図2 オンライン授業評価や試験におけるシステム概要。オンライン試験の場合の教員はインターネット環境があればどこに居てもよい。

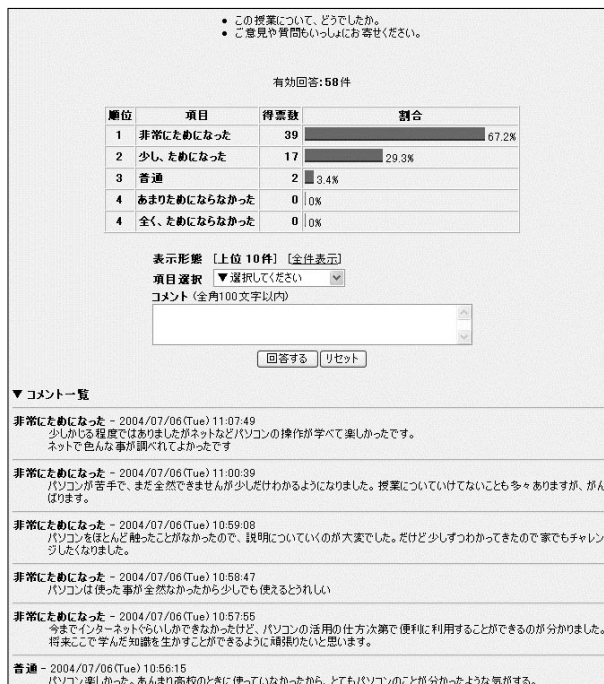


図3 オンライン授業評価例

いため、授業に出ていないとわからない設問を多用するなど、他者が受験しても、あるいは相談しても利益の少ない試験内容にするよう配慮した。

オンライン授業評価は「インターネット演習」(家政学科3年)、試験は「情報処理概論」(家政学部1年)で行った。授業評価画面および試験画面の例を、それぞれ図3と図4に示す。試験については、2004年7月19日(22:00-24:00)に限定した。解答の処理方法は、記述問題が多いため自動採点化はせず、Webページより「送信」することによって、メール形式で教員宛に届くようにした。それと同時に、受験者宛に受領確認メールを自動送信するようにもした。エラー対策として、エラーで送信できなかった場合は、次の日に大学で紙ベースの試験を受験できるよう配慮した。送信成功の場合でも、事情によって翌日紙ベースの受験を可能にもした。システム上の処理を次にまとめる。

- (1) Sendmail (CGI-Kent Web 参考) による解答・受領メールを自動送信する。
- (2) 同じ IP アドレスから2回以上の送信を不許可とする。
- (3) アクセス時間は2時間に限定する。
- (4) 試験問題ウインドウは60分で自動クローズする。
- (5) ID・パスワードによる認証処理は行わない。
- (6) 不正受験によるシステム上の対策は行わない。
- (7) 試験と同形式の練習問題を紙ベースで配付したり、Webでも受験用の練習問題を用意するなど、不公平感をなくす。

(5)と(6)について、IDやパスワードで個人認証をしても、他人に教えれば意味がない。また、不正受験対策として指紋認証やWebカメラなどを用いて本人確認をすることも考えられるが、指紋や映像は本人で、実際には隣で他者が受験しているケースも考えられるので、効果が期待できないからである。今回は、学生を全面的に「信頼」することとした。

