

マルチエージェント機能による遠隔協同授業支援

太 細 孝^{†1} 小 泉 寿 男^{†2} 横 地 清^{†3}
守 屋 誠 司^{†4} 白 鳥 則 郎^{†5}

著者らは、ISDN 接続のコンピュータ支援をベースとし、映像音響機器を組み合わせたシステムを授業環境とした双方向遠隔協同授業の方式について研究してきている。このシステムを CCV (Computer, Communication and Visual) 教育システムと呼ぶ。このシステムでは、鮮明な映像や聞きやすい音声の共有によって、相手方との臨場感や一体感を醸成することが重要となる。しかし、臨場感や一体感を高めつつ機器操作を行うことは教師にとって負担が大きく、授業効果の妨げになる恐れがある。このため、教師に負荷を負わず、映像や音声の効果的な操作によって授業効果を向上させる機構の実現が課題となる。著者らは、両教室間の映像管理、教材などの検索/編集管理、および授業プロセス管理の 3 エージェントによる協調動作によって実現する方式を提案した。その実証のために小学校の算数を対象とした協同授業の実験を行い、マルチエージェント機能の動作について評価を行った。その結果、本提案が教師の機器操作の負荷軽減、および遠隔教室間の交流の活性化に有効であることが確かめられた。同時にエージェント機能の高度化への課題も確認された。

Support for Collaborative Distance Learning by Multi-agent Functions

TAKASHI DASAI,^{†1} HISAO KOIZUMI,^{†2} KIYOSHI YOKOCHI,^{†3}
SEIJI MORIYA^{†4} and NORIO SHIRATORI^{†5}

The authors have been investigating methodologies of collaborative distance learning which utilize, as the learning environment, a system based on ISDN communications and computer support, combined with audio and video equipment. We call this a CCV (Computer, Communication and Visual) educational system. In designing such a system, it is important that a sense of presence or unity between remote classes be generated by sharing vivid images and natural-sounding voice signals. However, while the sense of presence and unity is enhanced, operation of the equipment necessary for may impose a substantial burden on teachers and thus hinder instruction. Hence one goal of development was the realization of mechanisms to improve collaborative learning through the effective manipulation of image and voice signals, without imposing oppressive burdens on the teachers. The authors have proposed a method to achieve this through the cooperative action of three kinds of agents, which handle image manipulation and exchange between remote classes, retrieval and editing of teaching materials, and control of the learning process. Verification experiments were conducted in actual elementary schools to evaluate the effects of the multi-agent functions. The results show that the proposed methodology is an effective solution for alleviating the burden of equipment operation, and for stimulation of exchanges between remote classes. At the same time, areas for further improvement of agent functions were noted.

†1 三菱電機株式会社情報技術総合研究所

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

†2 三菱電機株式会社本社生産システム本部

Corporate Engineering, Manufacturing & Information Systems

†3 元東海大学教授

ex-Professor of Tokai University

†4 山形大学教育学部

Faculty of Education, Yamagata University

†5 東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

1. はじめに

マルチメディア技術、ネットワーク技術の急速な発達によって、遠隔地をネットワークで結んだ多様な効果的な情報交信が可能になってきた。学校においてもネットワークを利用した分散型教育の試みが行われ、多くの研究、実用化報告が行われている^{1)~5)}。遠隔地にある学校間をネットワークで結び、リアルタイム、双方向で教室の情景と教育内容を交換し合える臨場感のある協同授業が可能と考える。著者らは、ISDN 接続のコンピュータ支援をベースとし、映像機器を組み

合わせたシステムを授業環境とした遠隔協同授業の可能性について研究してきている^{6)~8)}。このような授業環境と授業内容を組み合わせたシステムを、「CCV (Computer, Communication and Visual) 教育システム」と呼んでいる。CCV 教育システムでは、小学生の算数を対象とした遠隔教育を当初の目標としている。大人を対象にした場合は、相手側の映像を見ながら、相手方の状況に配慮しつつ会議を行うことができる。しかし、子どもが対象の場合には、環境自身が子どもに配慮する必要があり、遠隔教室間で鮮明な映像と聞きやすい音声を共有させることによって、相手方との臨場感、一体感を醸成することが重要となる。授業内容と教材をこの双方向環境に適合させることによって、一層授業効果を上げることが可能になる。

しかしながら、映像や音声、教材などを協同授業の中で効果的に使用するには、臨場感のある授業環境を作り出す機器操作と、生徒の発想力を惹起させる授業形態とが必要となる。リアルタイムで進行する協同授業の中で教師がこれらの操作を行う場合、機器操作が負担となり、かえって授業の妨げになる恐れがある。これを避けるためには、まず、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) によって教師の機器操作を支援する方法が考えられる^{7),9)}。たとえば、音声追従方式を導入することによりカメラ操作を自動化し、教師をカメラ操作から解放するなどである。しかし、CSCW のみによる支援では、教師の指示が及ぶ範囲や程度が限定され、負荷軽減には限界がある。協同授業全体を通じて教師に過大な負荷を負わせずに映像や音声などを遠隔教室間で効果的に交流させ、生徒の発想力を増進するためには、教師とこれらの操作機能が絶えず連絡をとりながら適切に動作する機構が必要になる。本論文ではこのような機構をエージェント機能によって実現する方式を提案する。

エージェントは、ユーザの仕事を代行したり、作業の支援をすることが可能であり、一般のソフトウェアに対して自発性、協調性、適応性などの特長を持つために、コンピュータ・ネットワークの技術分野などでさまざまな研究が進められている^{10)~13)}。CCV 教育システムにおいては、エージェント機能を、(1) 遠隔教室間の臨場感、一体感醸成のために映像操作を担当するエージェント、(2) 教材や生徒作品の検索/編集を担当するエージェント、(3) 協同授業プロセスを管理するエージェントの3種類に大別する。これらのエージェントは、遠隔教室のCCV 教育システムに実装され、相互に相手方の状況を監視し、協調をとりながら処理を進める。本論文で提案する方式は、上記の

