

## インターネットを介したパーソナルコンピュータによる 遠隔授業支援システムの開発と適用

吉野 孝<sup>†1</sup> 井上 穰<sup>†2,☆</sup> 由井 蘭 隆也<sup>†2</sup>  
宗 森 純<sup>†3</sup> 伊藤 士 郎<sup>†4</sup> 長澤 庸 二<sup>†2</sup>

インターネットに接続されたパーソナルコンピュータと比較的安価な入力機器を利用した、40台の計算機が利用可能な遠隔授業支援システムを開発した。本システムは、遠隔地にいる教官が、計算機演習室に集まった学生に対して講義を行う形の遠隔授業を支援する。教官側には、リモコンカメラによる教室の映像が常時表示されており、学生のいる教室には教官の上半身の映像が常時スクリーンに表示されている。学生との質疑応答時には、教官と学生は映像と音声を用いて直接接続され、1対1のコミュニケーションを行うことができる。さらに、教官用および学生用共有カーソル、板書システム、ノートシステムなどを備えている。本システムを、大阪大学と鹿児島大学、鹿児島大学内の異なる建物、計算機演習室内での授業の3つの授業に適用した。その結果、今回適用を行った授業において、授業の理解は、本システムを用いても十分得られた。

### Development and Application of a Supporting System for Distance Learning Classroom Using Personal Computers via Internet

TAKASHI YOSHINO,<sup>†1</sup> YUTAKA INOUE,<sup>†2</sup> TAKAYA YUIZONO,<sup>†2</sup>  
JUN MUNEMORI,<sup>†3</sup> SHIRO ITO<sup>†4</sup> and YOJI NAGASAWA<sup>†2</sup>

We have developed a supporting system for distance learning classrooms via Internet, which can consist of 40 personal computers and inexpensive input equipment. This system may support a classroom, in which a teacher lectures for students in a remote computer practicing room. In the teacher side, a picture of the classroom is always displayed by a remote control camera, and the upper half of the teacher's body is always seen on a screen in the classroom. For questions and answers a direct connection between the teacher and any student in the classroom can be set up for video and audio signals. Additionally, this system is equipped with shared cursors between a teacher and students, a blackboard system and a note system. Three kinds of distance learning classrooms have been tried; (1) between Osaka University and Kagoshima University, (2) between two buildings in Kagoshima University, and (3) within a computer practicing room. In these applications, it has been found that better understanding may be performed for students by this system.

†1 鹿児島大学工学部生体工学科

Department of Bioengineering, Faculty of Engineering,  
Kagoshima University

†2 鹿児島大学工学部情報工学科

Department of Information and Computer Science, Faculty  
of Engineering, Kagoshima University

☆ 現在、京セラコミュニケーションシステム株式会社

Presently with Kyocera Communication Systems Co.,  
Ltd.

†3 大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻

Department of Informatics and Mathematical Science,  
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

†4 鹿児島大学工学部電気電子工学科

Department of Electrical and Electronics Engineering,  
Faculty of Engineering, Kagoshima University

#### 1. はじめに

現在、ネットワークの高速化とマルチメディア環境の普及により、それらを教育に利用した、遠隔授業支援システムの検討と開発がさかんに行われ始めている<sup>1)~7)</sup>。我々は、低コストでかつ効果的な遠隔授業支援システムの構築を目指している。現在、専用線を用いたシステムは多数報告されているものの<sup>1)~5)</sup>、インターネットを用い、パーソナルコンピュータ（以下、PC）のみで構築された遠隔授業支援システムの検討や適用を行った例はない。そこで我々は、既存の計算機資源を利用した比較的安価な、1人1台、計40台のPCを用いることが可能な遠隔授業支援システムを

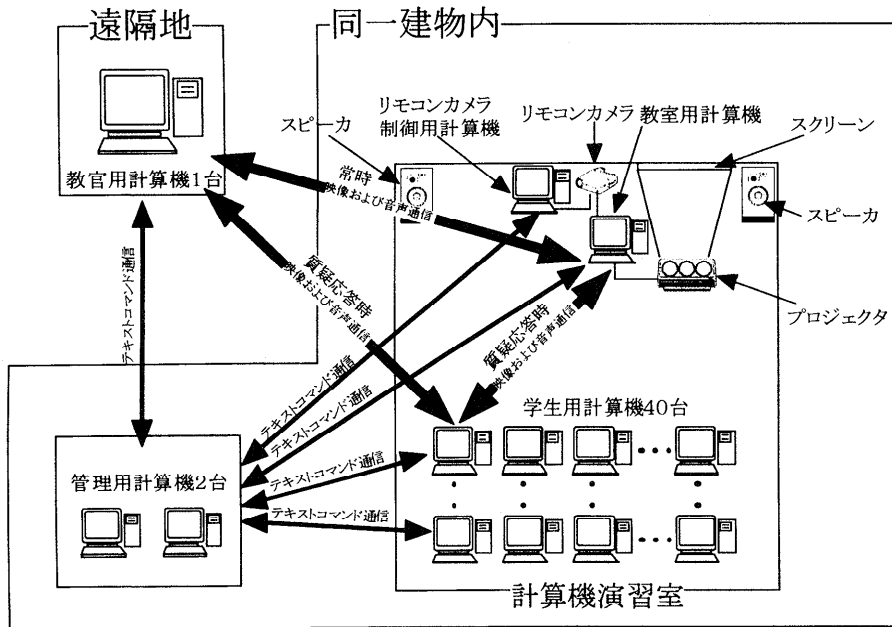


図 1 遠隔授業支援システム構成

Fig. 1 Configuration of distance learning classroom system.

実現した。

我々が検討する遠隔授業支援システムは、教官は遠隔地におり、学生は計算機演習室に集まり、互いの通信はインターネットを利用する形のシステムである。教官側の計算機には、リモコンカメラによる教室の映像を常時表示し、教室のスクリーンには教官の上半身の映像を常時表示する。学生との質疑応答時には、直接、教官と映像および音声接続を行い、1対1のコミュニケーションが可能である。学生側の計算機には、つねに授業の資料が表示されており、教官側の操作と連動して動作する。

本論文では、2章で本システムの構築方法とシステムの概要について、3章で本システムを3つの授業へ適用した状況とその結果をもとに追加と改良した機能について述べる。4章では適用結果に基づいた本システムの評価とその考察について述べる。そして、5章で本論文のまとめを行う。

## 2. 遠隔授業支援システム

### 2.1 システム設計方針

我々の計算機演習室には、次の計算機環境が備えられている。

- 40組の計算機、15インチモニター、CCDカメラ、マイク

- プロジェクタ、スクリーン、スピーカ
- 各計算機はEthernet上にあり、インターネットに接続

このような環境を利用した遠隔授業支援システムを構築する際に、次の要望があった。

- 授業で利用するために40名まで対応可能とする。
- インターネットを介して遠隔授業を可能とする。
- 教官と学生の1対1の質疑応答を可能とする。
- 遠隔地の教官が教室の様子を把握可能とする。
- 各学生の計算機上に授業中の教官と同じ資料を表示し、共有カーソルを持つシステムとする。

以上のような計算機環境と要望をもとにシステムの構築を行った。

### 2.2 ハードウェア構成

図1に遠隔授業支援システム全体のイメージを示す。図に示すように、計算機としては、教官用1台、学生用40台のほかに、管理用2台、リモコンカメラ制御用1台、教室用1台を用いている。そのほかに、リモコンカメラ、プロジェクタ、スピーカを使用している。以下に各装置の仕様について述べる。