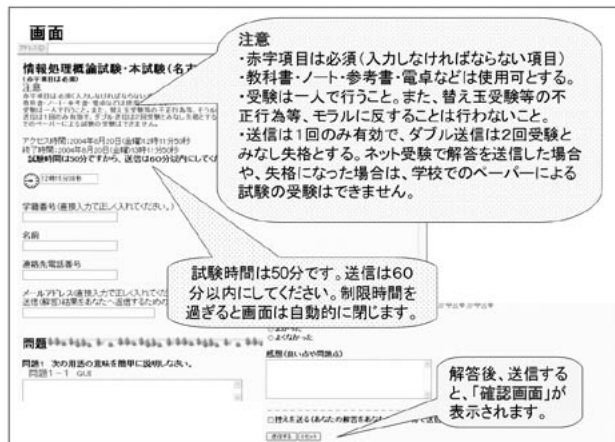


図4 オンライン試験の例

結 果

1. 映像配信

(1) Webカメラ(約30万画素)を用いたソフトウェアエンコードによるストリーミング配信

①ライブ中継

最大6ヶ所からのライブ映像をWindows2000サーバ経由で三重県立学校間VPN「くものす」⁶⁾に配信した。また、動画を負荷の小さいスチル写真に切り取り一定時間間隔で配信する簡易ストリーミングでも試みた。ソフトウェアエンコード処理により約15秒の遅延があったが、視聴には問題はなく、映像サイズ160×100ピクセルで、音声とも良好であった。映像サイズを大きくすると極端に負荷が大きくなるため2カ所以上同時受信には無理があった。学校祭の各催し

物のライブ中継や講演会の中継というような利用には有効であると考えられる。

② TV 会議

Windows 標準のダイアラや NetMeeting を利用し、Web ページ上で TV 会議の実験を行った。遅延が約15秒あるため、会議では1回のやりとりが30秒かかるのでリアルタイムの会議には十分とは言えなかった。特別なハードウェアやソフトウェアをパソコンに付加しなければ、現状では遠隔ゼミなどでの利用は難しい。まだまだ、パソコンの性能アップやエンコーダの技術改良を待たなければならないのが現実である。また、ダイアラはファイヤーウォールの設定が影響して、同一学校内ではうまく利用できるものの、学校間 VPN や一般家庭からではうまくいかなかった。ファイヤーウォールの設定についてはセキュリティ管理との兼ね合いがあり、オープンするポートについての議論が必要で意見が分かれるだろう。

(2) DV カメラを用いたオンデマンド配信

講義や講演のオンデマンド配信では、その内容を HDD に蓄積し、学生がいつでもどこでも視聴できるようにする必要がある。そうした場合、前項で述べたストリーミング配信では映像が蓄積できないため、配信過程で適切なファイル変換を行い保存しなければならない。今回、映像の蓄積には MPEG-2 を用いたが、それをそのまま配信したところ、ADSL の環境のもとでも、受信に時間がかかり見るに耐えない状況であった。ブロードバンドが普及してきてはいるものの、まだ、現在のインターネットの整備状況からみて、高画質での受信にはストレスがある。中・低画質（320×200ピクセル、低ビットレート）の WMV 形式で作成して配信すると、20分映像で約1分のロード時間を必要とするが、比較的良質な映像が受信でき、通信状況も悪くはない（10M の ADSL 接続）。

2. オンラインによる授業評価と試験

(1) 授業評価

「インターネット演習」（家政学科3年）で実施した結果、学生の反応は良好であった。学生が評価データを送信したとき、ただちに集計された結果を学生も教員もリアルタイムで参照できるため、フィードバックしやすく効果大きい。同時に、簡単なコメントも記入できたので、感想も含めて、質問にも対応が容易であった。しかし、次の問題点がある。

・携帯電話からアクセスする場合

携帯電話は基地局を経由するため、グローバル IP が割り当てられたインターネット上のサーバが必要である。そのため、本学内に置かれたローカル IP の割り当てられたサーバには直接アクセスできない。学外公開しているサーバに、この授業評価のシステムを構築する必要があるが、本学の Web ページの学外公開に関わる規定によって困難な面があることが分かった。

規定に、「公開されている Web ページを次年度も公開しようとする場合は、所定の更新手続きを行い、許可を受けなければならない。」「更新手続きが許可された場合は、更新時の Web ページを CD-ROM で提出しなければならない。」とある。授業後にすぐに行う授業評価 Web ページは、学生の意見などによりリアルタイムにページが更新されるため、その都度、ページの更新手続きと審査を受けなければならない規定は現実的ではない。こうした、授業評価は、すぐに学生および教員に結果がフィードバックされることが重要だからである。したがって、今のところ、学外サーバを利用しなければならない状況にある。