3種類のエージェントが協調連携しながら教師の指示に従って、授業の円滑な進行を支援することをめざす。

本提案の実証のため、小学校の算数を対象とした遠隔協同授業の実験を行い、システムが稼働する中でのマルチエージェント機能の動作について評価を行った。その結果、本提案が、教師の機器操作の負担を軽減するだけでなく、効果的な映像や音声の提供によって遠隔教室間の交流が活性化され、生徒の発想力を増進して授業効果を上げるうえで有効であることが確認された。その一方、より自律的な機能を持ったエージェント機能実現によるシステム操作性の改善や映像/音声伝送方式の改善などの課題が確認された。

本論文では、2章でCCV 教育システムにおける遠隔協同授業方式を述べる。3章で、エージェントによる遠隔授業支援方式を提案する。4章で、実験検証システムとその実験結果について述べ、さらにその評価と考察を行う。

2. 遠隔協同授業方式とその課題

2.1 遠隔協同授業のモデル

CCV 教育システムにおける遠隔協同授業方式のモデルを図1に示す。AV 機器、コンピュータ、大画面スクリーンから構成される部分をCCV 機器と呼ぶ。教師は、CCV 機器の支援を受けつつ、この環境に適合して作成された授業内容と教材を使用しながら協同授業を行う。CCV 機器による支援は、相手方教室および自教室の映像情報の大画面スクリーンへの投射、発言者に対するカメラ操作、コンピュータによるアニメーション(以後、アニメと略称する)教材の提示、授業進行の管理および教材検索支援などである。発言者に対するカメラ操作は、発言のタイミングを失ないように迅速に処理することが重要であるが、発言者の位置へカメラを向けるまで時間がかかり、発言者の意欲を抑えてしまうことが多い。これをいかにして円滑化するかが課題である。コンピュータ(パソコン)およびAV 機器の画面は、通信ネットワークを経由して遠隔の教室に伝送され、生徒たちは、白板に代わる80 インチクラスの大画面スクリーン上の同じ映像を共有しながら交流することができる。映像の投射には、教室内の照明を消さず、平常の教室の明るさの中で投射可能な性能を持つ液晶プロジェクタを使用する。

このような環境のもとで、1教室あたり約10人から40人の生徒たちが、教師の指導によって協同授業を行う。遠隔教室間の対話の経路をパスと呼ぶ。対話のパスを図1における教師A、B、および生徒A、Bの間の関係から分類すると、①自教室内教師-生徒(教

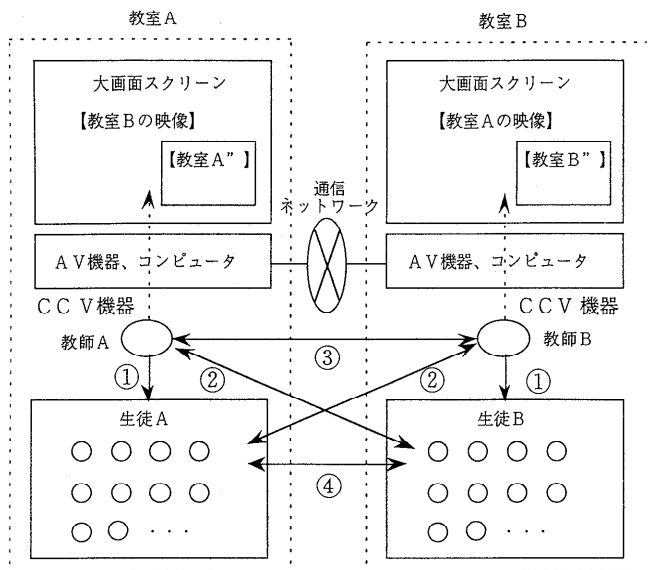


図1 遠隔協同授業のモデル
Fig. 1 Model of distance learning.

師 A-生徒 A, 教師 B-生徒 B), ②他教室間教師-生徒 (教師 A-生徒 B, 教師 B-生徒 A), ③他教室間教師-教師 (教師 A-教師 B), ④他教室間生徒-生徒 (生徒 A-生徒 B) の4タイプに分類される。この4タイプのパスが、1つの授業の間、授業の内容に応じて個別または組み合わせられて変化していく。遠隔協同授業においては、特に②, ③, ④のパスをいかにして活発化するかが課題となる。

CCV 教育システムにおける協同授業モードについては、以下に示す3種類の方法を可能としている。

(1) 交信モード I:

双方の遠隔教室に教師と生徒が在席してリアルタイムで交信授業を行うモードである。両教室の時間帯を合わせて両教室の教師、生徒が実際に対面しながら交信授業を行う。対話のパスには、①, ②, ③, ④がある。交信授業の間、両教室の臨場感、一体感を保持するために頻繁な映像や音声操作が必要であり、教師への機器操作支援が課題である。すなわち、教師は、カメラや映像の操作、教材や生徒作品の検索および提示、アニメ教材の両教室での同期表示、授業中断/再開などの操作支援を必要とし、特に2つ以上の作業が重なるときに、いかにして円滑な操作支援をして授業効果を上げるかが課題である。

(2) 交信モード II:

片方の遠隔教室の教師のみが、相手方教室の教師および生徒とリアルタイムで交信授業を行うモードである。このモードは、2つの教室が同一時間帯の確保が困難

な場合、または時差のある海外との協同授業のために必要となる。自教室の授業内容は、あらかじめビデオに撮って編集しておき、授業中必要となったときに相手側に送信する。対話のパスには、①, ②, ③がある。教師は(1)同様に、映像操作、カメラ切替、教材や生徒作品の検索および提示、アニメ教材の両教室での同期表示、授業中断/再開の起動などの操作支援を必要とし、ここでもいかにして教師の操作負荷を軽減しつつ授業効果を上げるかが課題となる。

(3) 非交信モード:

2つの遠隔教室が直接交信をせず、それぞれ単独で授業を行うモードであり、対話のパスは、①だけである。このモードは、交信モード授業の前後に行われる準備のための授業、あるいは復習、まとめの授業のために設けられている。相手方教室の授業内容や作品は、事前にビデオなどに収録編集しておき、必要になったときに再生して使う。非交信モードにおける機器操作支援は、教材や生徒作品の検索および提示、アニメ教材の提示などである。ここでは、主として生徒作品や収録ビデオの編集、登録、検索などにおける教師負荷の軽減と授業効果の向上が課題である。