#### (1) 学生用計算機

各学生が利用する計算機一式は、計算機として、PowerMacintosh 8100/100AV (Apple Computer)、モニターとして、15インチのApple Multiple Scan 15

Display (Apple Computer), 学生の映像と音声を取り込むための CCD カメラ (QCAM, Connectix) とマイク (PlainTalk Microphone, Apple Computer) である。これらは、既存の機器である。

#### (2) 教官用計算機

教官用計算機は、PowerMacintosh (Apple Computer) の機種とする。そのほかに必要な機器としては、映像と音声を取り込むための CCD カメラとマイクである。

#### (3) 管理用計算機

管理用計算機は、主として共有カーソルなど教官側と学生側で同期的な動作を実現するための、いわゆるリフレクタである。利用している計算機は学生用計算機と同一仕様である。管理用計算機を導入した理由は、遠隔地からの通信は公共の通信網を使用するので、教室外の通信量を減らすためと、教官用計算機の負担を減らすためである。また、2台必要とする理由は、接続実験を行ったところ、同時に接続できる計算機台数が31台までだったためである<sup>8)</sup>。この台数制限は、計算機間通信に利用している NetGear の開発に用いているコンポーネント QuickTime Conferencing (Apple Computer) の仕様によるものと思われる。

#### (4) リモコンカメラ

リモコンカメラは、教室の正面上方にあり、遠隔地の教官が、教室全体から学生1人1人まで、教室内の様々な映像を得るために用いる。機器としては、VC-C1 Mk II (Canon) を用いており、パン角、チルト角および最高8倍までのズームを教官が遠隔地から制御可能である。

#### (5) リモコンカメラ制御用計算機

リモコンカメラ制御用計算機は、PowerMacintosh 9500/120 (Apple Computer) であり、リモコンカメラと RS-232C ケーブルで接続されており、教官側から送られてくるリモコンカメラ制御用命令はこの計算機を介して、リモコンカメラへ伝えられる。

#### (6) 教室用計算機

教室用計算機は、授業中に教官と教室間で、常時、映像と音声の通信を行うために用いる。計算機は学生用計算機と同一仕様であり、リモコンカメラの映像信号が入力されている。

#### (7) プロジェクタ

教官側から送られてきた教官の映像を教室の学生に伝えるために、教室用計算機のビデオ信号出力は、プロジェクタ (TH-M1083J, パナソニック) を介して教室のスクリーンに約 100 インチの大きさで表示される。

### 2.3 ソフトウェア構成

本システムのソフトウェアは、板書システム、ノートシステム、映像および音声切替えシステムと計算機間マルチメディア通信を行うためのソフトウェア NetGear<sup>9)</sup> と MediaCore で構成される。板書システムとノートシステムは、我々が開発したカード型データベース Wadaman<sup>9)</sup> をベースにして、新たに遠隔授業支援システム専用の機能を開発、追加したものである。映像および音声切替えシステムは遠隔授業支援のために、新たに開発したものである。計算機間マルチメディア通信のためのソフトウェアについては次節で説明する。表 1 に本システムの支援機能一覧を示す。また、図 2 に本システムの内部処理系を示す。図に示す NetGear がテキストコマンド通信を、MediaCore が映像および音声通信を行うソフトウェアである。

#### (1) 板書システム

板書システムは教官用計算機とすべての学生用計算機のモニタ上に表示される。これは、授業中に教官が学生に対して資料を示すために用いるシステムで、通常は、教官しか制御できない。このシステムはカード型データベース Wadaman をベースに利用しており、このカードには、普通の授業で板書されるような内容が書かれており、すべての計算機に同一の内容が表示されるようになっている。資料はあらかじめ作成したものを NetGear のファイル転送機能を用いて各学生へ送付する。板書システムには、遠隔授業の支援のために、共有カーソル、連動カードめくり、カード資料転送機能、連動カード作成、連動カード削除、連動マーカー機能があり、さらに、学生の板書システムには質問ボタンが付いている。以下、各機能について述べる。

##### ● 共有カーソル

共有カーソルは、表示されている資料中の特定の位置を授業参加者全員に示すための機能で、教官用と学生用の2種類があり、それぞれ異なる形状をしている。すべての計算機の板書システム上で同じ位置に同じカーソルが表示される。教官が自分の計算機上のマウスカーソルを動かすと、学生の計算機上の教官用共有カーソルが同じように動く。質疑応答時のみ、学生用共有カーソルが動く。

##### ● 連動カードめくり

連動カードめくりは、表示させるカード資料を変更する際に使用する。教官が連動カードめくりボタンをクリックして、表示資料を変更すると、授業参加者全員の板書システムに表示されている資料が同じカードに変更される。学生は質疑応答時のみ操作することができる。

表 1 支援機能一覧

Table 1 A list of supported functions.

支援機能	説明
映像および音声切替えボタン	計算機を使用している学生の名前が表示されており、教官がクリックすることでその計算機と映像および音声通信の接続を行う。学生の名前は、学生が本システムを利用する際に入力した名前であり、座席表として利用できる。
リモコンカメラ制御ポインタ	教官が教室全体を眺めたり、特定部分を注視するために、直感的な操作を行うための機能。マウスでポインタをドラッグするだけで、その方向へリモコンカメラのパン角、チルト角、ズームを変更する。
リモコンカメラのランダム制御機能	10 秒間隔で、リモコンカメラが授業に参加している学生の中から 1 名を選択し、その学生のアップの映像を表示する。
教官用共有カーソル	教官のカーソル位置を教官の操作に追従して、学生の計算機へ表示する。
学生用共有カーソル	質疑応答時に、学生のカーソル位置を、教官と他の学生の計算機へ表示する。
連動ページめくり機能	教官が資料をめくったときに、連動して学生側の資料も同じページを表示する。
質問ボタン	学生が質問ボタンを押すことで、教官側の映像および音声切替えボタンの学生の名前が反転して、教官に質問があることを伝える。
カード資料転送機能	教官が表示しているカード資料を学生全員へ送付するための機能。資料の追加や資料の訂正を行うことができる。また、教官と学生が質疑応答中には学生も板書システムを操作でき、この機能を利用して学生の記述した内容を全員へ転送することもできる。
連動カード作成機能・連動カード削除機能	連動して新しいカードを作成したり、カードを削除したりする機能。
連動マーカー機能	授業の資料に対し、カラーでマークをしたり、下線を引いたりする機能。蛍光ペンで資料の上をなぞる感覚で利用できる。消去も可能。