・パソコン教室からアクセスする場合

学内のローカル IP の割り当てられたサーバに、この評価システムを構築すれば問題はない

が、携帯電話からのアクセスも考慮した学外サーバへのアクセスの場合、パソコン室など、学内のクライアントパソコンからアクセスすると1台からのみに制限される。なぜなら、ローカルIPが教室内の各パソコンに割り当てられているので、学校外へは同じグローバルIPから出ていくことになるためである。言い換えれば、同じ人が何度も評価データを送信しないよう、同一IPから2回以上の送信を受け付けない本評価システムでは、ローカルIPの割り当てられた教室内のパソコンはすべて同一と見なされることになるからである。

(2) 試験

「情報処理概論」(家政学部1年)で行った結果、全受講者235名中36名がオンライン試験に挑戦してくれた。自宅にインターネット接続環境が整っていない場合や、整っていても「不安」が大きいと感じた学生は利用しなかったようである。

システム上、同じ問題を1回以上受験できないような時間制限と同一IPからのアクセス制限を設けたため、DHCP^{注13}などにより複数のパソコンが同じグローバルIPでインターネットへ出ていく場合など、違うパソコンでそれぞれ受験しても1人のみしか受け付けられないことになる。数名ではあるが、インターネットカフェなどで練習問題の受験をした学生から、うまくいかなかったと事前に報告があった。

オンライン試験中、教員はインターネット上で待機して、チャットまたはメールで、リアルタイムに質問等に対応できるようにしたが、3名の学生からの質問にとどまった。試験時間中のサーバトラブルも予想されるので、常に接続状況などを監視していたところ、特に問題はなかった。

自動採点について、選択式問題の場合は十分可能である(試作した)が、記述式では難しい。森田ら¹⁰⁾は解析プログラムを試作しているが、まだ、十分実用的ではない。キーワード解析、文法解析など、解決しなければならない課題が多い。現状では、メールで送信されてきた解答の自動採点はできず、印刷して採点するのが便利である。通常の紙ベースの試験より、前述したさまざまな仕掛けをする分だけ余計に手間がかかる。採点も含めて考えると、オンライン試験は、かなり「面倒」であるので、学校での紙ベースの一斉試験が「楽」なのかもわからない。

<受験者の感想>

① 肯定的意見

- ・自宅で落ち着いて試験に臨むことができた。
- ・家にいながらにして試験を受けれるのはすごいと思った。受ける前はすごくドキドキしていたけど、受けはじめたら、家なのでリラックスできたしよかったと思う。時代も変わったな〜と思った。でも、文字を打つのがちょっとめんどろかな…。
- ・好きな時間にできることがよかった
- ・書くより入力の方が早くてやりやすかった。
- ・キーボードを打つ練習になってよかったと思う。
- ・11問目が穴埋めになっていたり、家庭で気楽にできるからいいと思う。
- ・家でリラックスしながら試験を受けることができました。
- ・問題が難しかったけれど、教科書の持ち込みができたので良かったです。
- ・自宅で受けれると言うのはわざわざ学校に行く手間が省けるし、学校でテストを受けるよりもリラックスして受けれるように思うので良いと思います。
- ・家で簡単に受けれることができるのでとてもいいと思いました。学校だと焦ってしまうけど、

家でだとも落ち着いて受けることができました。

②否定的意見

- ・(キーを) 打つのが大変だった！
- ・時間がない。
- ・焦ってしまって、打ち間違えが多かったので、もう少し時間の余裕があればよかったと思いました。
- ・計算問題はオンラインだとちょっとやりにくい。
- ・キーボードをうつのが遅くて、実際に考える時間がとても少なかったです。
- ・今は手軽なパソコンがこんなに難しいとは思わなかった。
- ・紙に写すのが面倒なので計算を減らして欲しい。
- ・インターネットによる試験はキーボードを押すのが苦手な人には、不利だと思った。
- ・普通のテストと感覚が全然違うから時間間隔がわからない。今ありえないほどいそいで打つてます。