2.2 協同授業プロセス

協同授業は、2つの教室 A と B が双方向で交信しながら授業を行う交信モードと、交信を打ち切ってそれぞれ単独に授業を行う非交信モードの組み合わせで構成される。これを図2に示す。

一連の遠隔協同授業プロセスの中で、中心となるの

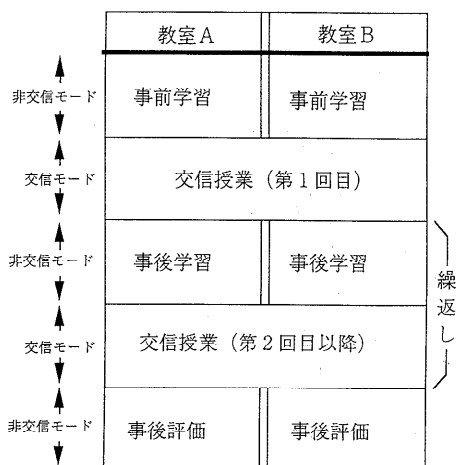


図2 遠隔協同授業プロセス

Fig.2 Course of distance learning lessons.

は交信授業であり、60~90分の授業を前提としている。第1回目の交信授業で、両教室の生徒たちが初めて大画面スクリーンを介して対面し、事前学習で準備した問題の解答や作品を使って発表と議論を行う。教師はこの間、両教室間の臨場感を維持し、一体感を高めるために、カメラや映像操作、アニメ教材の提示など、最も精力的に機器操作を行う。教師の負荷を軽減しつつ、いかにして臨場感、一体感を維持するかがこのときの課題である。

交信授業の後は事後学習を行い、生徒たちは交信授業で得られた新しい情報や知識により、自分の解答の間違いや不備の是正、作品の工夫や改善などを行う。教師は、アニメ教材の提示や授業風景の収録、生徒作品の登録などを行うが、交信授業時に準じた機器操作の負荷の軽減と授業効果の向上が課題である。

事後評価は、もっぱら教師が授業実施結果の整理と、授業効果を評価検討する。教師は、評価に集中するために生徒作品の検索・提示、授業収録ビデオの投射などについて支援を受ける必要がある。

協同授業は、繰返しを含め、計画された所定の回数を実施した後、終了となる。

3. エージェントによる遠隔授業支援方式

3.1 課題に対する解決策の基本方式

本論文では、エージェント方式の導入によって、単に教師の負荷を軽減するだけでなく、両教室間の効果的な映像・音声の交流によって臨場感、一体感を増進し、両教室間の対話が活発化するための方式を提案する。交信授業時はリアルタイムで進行するため、エージェントには迅速な処理が強く要求される。さらに、

事前・事後学習との連携支援もエージェントに対して要求される。エージェント方式は、これらの条件を満足しなければならない。

図3は、本方式で採用するエージェントの種類とその役割関係を示したものであり、両教室の映像操作関係を担当する映像操作エージェント、協同授業プロセス関係を担当するプロセス管理エージェント、および教材検索関係を担当する検索編集エージェントの3種類から成る。教室A、Bの授業担当の教師は、これらのエージェントを通じて機器操作を行う。以下に、その役割を示す。

(1) 映像操作エージェント

映像操作エージェントは、両教室間に臨場感、一体感をもたらすために、自教室および相手方教室の映像や教材を大画面スクリーンに映し出す。この操作は、その時々授業場面に合った適切な映像を供給するために常時両教室の状況を監視する必要がある。作業の負荷が大きい。映像操作エージェントは、画面切替、およびカメラ操作を行う。

画面切替は、両教室の生徒に共通の映像を見せる必要があるとき、教師から要求される。すなわち、現在の映像表示からパソコン画面表示に移るとき、あるいは特定の映像を見せる必要があるときである。映像操作エージェントは相手方エージェントと協議し、画面の切替を行う。

カメラ操作は、生徒が発表するとき、あるいは質疑応答で発言するときに、教師から要求される。その生徒の位置をとらえ、適切なズームアップ、焦点合わせを行ってその生徒の拡大された鮮明な姿を大画面スクリーンに映し出す。教師がエージェントに生徒の名前を指示すると、自教室の生徒の場合は、自教室のエージェントがカメラ操作を行い、相手方教室の生徒の場合は、相手方エージェントとの協議により、相手方カメラ操作が実行される。生徒が発言まで長く待たされないように、迅速な操作が要求される。

(2) 検索編集エージェント

協同授業には、種々のアニメ教材、コンピュータ教材、生徒作品が使用される。さらにインターネット経由で流布されている教材の中から有効なものを探して使用することもある。検索編集エージェントは、これらの教材や作品の検索、編集、および登録作業を担当する。検索は、交信授業時、非交信授業時のいずれからも使われ、データベース、あるいはウェブ・サーバに保管してある教材や作品を検索して提供する。編集は、事前に収録された教室の授業記録を事後の授業で参照する場合に備え、必要な部分だけを抜粋して要

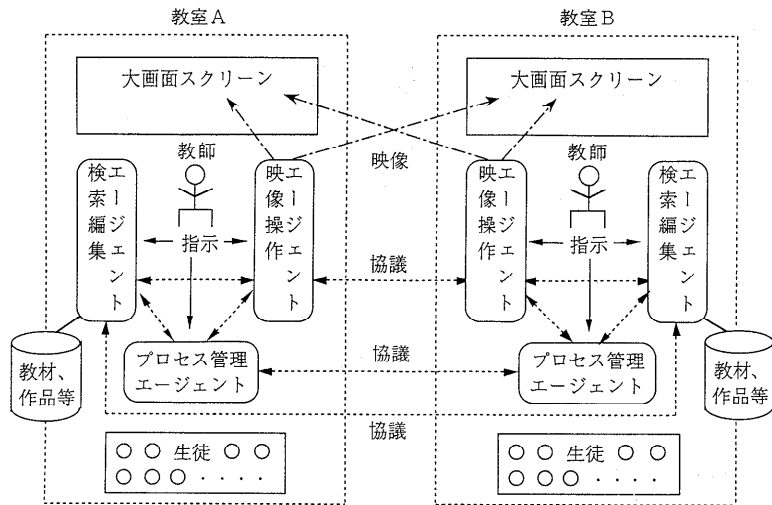


図3 エージェントの種類と役割
Fig. 3 Types and roles of agents.