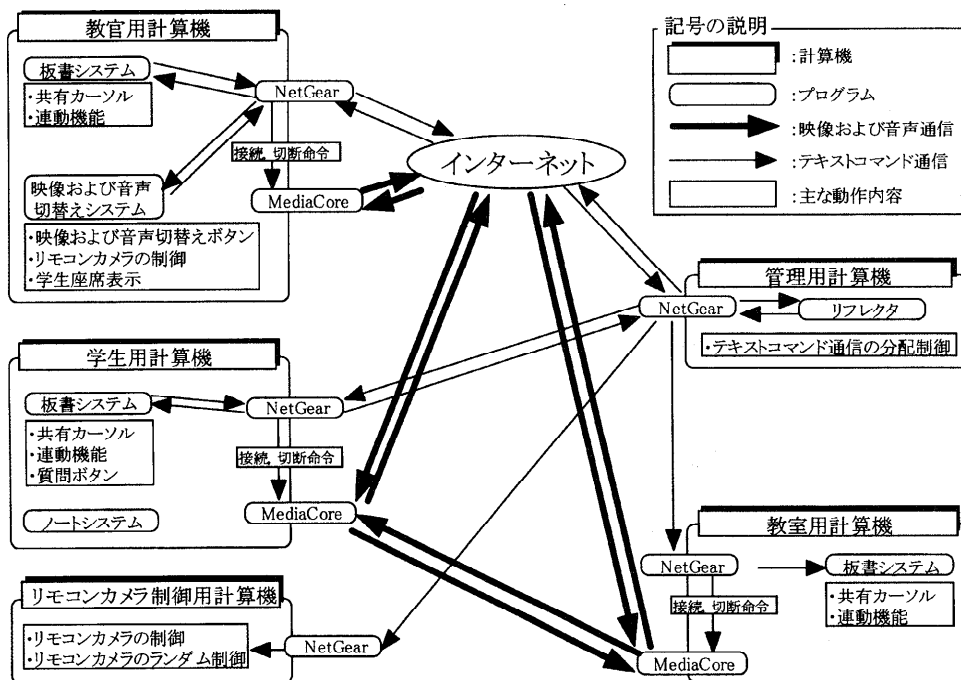


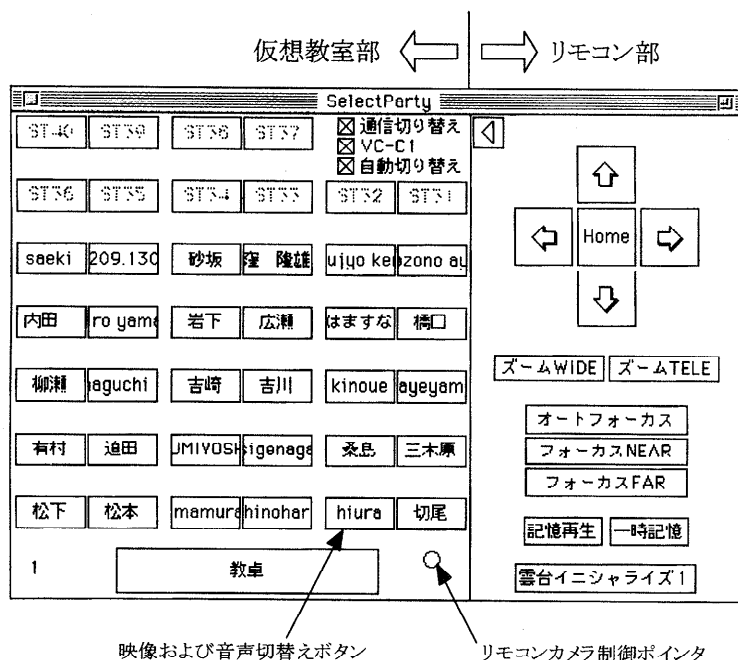
図 2 システムの内部処理系構成

Fig. 2 The configuration of the inside treatment of the system.

- カード資料転送機能、連動カード作成、連動カード削除

カード資料転送機能は、板書システムに表示中のカード資料 1 枚を、すべての計算機に転送するのに使

用する。たとえば、カード資料が誤っている際に訂正した内容を送信したり、授業中に新たに作成した資料を送信するなどが可能である。また、学生との質疑応答中は学生も板書システムに書き込むことが可能であ



映像および音声切替えボタン

リモコンカメラ制御ポインタ

図3 映像および音声切替えウィンドウ

Fig. 3 A video and audio switching window.

り、カード資料転送機能を使うことで、ある学生が作成したカード資料を全員へ送ることも可能である。連動カード作成と連動カード削除は、連動して、新規にカードを1枚作成したり、1枚削除したりする際に利用する。

#### ● 連動マーカー機能

連動マーカー機能は、授業中に資料上にマークを付けるために用いる。マークの色は9種類用意しており、青、赤、緑のそれぞれについて濃い、普通、薄いがある。資料上にマウスで矩形の範囲をドラッグすることで、その範囲をマークする。文字の上に重ねてラインマーカーとして用いたり、文字の下に表示してアンダーラインとして用いることができる。また、マークをダブルクリックするとその矩形の中に文字を入力し、メモとしても用いることができる。教官あるいは質疑応答中の学生がマークの操作をすることが可能であり、操作内容は全員の板書システムに反映する。

#### ● 質問ボタン

質問ボタンは、学生が利用する板書システムにのみ表示されており、学生が教官に対して質問などを行いたい場合に質問ボタンをクリックする。これにより、教官側の映像および音声切替えウィンドウのその学生の名前が反転し、教官に質問の意志が伝わる。教官が

その名前をクリックすると学生用の計算機と映像および音声通信を行い、直接教官とコミュニケーションを行うことができる。

#### (2) ノートシステム

ノートシステムは、各学生がノートの代わりに用いるためのシステムである。インターフェースは板書システムとはほぼ同様である。学生は通常、板書システムは制御できないが、ノートシステムは自由に使うことができる。ノートシステムは板書システムで用いるために転送されてきたファイルを、自動的にコピーしたものである。このように、板書システムとまったく同じ資料を用いることで、授業中に学生は教官が板書システムで表示する資料と同じ資料を表示させ、教官の説明を聞きながら、ノートシステムに直接メモを記入することができる。また、教官が表示する資料とは別の資料を表示することも可能である。

ノートシステムは個人が使用するためのシステムであり、通信を扱う機能はないが、板書システムと同様に、カードめくり、マーカー機能など、カード資料を扱うための基本機能は備わっている。

#### (3) 映像および音声切替えシステム

教官用計算機には、映像および音声切替えウィンドウが表示される。図3に映像および音声切替えシステムのウィンドウを示す。ウィンドウの左側が教室の学

生用計算機の配置を示す仮想教室部、右側がリモコンカメラの調整を行うためのリモコン部である。仮想教室部には、授業に参加している学生の名前がその学生が使用している計算機の位置に表示され、座席表として利用できる。この名前は学生がシステム起動時に入力したものである。このウィンドウを用いて、教室に設置してあるリモコンカメラの制御と学生用計算機との映像および音声通信の切替えを行うことができる。以下、各機能について述べる。

- リモコンカメラ制御ポインタ

仮想教室部内のリモコンカメラ制御ポインタをマウスでドラッグすることで、教室の見たい位置へ、リモコンカメラのパン角とチルト角が制御される。その際に、カメラのズームは映像の中に学生が同時に約4名入る倍率に制御される。

- リモコン部

リモコン部では、パン角、チルト角、ズーム、フォーカスを細かく制御することができる。“Home”ボタンはリモコンカメラを正面へ戻す。“一時記憶”ボタンは、任意のときのパン角とチルト角を記憶し、“記憶再生”でその位置へ戻すことができる。

- リモコンカメラのランダム制御機能

教員用計算機と教室用計算機間でのみ映像および音声通信が行われているときに、“自動切替え”がチェックされていると、10秒間隔でリモコンカメラがランダム制御される。このとき、授業に参加している学生の1人をランダムに選択し、その学生のアップの映像をとらえる。

- 映像および音声の切替えボタン

教員が学生とのコミュニケーションのために映像および音声通信を行う必要がある場合には、仮想教室部の中で、対象となる学生の名前をクリックする。するとそのボタンが反転し、教員用計算機と教室用計算機間で行われている映像および音声通信に、一時的にその学生が使用している計算機が加わり、学生と1対1のやりとりを行うことができる。