考 察

インターネットでは、パケットによる送受信をしているため、電話回線のように相手と接続したときに1つの帯域を占有することはできない。たとえるなら、だれでも、いつでも利用できる一般道路のようなもので、情報量が増えれば増えるほど渋滞して遅くなる。回線を太くすれば情報の渋滞は一時的に解消されるだろうが、また再び情報量が増えることにもつながるので、しだいに遅くなっていく。数年前から、受信速度のみを大きくして短時間で多くの情報が受信できるようにした ADSL が普及を広めている。一般家庭では、情報を送信することは少なくインターネットで検索したり、動画や音楽をダウンロードするなど受信利用が多いため、これは理にかなった方法といえる。こうした環境は、一般家庭で音楽やビデオ映像の受信を容易にするため、ますます多用されるようになり、トラフィックの増大は避けられない。今回、家庭用のパソコン付属のソフトウェアで映像受信の状況を調べたところ、NetMeeting、dialer、Media Player など、いずれのソフトウェアも、音声は問題がないが、高画質ではストレスが大きく十分でなかった。送信側のエンコードおよび回線速度により、低・中画質で320×200ピクセル程度が限界であった。現状では、一般家庭から、通常のインターネット接続を利用して、黒板の字が読める程度の画質を保ちながら遠隔で授業を受けるにはストレスが大きい。

遠隔ゼミなど双方向での動画送受信（TV 会議型）はエンコードによるタイムラグがめだち、同時接続者の数が増えると、ほとんど使えない状況にもあるので今後の課題となろう。ただ、教材コンテンツ（パワーポイントの資料など）や授業者の動画を一方的に配信（ストリーミングまたは、オンデマンド）する場合は、多少の時間的な遅れがあっても気にならず満足できる範囲である。ただし、画質は中・低にして、ビットレートを低くしないとだめなようである。この場合、双方向をどのように実現すればよいか、1つはチャットシステムを併用して、受講者は、携帯電話またはノートパソコン（個人用、大学の貸し出しなど）から質問事項などを入力して、教員側は、常に画面または、専用掲示板で対応する形が望ましいと考えられる。

オンラインでの授業評価については、携帯電話等から簡単にアクセスできるため、学生も教員も双方で、反応がすぐに確認でき、フィードバックがしやすく、効果が高いと考えられる。オンライン試験では、個人認証や不正行為などの監視ができないことや、インターネットの接

統環境やパソコンの状態などによるエラーへの対応など、多くの課題が残った。また、オンライン試験に対する学生の評価が2分した。1つは肯定的な意見として「自宅でゆっくり受験できるので便利」などで、一方は否定的な意見として「時間配分が難しい」、「キータイプが遅いと焦る」などであった。

謝 辞

本研究は、松下視聴覚教育助成・第28回実践研究助成（一般研究）および、平成15年度本学特別研究助成（個人）によるものである。

参考文献

- 1) 三重県デジタルコミュニティズ推進委員会 (1998), 学校教育分野における情報化, 三重県デジタルコミュニティズ推進委員会報告書, pp.4-35.
- 2) Yasutaka Shimizu (2002), Distance Education at Tokyo Institute of Technology, Media and Education, No.8, pp.49-58.
- 3) 立田ルミ (2004), テレビ会議システムを用いた合同授業, 日本教育工学会第20回全国大会講演論文集, pp.803-804.
- 4) 井原雄人・寺島信義 (2004), 遠隔教育のためのブラウザデザイン, 日本教育工学会第20回全国大会講演論文集, pp.821-822.
- 5) 矢島彰 (2004), 教室授業とインターネット授業の併用における問題点, 平成16年度情報処理教育研究会講演論文集, pp.326-327.
- 6) 白井靖敏 (2004), 学校間 VPN の活用実験, 名古屋女子大学紀要人文・社会編, 50号, p.137-144.
- 7) Ni, Y., Zhang, J., & Cooley, D.H. (1997), NetTest: An integrated Web-based test tool. WebNet'97, World Conference of the WWW, Internet and Intranet, AACE. pp.710-711.
- 8) 菊沢正裕・田中武之・山川修 (2004), オンラインテストの学習効果, 日本教育工学会第20回全国大会講演論文集, pp.979-980.
- 9) 堀田龍也・村上守・森下誠太 (2003), eラーニングを取り入れた大学授業における授業評価情報の分析, 日本教育工学会論文誌, Vol.27,Suppl.,pp.145-148.
- 10) 森田直樹・山口宗寿・北英彦・高瀬治彦・林照峯 (2003), 類似質問の存在に気づかせるための質問回答システム, 日本教育工学会, JET2003,p.761-762.