約を作成する。

(3) プロセス管理エージェント

プロセス管理エージェントは、双方の教室の授業進行状況を監視し、教師から授業進行上の指示を受けて支援を行う。具体的には、通信授業の中断再開、およびアニメ教材の両教室間での同期動作を行う。

通信授業の作品作りや問題解決などのためにいったん通信授業を中断し、それぞれの教室で単独授業を行い、あとで再開する場合がある。中断の要求に対し、両教室間の映像・音声の交流を停止する。再開のタイミングは双方の教室で単独授業が終了し、授業再開の要求が出されたときである。エージェントは教師からの指令を待ち、双方からの指令が揃ったときにシステムを再開し、大画面スクリーン上に再び相手方教室の映像を映し出す。

通信授業時、アニメ教材は2つの教室間で共有されることが要求される。教師から要求があると、両教室のプロセス管理エージェントは協調しながら両教室に設置されているパソコン上にアニメ教材をインストールし、同一状態にする。その後、教師からパソコンにコマンドを伝送するだけで同期動作が行われるように管理する。

3.2 エージェントの動作

図4に通信授業時におけるエージェント間の動作の関係を示す。以下に、授業の各プロセスにおける動作内容を述べる。

(1) 授業の開始

教師から授業開始の指示により、映像操作エージェントは両教室の映像供給を開始し、自教室の風景が相

手方教室の大画面スクリーンに映し出される。同時に検索編集エージェントが教室風景の収録を開始する。次に、両教室間に一体感を持たせるために生徒たちの自己紹介や校歌斉唱などが行われる。

(2) 生徒の発表

続いて生徒たちが、事前学習で制作した作品などを手に持って見せながら発表する。教師は、このとき、映像操作エージェントに指示を与えて、発表する生徒の姿を両教室の大画面スクリーンに大写しにする。エージェントは、カメラ操作により生徒の姿をとらえ、ズームアップ、焦点合わせを行う。続いて画面切替により、両教室の大画面スクリーンに生徒の姿を映し出す。この状態でQ & Aが後に続く。

(3) Q&A

相手方教室の生徒が質疑応答のために発言するとき、相手方教室の教師は映像操作エージェントに指示してその生徒の姿をとらえさせる。エージェントは(2)と同様の操作により、両教室の大画面スクリーンに生徒の姿を映し出す。(2)および(3)の動作が、質疑のやりとりに対応して繰り返し行われる。

(4) 授業の中断

課題を生徒に自分の力で集中して考えさせるために、通信授業の途中で通信を中断し、教室A、Bがそれぞれ単独授業に移行する。教師が中断しようと判断したとき、プロセス管理エージェントに指示を与える。プロセス管理エージェントは、相手方プロセス管理エージェントに中断の合意を求め、相手方教室の条件成立を待つ状態になる。双方の合意が成立したとき、両エージェントはそれぞれの映像操作エージェントに

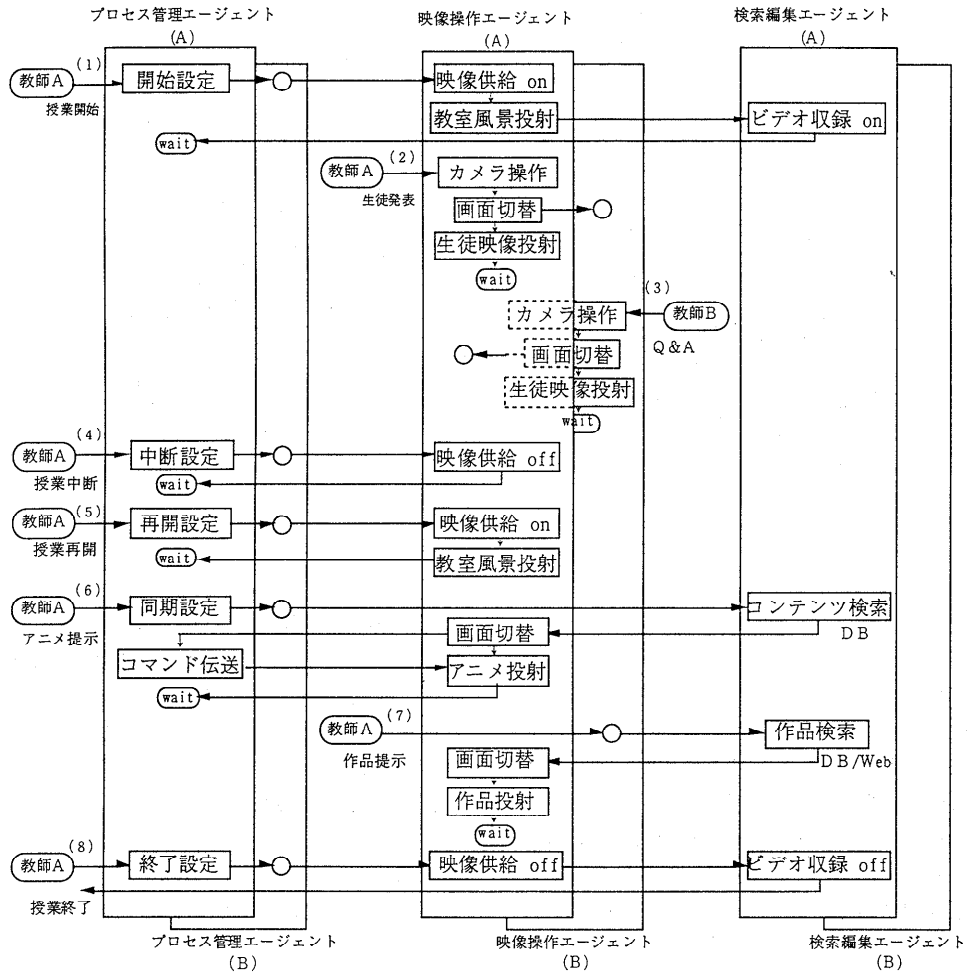


図4 交信授業時のエージェント間の動作関係。(A),(B):2つの教室の区別を示す。

○印:エージェントの指示が相手方教室のエージェントにも伝えられることを示す。

Fig. 4 Relationships between agent-processes in an interactive lesson.