## 2.4 計算機間マルチメディア通信の構成方法

本システムでは、計算機間通信は NetGear と MediaCore を用いている。

両ソフトウェアとも、QuickTime Conferencing (Apple Computer) を利用した通信アプリケーションであり、テキストコマンド通信には TCP/IP を、映像および音声通信には UDP/IP を用いているため、インターネットに接続が可能ならどこからでも利用できる。本システムでは、NetGear をテキストコマンド通信に、MediaCore を映像および音声通信に用いて

いる。

本システムは、計算機間の通信経路にインターネットを用いているが、インターネットは帯域の保証がないという問題がある。そこで、映像および音声の接続は通常は2台で行い、質疑応答時のみ3台で行うことにしている。また、画面の同期などを制御するテキストコマンド通信は管理用計算機を通じて各計算機へ分配を行う方式を用い、インターネット上の通信量を少なくしている。

### (1) テキストコマンド通信

テキストコマンド通信の構成を図1に細線で示す。テキストコマンド通信は、教員用計算機とすべての学生用計算機とが管理用計算機を介して接続している通信である。この通信により、1回の通信容量が数十バイト程度のコマンドを、どの計算機間でも送ることが可能である。共有カーソルなど、すべての計算機が同期的に処理を行う必要のある機能や質疑応答時の映像および音声通信切替えおよびリモコンカメラの制御を実現するために用いられている。

### (2) 映像および音声通信

映像および音声通信の構成を図1に太線で示す。映像および音声通信は扱うデータサイズが大きいため、ネットワークの制約上と計算機の処理能力により、教員用計算機と学生用計算機を常時接続することはできない。そこで、必要な映像および音声通信を検討した結果、教員用計算機と教室用計算機は常時接続し、学生との質疑応答時には、一時的にその学生の計算機を加えた3台間で、映像および音声通信を行うことにした。これにより、教員と学生の1対1のコミュニケーションが行えるようになっている。

## 2.5 インタフェース

### (1) 教員用計算機のインタフェース

遠隔授業実施中の教員用計算機のモニタの様子を図4に示す。モニタ上には、教員の上半身の映像、リモコンカメラによる教室の映像、板書システム、映像および音声切替えウィンドウが表示されている。学生との質疑応答時には、さらに、学生の映像ウィンドウが表示される。

### (2) 学生用計算機のインタフェース

学生側のモニタの様子を図5に示す。モニタ上には、学生本人の映像、板書システムおよびノートシステムが表示される。教員との質疑応答中には、さらに、教員の映像ウィンドウが表示される。

### (3) 教室のスクリーン

教室のスクリーンには、板書システム、教室の映像、教員の映像の3つが表示される。

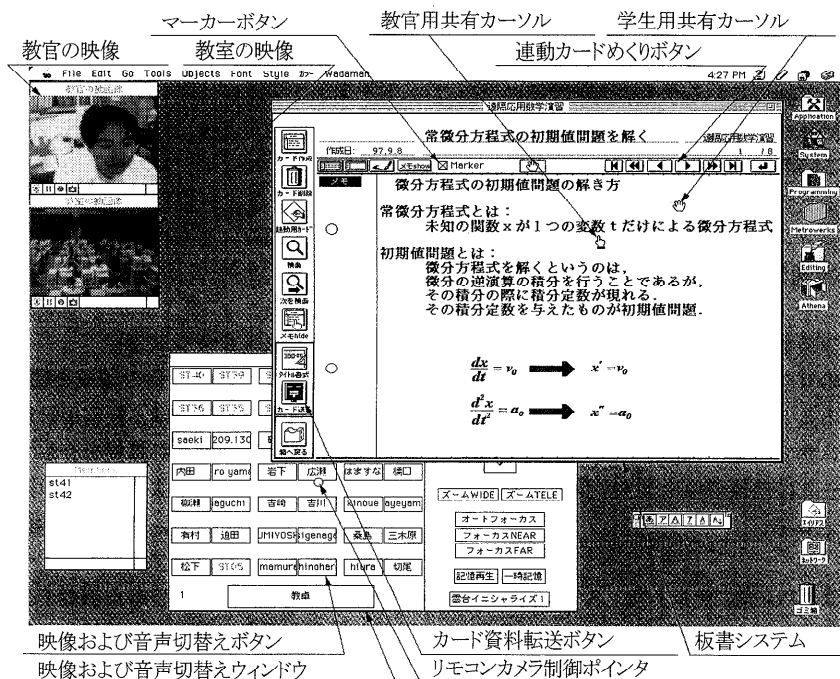


図 4 教官の画面

Fig. 4 An example of screens on a teacher side.

### 3. 授業への適用

開発した遠隔授業支援システムを、実際の3つの授業に適用し、システムの評価と改良を行ってきた。2章で説明した機能は、当初からすべてそろっていたわけではなく、それぞれの授業で得られた結果をもとに、追加した機能である。以下に、適用した授業の詳細とその結果をもとに開発した機能について述べる。

#### 3.1 ヒューマンインタフェース工学への適用

##### (1) 授業内容

ヒューマンインタフェース工学の遠隔授業は、1997年7月11日に、大阪大学の教官1名と鹿児島大学の情報工学科棟2階の計算機演習室に集まった同大学の情報工学専攻の博士前期課程1年生12名により行われた。両大学間の地理的距離は約900kmである。遠隔授業では、グループウェアに関する内容が、夏期集中講義の事前説明として実施された。90分の授業に対し、教官が準備した資料は6枚であった。図6に遠隔授業中の教室の写真を示す。授業では、教官は約50分かけて、資料の説明を行った後に、映像および音声通信を切り替えながら学生の出席確認を行った。それぞれの学生は、各自の学生用計算機のモニタ上に表示されている板書システムの資料を見ながら教官の説明を聞いた。集中講義の事前の説明としての授業とい

うこともあり、学生は特にメモやノートをとる様子はなかった。アンケート調査は授業終了直後に行った。また、比較のために、夏期集中講義で普通の教室で行われた授業についても、すべての授業終了後に、アンケート調査を行った。

後日測定を行った大阪大学と鹿児島大学間の音声全体の遅延（音声データの圧縮/伸長、ネットワークによる遅延をすべて含む）は、大阪大学と鹿児島大学の往復で、平均約2秒であった。動画は、平均2~3フレーム/秒であり、送受信されるデータ量は1台あたり170kbpsであった。pingを用いて測定した結果、ネットワークによる遅延は、おおよそ100msであった。

##### (2) 実施後の改良

実験を行った結果、教官から、リモコンカメラを制御する余裕がないという指摘とカード資料を訂正する機能が欲しいという要望があった。授業中に、資料の説明を行いながら、映像および音声切替えウィンドウへ移動し、リモコンカメラを制御した後、再び説明を行うという作業は、ときどきは可能であっても、資料の説明中に頻繁に行うことは困難である。しかし、リモコンカメラの制御を行わないと、ずっと同じ場所の映像が表示されることとなり、教官は教室の様子を把握しづらい。そこで、教官が特に操作を行わなくても、リモコンカメラが次々と異なる場所や学生の映像をと