SUMMARY

When student attend online class off campus, their computers should be connected to the server computer on Internet. Though more people are now using broadband network, present state of high traffic density on Internet can not be easily improved.

I examined the reception of high-quality video on the Internet by using the software bundled with Windows, such as NetMeeting,dialer,Media Player, and none of them was able to provide the pictures or sounds of satisfactory quality and the maximum time lag was 15 minutes. Due to an encode system and line speed of transmission, at most 320×200 pixel was acceptable with low and medium quality video.

Some problem must be solved in various respects in future.

I made the Web page where students can take an examination and send class evaluation on the Internet off campus. As a result, opinions from students were divided into two groups. One was affirmative opinions such as "This is convenient because I can take examination slowly at home". The other one was negative opinions such as "The time allocation in the examination is difficult." and "If I am not good at typing, I get impatient."

注) 関連用語

- 1) ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line 電話の音声を伝えるのには使わない高い周波数帯を使ってデータ通信を行なう xDSL 技術の一種。「非対称 (asymmetric)」の名の通り, ダウンロードに使う電話局→利用者方向 (下り) の通信速度は最高1.5~30Mbps, アップロードに使う利用者→電話局方向 (上り) の通信速度は0.5~1Mbps 程度と, 通信方向によって最高速度が違うのが特徴である.
- 2) WBT : Web Based Training インターネットや WWW の技術を利用して教育を行なうこと.
- 3) CMS : Contents Management System コンテンツの統合や収集, 作成, コラボレーションなどを総合的に管理するシステム.
- 4) LMS : Learning Management System コンテンツの配信や管理, 学習の進捗・成績管理 (レポート作成), 受講者管理 学習コースの作成, 受講登録や管理などの総合的なシステム.
- 5) キャプチャーカード : capture card TV カメラからアナログソースとして入力されたデータは, このインターフェイスカードに内蔵されているエンコーダで符号化すると同時に圧縮・暗号化される.
- 6) Encode : データを一定の規則に基づいて符号化すること. エンコードを行なうソフトウェアをエンコーダという. データの圧縮や暗号化などがこれにあたる. エンコードされたデータを元に戻すことをデコードという.
- 7) IEEE 1394 : Institute of Electrical and Electronic Engineers 1394 次世代の高速な SCSI 規格. 最大で63台の機器をデジチェーン接続またはツリー接続することができ, 転送速度は100Mbps, 200Mbps, 400Mbps が規格化されている.
- 8) MPEG : Moving Picture Experts Group これは ISO により設置された専門家組織の名称がそのまま使われていて, MPEG-1から MPEG-4までの各規格がある. 再生品質は MPEG-1が VideoCD 並み, MPEG-2が DVD 並みである.
- 9) ストリーミング : Streaming ネットワークを通じて映像や音声などのマルチメディアデータを視聴する際に, データを受信しながら同時に再生を行なう方式.
- 10) WMV : Windows Media Video マイクロソフト社が Windows の新標準フォーマットとして Windows 2000以降の OS で標準サポートした動画圧縮形式.
- 11) Linux : 1991年に Linus Torvalds 氏によって開発された UNIX 互換の OS.
- 12) Free CGI : Common Gateway Interface. Web サーバが, Web ブラウザからの要求に応じて, プログラムを起動するための仕組みで, フリーで提供されているサイトが多い. 例として KentWeb (<http://www.kent-web.com/>) がある.
- 13) DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol インターネットに一時的に接続するコンピュータに, IP アドレスなど必要な情報を自動的に割り当てるプロトコル.