対し、映像供給停止の指示を出す。その結果、両教室間の映像供給が停止される。

(5) 授業の再開

授業の中断後、プロセス管理エージェントは教師からの再開指示を待つ。一定の時間が過ぎても指示がない場合は、教師に催促を出す。教師から授業再開の指示があったとき、プロセス管理エージェントは相手方エージェントに指示を伝え、再開条件の成立を待つ。双方の合意が成立したとき、両エージェントは双方の映像操作エージェントに対し、映像供給を再開する指示を出し、両教室間の映像供給を再開する。

(6) アニメ提示

アニメ教材は、生徒の理解や発想を助けるために授業の中の随所で使用されるが、一体感醸成のために両教室で同一の映像を見せる必要がある。教師がプロセ

ス管理エージェントにアニメ提示を指示すると、エージェントは両教室に同期動作の環境を設定する。そこに検索編集エージェントによって検索されたアニメ教材がインストールされる。大画面スクリーンは、映像操作エージェントによって、アニメ提示用に画面切替される。この後は、教師から指定されたコマンドが両教室に伝達され、アニメ教材の同期動作が行われる。

(7) 作品の提示

生徒が自分の作品を提示する場合、映像操作エージェントは、あらかじめデータベースに登録されている作品を検索編集エージェントに要求して探し出す。映像操作エージェントは、検索された作品を、画面切替のうえ、両教室の大画面スクリーン上に同じ映像として映し出す。

データベースには生徒作品のほか、教材や収録ビデオ

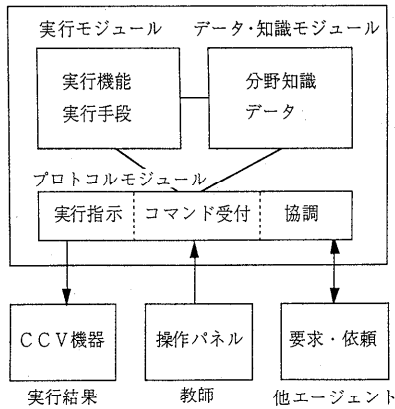


図5 エージェント構成の基本形式
Fig. 5 Basic form of agent configuration.

オなども登録されており、それらの提示も同じような方法で行われる。ウェブ・サーバから一般の教材を検索してきて提示する場合も同様である。一方、作品を直接提示する場合は、教師が映像操作エージェントに指示して書画カメラを設定させ、それを通じて詳細で鮮明な作品の映像を両教室に提示する。

(8) 授業の終了

最後に教師が、授業のまとめと宿題などの指示を生徒に与え、交信授業を締めくくる。教師は、プロセス管理エージェントに授業終了を指示する。プロセス管理エージェントは相手方プロセス管理エージェントにこれを伝える。両エージェント間の合意が成立したとき、このエージェントは映像操作エージェントに指示して両教室間の映像供給を停止し、検索編集エージェントにビデオ収録を停止する指示を出す。その後でシステム全体の機能を終了させる。

3.3 エージェントの実現方式

図5にエージェント構成の基本形式を示す。エージェントは、3つのモジュールから成る。プロトコル・モジュールは、外部とのインタフェース機能を担当し、コマンド受付、実行指示、協調の3サブモジュールから成る。コマンド受付サブモジュールが教師からの指示を受け取り、他のエージェントとの協調が必要と判断した場合は協調サブモジュールを通じて他のエージェントに実施の交渉をする。データ・知識モジュールは、当該エージェントが役割を果たすために必要な分野知識・情報を蓄積している。実行にあたって必要な情報を外部から求める場合は、他のエージェントの協力を求める必要があり、プロトコル・モジュールの協調サブモジュールを通じて発信される。実行モジュールは、指示を実行するための方法を実行機能や実行手段から組み立て、決定した実行方法をプロトコル・

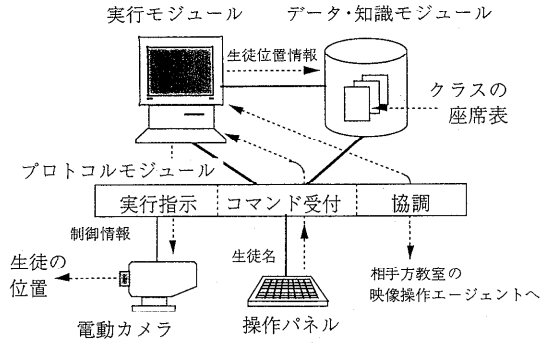


図6 映像操作エージェントの構成
Fig. 6 Configuration of the image operation agent.

モジュールの実行指示サブモジュールを通じてCCV機器に伝える。実行方法の決定に必要な知識や情報をデータ・知識モジュールに求める。

(1) 映像操作エージェント

画面切替にあたっては、教師から必要な映像を要求されると、データ・知識モジュールが映像の種類と伝送システムを検索し、実行モジュールに渡す。実行モジュールは、それに合った映像スイッチングの方法を決定し、CCV機器にスイッチングの指示を伝え、画面切替を行う。相手方エージェントに画面切替の情報を伝える。その後、指示された映像の供給を開始することにより、両教室には共通の映像が映し出される。

カメラ操作機能の実現方式を図6に示す。教室における生徒の位置情報は、「座席表」の形でデータ・知識モジュールにあらかじめ登録されている。1つの座席位置情報は、座標中心位置からの偏角、ズーム、フォーカス情報からなる。最大40名の生徒と数個の対象物を指示可能とするため、座席表1枚あたり最大48ポイントの位置設定を可能とする。また、別のクラスの構成にも適用できるように、複数の座席表を蓄積可能とする。

生徒の指名を受けた映像操作エージェントは、データ・知識モジュールの中から該当する生徒名を探し出し、その位置情報を実行モジュールに伝える。実行モジュールはその位置情報から電動カメラを動かすための制御情報を計算し、実行指示サブモジュールを通じて電動カメラに伝える。指示された生徒名がデータ・知識モジュールから見つからなかった場合は、協調サブモジュールを通じて相手方映像操作エージェントに協力を求める。相手方映像操作エージェントは、渡された生徒情報により、上記と同様な動作を行って電動カメラを動かし、当該生徒の姿をとらえる。