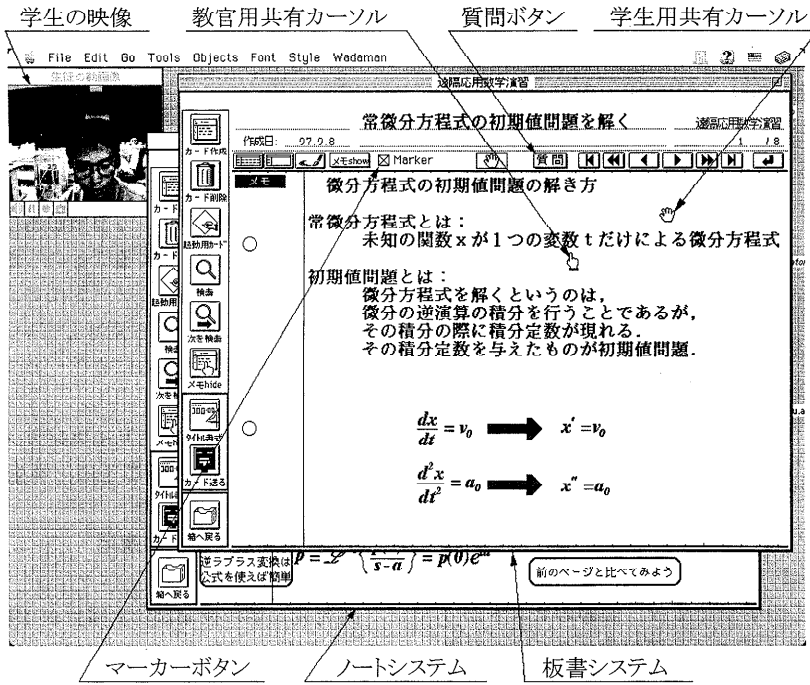


図 5 学生の画面

Fig. 5 An example of screens on a student side.

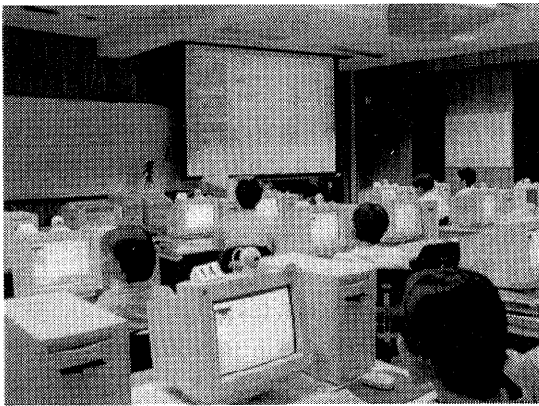


図 6 学生側の授業中の写真

Fig. 6 A photograph in class on students side.

らえるように、リモコンカメラのランダム制御機能が必要であることが分かった。

カード資料訂正機能が必要なのは、教官が資料を準備する際に、誤りがまったくないとはいえないからである。

学生からは、教官の映像をすべての学生側のモニタに表示してほしいという要望があった。これは、前述のように、現在のネットワークや計算機の能力では難しい。

以上より、次の実験に向けて、リモコンカメラのランダム制御機能とカード資料訂正機能を開発することにした。授業においては、資料の正確さが重要と考え、カード資料訂正機能の方を優先して開発した。カード資料の訂正方法としては、誤った部分のみを転送して置き換える方法もあるが、カード資料1枚分をすべて転送して置き換えた方が、授業中に、新たな資料を配付したり、内容の追加を行ったりと応用範囲が広いと考え、カード資料転送機能として開発した。また、新たなカード資料を作成する際に、最初に白紙のカードが必要であり、さらに、不要カードを削除する必要も考えられるため、これらの機能を、連動カード作成と連動カード削除として同時に開発した。

リモコンカメラのランダム制御機能は、遠隔授業支援システムを用いた2回目の応用数学演習には間に合わなかった。

### 3.2 応用数学演習への適用

#### (1) 授業内容

応用数学演習の授業は、1997年9月11日に、鹿児島大学の電気電子工学科棟6階の教室にいる教官1名と、同大学の情報工学科棟2階の計算機演習室に集まった、電気電子工学科2年生32名により行われた。2つの建物の地理的距離は約150mである。遠隔授業では、ラプラス変換に関する内容がそれまでの授業の



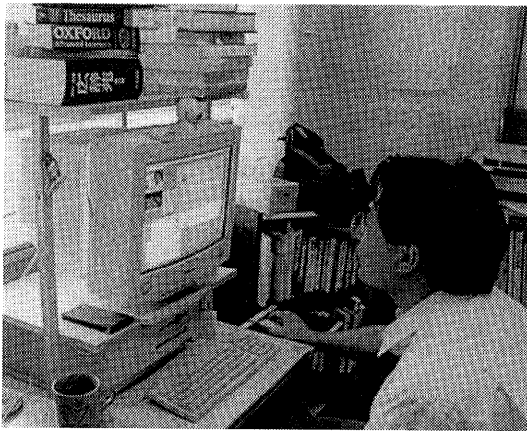


図 7 教官側の授業中の写真

Fig. 7 A photograph in class on a teacher side.

総まとめとして行われた。90分の授業に対して、教官が用意した資料は、説明用が5枚、提出課題用問題の2問が1枚に1問ずつで2枚、問題のヒントが1枚の計8枚であった。図7に遠隔授業中の教官の写真を示す。

授業では、教官は約18分かけて、資料の説明を行った。各学生は目の前のモニタ上に表示してある板書システムの資料を見ながら教官の説明を聞いた。それまでの総まとめとしての授業であり、メモやノートを取る学生はいなかった。説明後に、教官は学生に対して、課題をその場で紙に解き、係りに提出した後で、教室を出るように指示した。その後、教官は、学生が問題を解いている間に、映像および音声通信を切り替えながら、学生の出席確認を行った。出欠確認を終えた教官は、映像および音声機能を次々と切り替えながら、分からないことがないかを尋ねながら、学生の様子を確認していた。問題の解き方が分からない学生は、ノートシステムにより資料を見返す、あるいは近くの学生に質問するなどしていた。また、問題を解いている途中で、課題の1問に間違いがあることに気づいた1人の学生が、質問ボタンを利用して教官に問い合わせることがあった。教官は、正しい問題をカード資料転送機能を用いて再配布し、正しい問題を解いて提出するように指示した。誤った問題をすでに解いた学生が、そのまま提出してはいけないのかを質問ボタンを用いて問い合わせることもあった。アンケート調査は各自、課題提出後に行った。

後日測定を行った電気電子工学科と情報工学科間の音声全体の遅延は、電気電子工学科と情報工学科の往復で、平均約2秒であった。動画は、平均3フレーム/秒であり、送受信されるデータ量は1台あた

り200kbpsであった。pingを用いて測定した結果、ネットワークによる遅延は、おおよそ10msであった。

## (2) 実施後の改良

学生から、カード資料が白黒で単調なため、カラー表示ができるようにしてほしいという要望と、通常の授業ではノートに赤や青などの色を用いるので、そのような機能が欲しいという要望があった。そこで、カラー表示の機能を開発することにした。色をつけることについては、授業中のノートにアンダーラインなどのマークを付けることを意味していると考えられる。そこで、ノートシステムにカラーのマーカーを付ける機能を開発した。

また、開発中であったリモコンカメラのランダム制御機能を実装し、10秒ごとに、学生1人のアップ画像を得られるようにした。

## 3.3 高周波工学への適用

### (1) 授業内容

高周波工学の授業は、1回目が1997年12月2日に、2回目が同年12月9日に行われた。授業を受けた学生は情報工学科3年生で、参加人数は、1回目が5名、2回目が3名であった。いずれも情報工学科棟2階の計算機演習室に教官も学生も集まった状態で行った。したがって、遠隔授業支援システムを用いているが遠隔授業ではない。通常、遠隔授業では、音声は、通信による遅れおよびデータの圧縮、展開の処理の遅れにより約1秒遅延する。一方、共有カーソルも約1.4秒遅延<sup>8)</sup>するため、教官の音声による説明と共有カーソルの動きはあまりずれが目立たない。しかし、教官と学生が同じ教室にいる授業においては、教官の音声に遅延がないため、共有カーソルの遅延時間がそのまま影響する。そこで、教官は、1人の学生の右後ろにある計算機を教官用計算機として使用した。授業中は、左前にいる学生の使用している計算機のモニタを直視で確認しながら、そのモニタ上の共有カーソルの動きに合わせて直接音声で説明を行った。授業はスミスチャートに関する内容であった。担当教官は、学生へ配布するプリント資料を作成するための授業資料を、日本語ワープロのファイルとして所有していた。2回の授業に対して準備した資料は、授業の進み具合の前後も考慮し、余裕をみて、B5サイズのプリント資料20ページ分であり、カード資料として、36枚分であった。カード資料作成は計算機の操作に慣れた学生が行い、プリント資料の内容をそのままカード資料へと移した。教官は、1回目の授業では、12枚のカード資料を70分で説明した。2回目の授業では、実際にスミスチャートのプリントを用いて演習を行うなどし

ながら、13枚を80分で説明した。各学生は、モニタ上の板書システムの資料を見ながら教官の説明を聞いたり、教官の説明を聞きながら、ノートシステムで別の資料を参照するなどしていた。また、必要に応じてノートシステム上にメモをとる学生もいた。アンケート調査は授業終了直後に行った。

#### (2) 実施後の改良

1回目の授業において、教官はマーカー機能を用いて、カード資料の図中で特定の面積を示そうとしていた。資料の特定の位置を示すために共有カーソルがあるが、面を示すことは考慮しておらず、また、マーカー機能はノートシステムのための機能であった。そこで、板書システムに連動マーカー機能を開発した。

学生からはレポート提出機能の要望があった。遠隔授業の最中であれば、NetGearを利用したファイル転送機能により可能であるが、授業以外の時間での提出も考慮する必要があり、今後検討する必要がある。

#### 3.4 カード資料作成時間

いずれの授業においても、板書システムで用いるカード資料は教官側であらかじめ用意された。その作成時間は、どの授業の場合でも、平均すると1枚あたり約20分であった。ヒューマンインタフェース工学のカード資料は全般的に文字が多かった。応用数学演習のカード資料は文字や式が多いが、提出課題が書かれているカード資料には式がいくつか書いてあるだけである。高周波工学のカード資料は、あらかじめ用意してあったファイルの内容をカード資料に移す作業であった。しかし、移した後に修正作業が必要なカード資料もあった。カード資料に書く内容により、1枚の作成に要する時間は大きく異なるため、どのくらい時間がかかるか、高周波工学の資料作成時間を調べた。資料は、文字や式だけの資料、簡単な手書きの図がある資料、細かな作図が必要な資料の3種類である。

文字や式だけの資料は、ファイルの内容から、1枚のカード資料に入れる範囲を決め、その部分をファイルからカード資料へコピーし、簡単な位置調整などを行った。作成時間は、約4分であった。

簡単な手書きの図がある資料は、ファイルの内容に文字や式は記録されていたが、図などは含まれていなかった。そこで、ファイルからカードへ資料をコピーした後に、手書きの資料をもとに図を描く必要があった。図は、簡単な回路図で、直線や円など計算機の簡単な描画機能で描けた。作成時間は、約10分であった。

細かな作図が必要な資料は、B5サイズの印刷物1枚であった。これはまず、イメージスキャナで取り込み、カード資料の大きさへ画像レタッチソフトを利用

して縮小した。その後、読みにくくなった文字や、分りにくくなった線を新たに描き直した。作成時間は、約90分であった。

## 4. 評価と考察

### 4.1 アンケートによる評価

それぞれの授業終了後に、学生に対して5段階評価式のアンケートを行った。アンケートの結果を図8に示す。内容は大きく分けて、授業内容の理解に関する質問、通信や処理の遅れに関する質問、授業の感想に関する質問である。

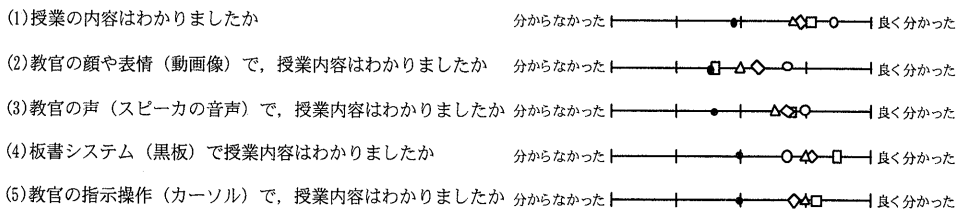
#### (1) 授業内容の理解

図8の【授業内容の理解】に、授業内容の理解に関するアンケート結果を示す。授業内容の理解に関しては、遠隔授業支援システムを用いても大体分かったという結果が得られた。授業内容の理解を助けたのは、音声と板書システムであることが分かる。音声に関しては、肉声によるものも遠隔授業の通信を介したのも、ほぼ同じく大体分かったという結果になっている。また、通常授業の板書より、板書システムの方が良い結果となっている。共有カーソルによる理解が良いことから、資料が学生の目の前に表示され、教官が指し示している位置がよく分かるということが評価を高くしたと考えられる。教官の顔や映像による理解については、どちらともいえないという結果になった。特に高周波工学では、教官も学生も同じ教室にいたが、学生はモニタ上の板書システムに集中しており、教官を見ることはほとんどなかった。

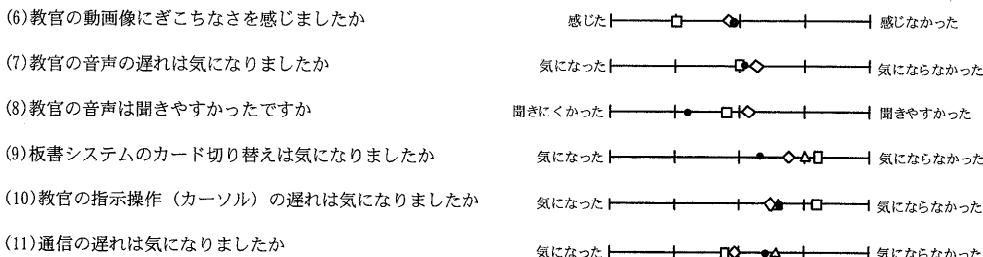
#### (2) 通信や処理の遅れ

図8の【通信や処理の遅れ】に、システムの通信や処理の遅れに関するアンケート結果を示す。全体的には、通信の遅れはほとんど気にならないという結果を得た。板書システムのカードめくりについては、授業中に行われる回数が少なかったため、ほとんど気にならなかったと考えられる。音声と共有カーソルに関しては、資料を共有カーソルで指し示しながら音声で説明を行うという授業形式であることから、共有カーソルの位置と音声による説明内容が一致しなければ、通信や処理の遅れが気になるようになる。音声は、教官から学生へ届くまでに約1秒の遅延があり、共有カーソルはすべての学生の計算機上に反映されるまでに約1.4秒の遅延があるが、これらの差が少ないために、遅延があまり気にならなかったと考えられる。教官の音声の聞きやすさに関しては、授業途中に数回のハウリングや音声の途切れがあったものの、その他は十分聞き取れる状態であった。映像に関しては、ときどき、1