(2) 検索編集エージェント

プロトコル・モジュールから検索要求が入ると、検

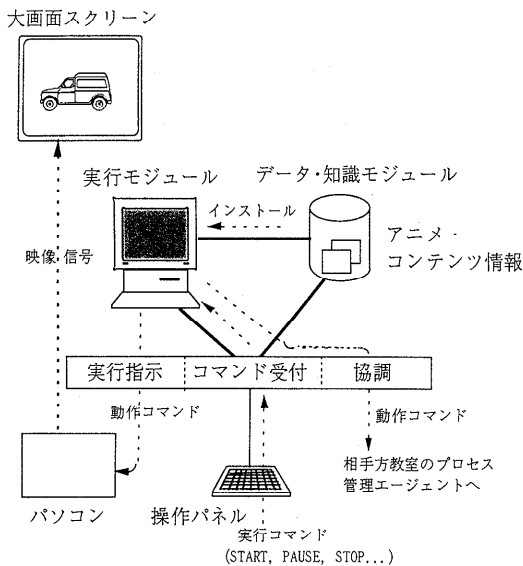


図7 アニメ同期動作方式

Fig. 7 Method of synchronized animation playback.

索引編集エージェントは、自分のデータ・知識モジュールの情報から検索を始める。実行モジュールは、その検索結果を受けて該当する生徒作品や教材を探し出し、実行指示サブモジュールを通じて結果を返す。編集の対象は、タグ付きで収録された授業記録ビデオである。ビデオを再生しながらタグの出現を監視し、タグが現れたとき、その映像部分の複製を開始する。その場面が終わるまで複製し、あとは次のタグの出現を待つ。編集結果はデータベースに登録する。登録は、指定された教材や生徒作品をシステムのデータベースに登録し、検索のための情報をデータ・知識モジュールに登録する。

(3) プロセス管理エージェント

プロセス管理エージェントが行うアニメ同期動作の実現方式を図7に示す。データ・知識モジュールに記憶されているアニメ・コンテンツの情報からシステムのデータベース中に格納されているアニメ・コンテンツを探索、パソコン上にインストールする。同期の情報を相手方プロセス管理エージェントに伝達し、同様の準備作業を依頼する。両教室でまったく同等のアニメ動作環境が設定できた後、教師からのコマンド入力を受け付ける。コマンド受付サブモジュールは、入力されたコマンドを実行指示サブモジュールを通じて自分のパソコンに伝送すると同時に、協調サブモジュールを通じて相手方エージェントに伝送する。このコマンドによって両教室のパソコン上のアニメ・コンテンツが同時に動作し、アニメの同期動作が実現される。

4. 実験検証システムと考察

エージェント機能を実装したCCV教育システムの実証実験は、山梨県の小学校（以下、N校と記す）と山形県の小学校（以下、G校と記す）の間で実施した。

4.1 実験システムの構成

実験システムの構成を図8に示す。協同授業で使用する映像は、テレビ会議システムからの映像、およびパソコン画面の2系統とした。テレビ会議システム経由の映像はさらに、生徒の発言する姿をとらえる電動カメラ、教室全体を映し出す全景カメラ、絵図や文書を拡大して映し出すことができる書画カメラ、およびビデオの4系統からなる⁷⁾。テレビ会議システム映像およびパソコン画面は、ビデオスイッチで切り替えて液晶プロジェクタに入力し、80インチの大画面スクリーンに投射する。音声は、教室天井に埋め込まれた6本のマイクから入力する。パソコンとテレビ会議システムの画面および音声情報は、通信ネットワークを経由して遠隔の教室に伝送され、両方の教室の生徒たちが大画面スクリーン上の同じ映像と音声とを共有しながら交流できる環境とした。3種類のエージェントは、パソコン中に組み込まれ、教師の指示は操作パネルから入力されるようにした。

通信ネットワーク回線の速度は、ISDNの384kbpsを使用し、テレビ会議システムの画像伝送方式は、H.261仕様を採用した。液晶プロジェクタは、教室内の照明を消したり、カーテンを引いたりしなくても十分明るく映し出せる輝度700lumenの性能を持つものを採用した。また、教室の安全性を考えて液晶プロジェクタは、天井から吊るす形態とした。

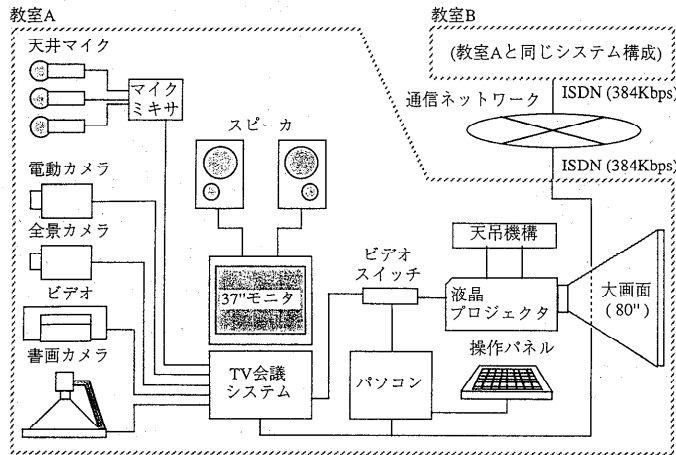
4.2 協同授業実施結果

協同授業実験におけるエージェント機能の動作結果について、交信授業を中心に述べる。

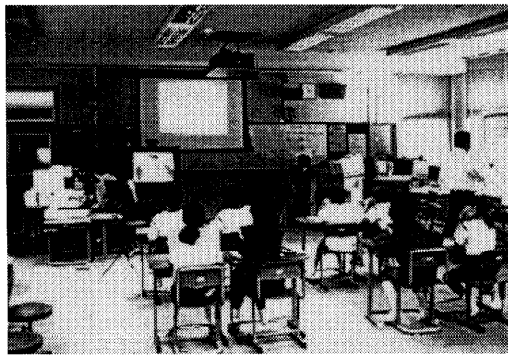
(1) 曲線形の授業

画用紙に下書きした絵柄の外周の長さを測定し、その長さに合わせて切り取った毛糸を外周に沿って貼り付けた絵を刺繍画という。この絵柄の外周を測定する過程で、曲線のいろいろな性質や、円弧に分解して測定する方法などを協同学習するのが、この授業の目的である。協同授業の実験は、N校の4年生とG校の4年生の間で実施した。

生徒たちが刺繍画作品を発表するとき、教師は映像操作エージェントに指示を出した。映像操作エージェントの画面切替機能が作動し、2つの遠隔教室とも同じ画面に切り替わった。次にカメラ操作機能が作動し、電動カメラで生徒の姿が大写しで明瞭にとらえられ、



(1) 実験教室の機器構成



(2) 実験教室の風景

図 8 実験システムの構成

Fig.8 Configuration of the experimental system.