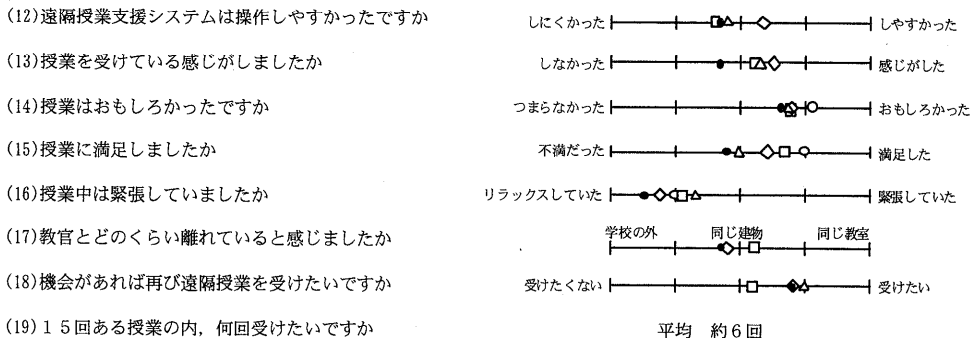
【授業内容の理解】



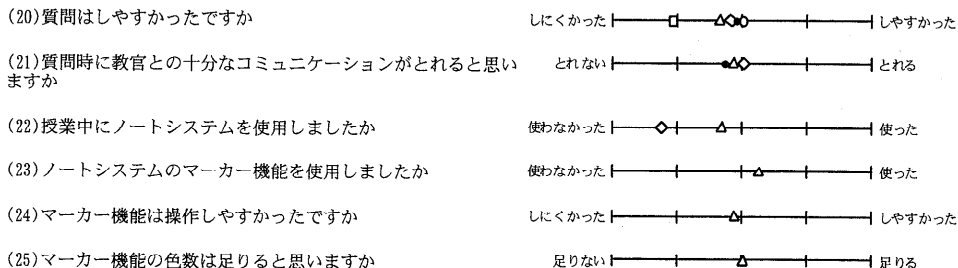
【通信や処理の遅れ】



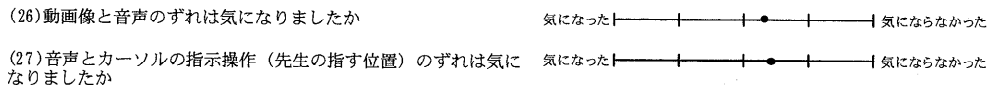
【授業の感想】



【質問とマーカー機能】



【追加アンケート】



- ヒューマンインタフェース工学の通常の授業
- ◻ ヒューマンインタフェース工学の遠隔授業
- ◇ 応用数学演習の遠隔授業
- △ 高周波工学の授業
- 応用数学演習の遠隔授業（追加実験）

図8 アンケートの結果  
 Fig. 8 Result of questionnaires.

表 2 前田らと本システムの機能の比較  
Table 2 Comparison of Maeda's system and our system.

仕様・機能	前田ら：遠隔講義のためのマルチメディア通信環境 <sup>5)</sup>	本システム
利用計算機	WS	PC
ネットワーク	ATM	インターネット
教室動画像	あり	あり
リモコンカメラ	あり	あり
共有カーソル	あり	あり(複数)*1
質問機能	あり	あり
板書システム	あり	あり
連動ページめくり	あり	あり
学生の板書システム書き込み	あり	一部可能*2
映像および音声直接対話機能	あり	あり
連動マーカー機能	なし	あり
資料転送機能	なし	あり
リモコンカメラ制御ポインタ	なし	あり
リモコンカメラのランダム移動	なし	あり
教材の表示方式	PostScript (事前処理が必要)	Bitmap (事前処理不要)
ノートシステム	なし	あり
仮想教室による座席表	なし	あり
システムのソフトウェア	既存ソフトウェアを利用	独自に開発

\*1：教官用と学生用で形状が異なる。

\*2：教官との接続時にカード資料転送機能利用。

秒以上同じフレームが表示されることもあったが、たいていは 1 秒間に 2, 3 フレームであった。

さらに、通信や処理の遅れの評価を詳細に行うために、追加の遠隔授業を実施した。実施した遠隔授業は、3.2 節の応用数学演習と同じ授業と環境で、受講生は鹿児島大学の生体工学科 2 年生 32 名であった。特に、アンケートに「動画像と音声のずれ」と「音声とカーソルの指示操作のずれ」に関する項目を追加した。結果は、他のアンケート結果と合わせて図 8 に示している。音声と動画像、カーソルの指示操作に関して、大きなずれは感じていないことが分かった。

### (3) 授業の感想

図 8 の【授業の感想】に、授業の感想に関するアンケート結果を示す。ヒューマンインタフェース工学の遠隔授業と応用数学演習の遠隔授業は、前者が大阪大学と鹿児島大学間、後者が鹿児島大学内の異なる建物間で実施された。しかし、遠隔授業における教官との距離感は、どちらの場合も学生は教官が同じ建物内にいるように感じていることが分かった。学生がどの程度遠隔授業を受け入れているかについては、機会があれば再び遠隔授業を受けたいかという質問に対して、やや受けたいという傾向があり、また、15 回の講義の中で、何回遠隔授業を受けたいかという質問に対しては平均約 6 回となった。これらから、すべての授業を遠隔授業により行いたいというわけではないが、全講義の 4 割程度は遠隔授業を受講してもよいと考えてい

ることが分かった。

### (4) 質問機能とマーカー機能

図 8 の【質問とマーカー機能】に、質問とマーカー機能に関するアンケート結果を示す。学生による質問と資料上へのマーク記入は、学生が授業を受け、学習を進める際に重要であると考えられるが、どちらともいえないという結果になった。これらの機能については、さらに検討が必要である。

### 4.2 既存システムとの比較

前田ら<sup>5)</sup>のシステムは、利用計算機は WS、ネットワークは ATM 方式による高速回線、利用ツールはインターネット上の仮想実験網 (Mbone) で使われる映像、音声、掲示板ツールを利用して構築された遠隔教育システムである。

表 2 に前田らのシステムと本システムとの機能の比較をまとめたものを示す。

本システムは、PC のみで動作し、遠隔授業支援用に特化しており、また、支援機能のすべてを独自に開発しているため、遠隔授業に必要な機能開発・追加が容易である。さらに、インターネットに接続可能であればどこからでも利用できるシステムである。

### 4.3 遠隔授業支援システムの改良

#### (1) 質問機能の改善

現在のシステムでは、学生が質問ボタンを押した後、教官が映像および音声接続をしないと学生は質問できない。学生にとっては質問までに、時間を要する。ま

た、遠隔授業中に学生が質問ボタンを押していても教官が気づかない場合には学生は質問できないことになる。実際、質問ボタンを押して、すぐにマイクへ向かって質問内容を話し始めた学生も見受けられた。そこで、質問ボタンを押して、ほかに質問者がいない場合は、ただちに教官と接続するなどの改良が必要である。将来、映像および音声通信の接続数を増やすことができるようになれば、同時に接続できる学生数と学生用共有カーソルの数を増やすことで、複数の学生と教官とで質疑応答を行えるようにできると思われる。