相手方教室に伝送された。また、相手方教室から生徒が質問に立ったとき、相手方教室の教師が映像操作エージェントに指示を出し、同様の動作を経てその生徒の姿が大写しでこちらの教室に伝送された。いずれの場合も待ち時間が数秒以内で、生徒の発言したいタイミングを外すほどの遅れではなかった。これは、映像操作エージェントが教師の指示に対して効果的に動作したことを示している。

また、発信授業の途中で作品制作のために、教師がプロセス管理エージェントに対して中断を指示した。プロセス管理エージェントは、相手方エージェントに指示を伝送するとともに映像の供給を停止し、教師の再開指示を待った。当方の教師が再開の指示を出すと、エージェントは相手方教室のエージェントに伝え、授業再開をすべきかどうか協議した。双方のエージェントの条件が一致した時点で授業再開が成立し、映像操作エージェントへ再開の指示が出され、大画面スク

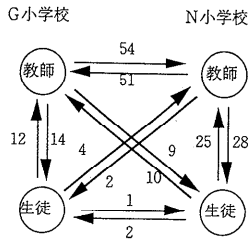
リーン上には再び映像が映し出された。

この発信授業の中で話された対話回数の測定結果を、図 9 に示す。図中の矢印線は教師-生徒間の対話の方向を示し、数字は対話総数を示す。最初の授業のときは、教師間の対話が大部分を占め、教師-生徒間、生徒-生徒間の対話回数は伸びなかったが、2 回目は、授業環境への慣れ、事後学習でのビデオ記録使用による相手方への親近感などから、相手方教室の教師と積極的に話す生徒が増加した。生徒同士の対話も見られた。3 回目は生徒同士の対話回数も増加した。

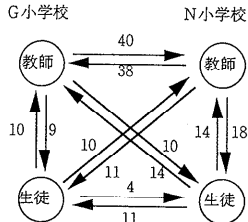
(2) 曲面体の授業

この授業は、異なった種類の曲面体を 2 つの教室で作って比較して見ることにより、曲面体の種類や性質をより深く学ぶことが学習目標である。実験は、N 校と G 校の 1 年生の間で行われた。

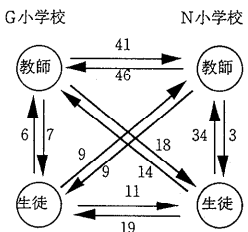
紙粘土を使って N 校はお面を作り、G 校は動物を作った。最初の発信のとき、双方のクラスから紙粘土



(1) 第 1 回目対信授業の結果



(2) 第 2 回目対信授業の結果



(3) 第 3 回目対信授業の結果

図 9 対信授業における対話の推移

Fig. 9 Trends in types of verbal exchanges during interactive lessons.

で作った作品を発表し合った。生徒が作品を書画カメラを使って発表するとき、教師は映像操作エージェントに指示して、クローズアップした作品の映像を相手方教室に伝えた。次に、生徒たちがこれから作る作品のイメージを膨らます目的でジェスチャーを行った。このとき、映像操作エージェントは、生徒が教室の前方に出てきたり、机のうえに乗ったりしてポーズをとる姿をとらえようとした。しかし、エージェントが持つ知識の範囲を超えるところまで完全に追うことはできなかった。この授業では、動物の骨格の仕組みを学習するために、アニメ教材の提示を頻繁に行った。両教室の大画面スクリーンに同一アニメを映し出すため、プロセス管理エージェントが呼ばれた。エージェントは、同期動作の準備をすると同時に検索編集エージェントにコンテンツの探索を依頼した。同じ指示を相手方プロセス管理エージェントに指示した後、映像操作エージェントに画面切替の依頼を出した。そしてアニメ

メ動作を制御するコマンドを教師から受け取るごとに相手方エージェントに伝え、つねに同期動作するように管理した。動物の形状や動く姿を様々な角度から見せるために、コマンドの入力が繰り返行われた。

(3) 立体図形の授業

この協同授業は、最初、画用紙に車や宝箱の展開図を描き、それを組み立てて立体を作る。次に、それを互いに見せ合うことにより、立体図形の形状や性質をより深く学習するのが目的である。N校とG校の3年生の間で実施した。ただし、この授業は、(1)、(2)とは異なり、2.1節で示した対信モードIIによる授業だった。すなわち、N校の教師と生徒に対してG校からは教師のみが対応する形態の対信授業だった。この授業では、G校生徒の授業風景および作品は検索編集エージェントによって、あらかじめデータベースに蓄積されており、N校生徒にはビデオ提示および作品提示によって伝えられた。このため、検索編集エージェントが頻繁に使用された。N校生徒は、大画面スクリーンに映し出される相手方教室の生徒や作品に対して、対信モードIにおける場合と何ら変わらない反応を示していた。なお、G校の授業風景の映像は、あらかじめ編集して登録されたものが使用されたので、タグ付き編集のようなエージェント機能は使われなかった。

4.3 考 察

映像操作エージェントは、3つのエージェントのうち、最も頻繁に呼ばれた。カメラ操作については、あらかじめ生徒の座席位置を記憶させておくことにより、エージェントに指示があってから処理を完了するまでの時間が短縮された。また相手方教室のエージェントとの協調により、相手方教室の生徒の指名も可能となった。このため、発言に立った生徒は、最大数秒待たばよくなり、発言意欲を削がれる不具合は軽減された。一方、教師側でも映像操作、特にカメラ操作に対する負荷が軽減され、2つ以上の作業が重なるピークときでも円滑な授業の進行が可能になった。図9に示した両教室間の対話回数の増加は、対信授業への慣れなどに加え、この改善による両教室間の対話環境の向上も影響していると考えられる。