#### (2) 非同期型の質疑応答機能

現在のシステムでは、学生は必ず授業中に質問を終えなければならない。しかし、実際には授業時間以外にも質問を行うことがある。そこで、遠隔授業時間以外に、学生と教官とのカード資料のやりとりを支援する、非同期型の質疑応答機能を開発する必要がある。

#### 4.4 本システムの問題点

本システムの問題点を以下に列挙する。

(1) 教官が板書システムに書き加える際に、カード資料転送機能で学生へ送る必要があり、説明を行いながら書き加えた内容をリアルタイムに学生側に反映できないという問題がある。現在、マーカー機能を用いることである程度対応可能であるが、今後、対応策を検討する必要がある。

(2) 学生用計算機のモニタサイズが小さいために、ノートシステムを前面にすると板書システムを隠してしまう。そのため、ノートシステムをよく利用するほど板書システムとの表示の切替えを頻繁に行う必要がある。板書システムとノートシステムのサイズを小さくするのは、表示内容を制限することになり現実的ではない。また、両方を同時に表示可能なモニタを用いる方法も考えられるが、現時点では対応できていない。

#### 5. おわりに

遠隔地にいる教官が、計算機演習室の学生に対して、各学生が1人1台の計算機を用いた授業を行うことが可能な、特殊な設備を必要としない、遠隔授業支援システムを開発した。本システムは、インターネットを利用した、PCのみで構築されたシステムである。遠隔地の教官側には、リモコンカメラによる教室の映像を表示し、教室のスクリーンには、教官の上半身の映像を常時表示する。また、学生との質疑応答時には、1対1の映像および音声通信を行うことができる。本システムを3つの授業へ適用した結果、次のことが分かった。

(1) 遠隔授業支援システムは、板書システム、ノートシステム、教官および学生共有カーソル、リモコンカメラ制御ポインタ、仮想教室による座席表、連動カードめくり、質問ボタンを備えていたが、遠隔授業に適用した結果、さらに、リモコンカメラのランダム制御機能、カード資料転送機能、連動マーカー機能が必要であることが分かった。

(2) 遠隔授業を受けている学生は、教官が同一建物内にいる感じを受けていることが分かった。また、受講したい遠隔授業の回数は15回中6回であった。

(3) さらに必要な機能としては、遠隔授業時間以外における支援機能、たとえば、遠隔地にいる学生と教官が、非同期に質疑応答を行えるシステムが必要である。

今後、遠隔授業中の質問機能を改善することで教官と学生との対話性を高め、また非同期の質疑応答機能を開発することで、遠隔授業時間以外を支援する機能の開発を行う。さらに、同一学生に対して遠隔授業を継続し適用した場合の評価を行っていく予定である。

#### 参 考 文 献

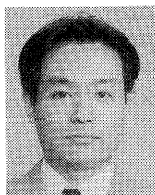
- 1) 若原俊彦, 由比藤光宏, 恒川健司, 水澤純一, 池田克夫, 美濃導彦, 藤川賢治: ATM ネットワークを用いた遠隔講義システム構成法の検討, 電子情報通信学会技術報告, OFS96-31, pp.31-36 (1996).
- 2) 竹本宜弘, 田村武志, 高田伸彦: 分散型教育における講師操作環境とその検証, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.9, pp.2215-2227 (1995).
- 3) 田村武志, 小島篤博, 畠中 宏, 佐藤文博: コミュニケーションを重視した遠隔教育システムの構築, 電子情報通信学会技術報告, ET97-25, pp.77-83 (1997).
- 4) 太細 孝, 小泉寿男, 横地 清, 守屋誠司, 白鳥則郎: マルチエージェント機能による遠隔協同授業支援, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp.199-210 (1998).
- 5) 前田香織, 相原玲二, 川本佳代, 寺内睦博, 河野英太郎, 西村浩二: 遠隔講義のためのマルチメディア通信環境, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-B-I, No.6, pp.348-354 (1997).
- 6) 于 冬, 久我信一, 三部靖夫: Web を利用した遠隔講義システムでの端末間連動と教材同期表示, 電子情報通信学会技術報告, ET96-42, pp.21-28 (1996).
- 7) 炭野重雄, 岩本哲夫: 大画面ディスプレイを用いた遠隔型集合教育システムの検討, 電子情報通信学会技術報告, ET96-119, pp.41-48 (1997).
- 8) 井上 穰, 由井蘭隆也, 宗森 純, 長澤庸二: 遠隔授業支援システムの開発, 情報処理学会

グループウェア研究会, Vol.97, No.13, pp.139-144 (1997).

- 9) 宗森 純, 由井 蘭隆也, 山元一永, 長澤庸二: 遠隔ゼミ支援システム RemoteWadaman の開発と適用, 情報処理学会グループウェア研究会, Vol.96, No.26, pp.1-6 (1996).

(平成 10 年 3 月 2 日受付)

(平成 10 年 9 月 7 日採録)



吉野 孝 (正会員)

昭和 44 年生。平成 4 年鹿児島大学工学部電子工学科卒業。平成 6 年同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。平成 7 年より鹿児島大学工学部電気電子工学科助手。

現在同大学工学部生体工学科助手。グループウェア、衛星放送システムに関する研究に従事。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、ACM 各会員。



井上 穰 (正会員)

昭和 38 年生。平成 8 年鹿児島大学工学部情報工学科卒業。平成 10 年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。現在京セラコミュニケーションシステム(株)

に勤務。グループウェアに関する研究に従事。



由井 蘭隆也 (学生会員)

昭和 47 年生。平成 6 年鹿児島大学工学部情報工学科卒業。平成 8 年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。現在同大学院理工学研究科システム情報工学専攻

博士後期課程在学中。グループウェアに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



宗森 純 (正会員)

昭和 30 年生。昭和 54 年名古屋工業大学電気工学科卒業。昭和 56 年同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。昭和 59 年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学

専攻博士課程修了。工学博士。同年三菱電機(株)入社。昭和 59~平成元年同社情報電子研究所にて、通信ソフトウェア開発環境の研究開発に従事。平成元年鹿児島大学工学部情報工学科助教授。平成 8 年大阪大学基礎工学部情報工学科助教授。現在大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理工学専攻助教授。平成 9 年度山下記念研究賞受賞。グループウェア、ヒューマンインタフェース、形式記述技法、神経生理学などの研究に従事。電子情報通信学会、オフィスオートメーション学会各会員。



伊藤 士郎

昭和 9 年生。昭和 31 年北海道大学工学部電気工学科卒業後、日本放送協会技術研究所に勤務。工学博士。平成 2 年より鹿児島大学工学部電気電子工学科教授。電波伝搬、通信・

放送、放送衛星システムに関する研究に従事。昭和 63 年度電子情報通信学会論文賞受賞。電子情報通信学会、映像情報メディア学会各会員。



長澤 庸二

昭和 14 年生。昭和 38 年東北大学工学部通信工学科卒業。昭和 43 年同大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。工学博士。同大助手、助教授、教授を経て、現

在鹿児島大学工学部情報工学科教授。高周波伝送工学、衛星を介した計算機ネットワーク、環境電磁工学の研究に従事。昭和 61 年度電子情報通信学会論文賞受賞。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、IEEE 各会員。