電動カメラが動いている最中に、そのカメラがとらえた映像を大画面スクリーンに映すと映像が流れ、見ている生徒たちに船酔いに似た不快感を与えることが分かった。このため、電動カメラが生徒をとらえた後で画面を切り替えることにした。エージェント間の協調動作により、カメラ操作終了の後、円滑に画面切替が行われるようになり、生徒に不快感を与えることはなくなった。一方、画面切替のタイミングは、指示を

先に出したエージェントに主導権があるので、相手方教室の状況をよく把握しないまま画面切替が行われることが分かった。これについては、エージェント間の協議をよりきめ細かく行う必要がある、今後の課題といえる。

検索編集エージェントは、アニメ提示や生徒作品の提示などの場面で頻繁に呼ばれ、両教室のエージェントが協調しながら検索を行って結果を返すことができた。大部分が、あらかじめローカルなデータベースに登録済のデータへの検索指示だったので、時間的にも数秒以内という結果が得られた。今回はキーワード検索方式を基本とし、類似検索、連想検索は使用しなかった。しかし、今後、生徒作品が増加するにつれて1生徒あたり複数個の作品を登録したり、類似作品へのリンクなども必要となる。より多様で大量のデータを検索するため、検索方式の高度化が今後の課題である。

立体図形の授業は、交信モード II による交信授業であった。この授業では、相手方教室からの情報として事前収録ビデオとデータベース経由の作品を使用した。授業進行のうえで特に支障は認められなかった。検索編集エージェントによって届けられたビデオ映像や作品に対し、生徒たちは違和感なく接しているのが観察され、交信モード II による授業が可能であることが確認できた。この特長的な授業形態を定着させていくために、エージェント機能としては、ビデオ映像など限られた情報や手段を使って、いかにして臨場感、一体感を向上させるための工夫ができるかが今後の課題である。

アニメ教材の同期動作に関しては、3つのエージェント間の協調連携により、アニメ・コンテンツの探索とインストール、画面切替が円滑に行われ、教師はコマンド伝送のみに集中することができたと考える。

授業中断再開は、プロセス管理エージェントによって行われたが、特に再開はそのタイミングを判断するための適切な情報がなく、もっぱら教師の指示を待ち、両エージェント間で合意をとって決定するという形をとった。教師にとっても中断後の相手方教室の状況は把握できず、再開のタイミング判断には神経を使った。再開をより円滑に行うためには、エージェントに何らかのモニター機能を付加することが今後の研究課題である。

今回のエージェント機能全体の問題点として、エージェントが状況判断に必要な情報の入手が困難な点があげられる。リアルタイム処理が要求されるため、状況判断に時間を取られないように、現状ではそのほとんどを教師の指示に頼っている。その範囲内ではほぼ

所期のエージェント動作が実現されることが分かった。しかし、教師の負荷軽減をさらに進めつつ、エージェント機能を強化していくためには、エージェント自身が必要な情報を入手、自律的に判断できるようにする必要がある。具体的には交信授業を行っている教室の中で発生する情報の利用であり、それは教室内の各種映像、教師や生徒の音声などである。将来的には、このような情報源の利用方法を開拓しつつ実証実験で適用し、有効性評価を繰り返しながら実現していく必要がある。

5. おわりに

CCV 教育システムを用いた遠隔交信授業における教師の機器操作支援、および両教室間の臨場感、一体感醸成の方式としてエージェント方式を提案した。映像操作、検索編集、およびプロセス管理の3エージェント機能を定義し、実際の交信授業実験においてシステム内に実装して機能評価を行った。その結果、カメラ操作の迅速化、アニメ教材の同期などが効果的に動作し、両教室間の交流の活性化に有効であることが確認できた。しかしながら、画面切替や授業再開のタイミング判断などに関しては、教師の期待に十分応えているとはいえない。教師の負荷軽減を進めつつ、エージェント機能を強化、高度化するためには、エージェントがより自律的に動作する必要がある、そのためには交信授業の教室内で発生する情報の利用方法を開拓する必要がある。

今後に残された課題は、以下のようなものである。

- (1) エージェントに対する新たな入力情報の開拓およびそれによるエージェント機能の高度化
- (2) 映像/音声の混合伝送における帯域幅調整のエージェント化
- (3) 授業効果の評価方式の開発

参 考 文 献

- 1) Beadle, H.W.P.: Experiments with Broad-band Multipoint Multimedia Telecommunications and Computer Supported Collaborative Work, *Aust. Telecomm. Res.*, Vol.28, No.2, pp.45-59 (1994).
- 2) 松村幸輝: マルチメディア環境において試作した実践的学習支援システム, *CAI 学会誌*, Vol.11, No.1, pp.22-33 (1994).
- 3) 渡辺健次, 岡崎泰久, 江藤博文ほか: 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).
- 4) 中谷 豊, 新居亨一: 高臨場感マルチメディア

ア通信会議システム, 電気通信学会誌, Vol.59, No.598, pp.21-25 (1996).

- 5) コンピュータ教育開発センター: ネットワーク利用環境提供事業(100校プロジェクト)成果報告書, 東京(1997).
- 6) 小泉寿男, 太細 孝, 横地 清, 守屋誠司, 白鳥則郎: 創造性助長をめざす遠隔協同授業システムの方式と実験結果, 信学技報, ET96-49, pp.67-74 (1996).
- 7) Koizumi, H., Dasai, T., Shiratori, N., et al.: A System Architecture of CSCW for Collaborative Distance Learning Systems, *ICOIN-11*, Vol.1, pp.3D.4.1-3D.4.6 (1997).
- 8) 太細 孝, 小泉寿男, 横地 清, 守屋誠司, 奥山賢一, 黒田恭史, 白鳥則郎: 双方向型遠隔協同授業方式の提案とその実証実験, 教育システム情報学会, Vol.14, No.3, pp.75-83 (1997).
- 9) 太細 孝, 小泉寿男, 小林正幸, 横地 清: 遠隔協同授業システムにおける映像操作の改善方式, 信学技報, ET96-89, pp.15-22 (1996).
- 10) 横尾 真: 柔軟で動的なエージェントの組織構造を用いた分散制約充足アルゴリズム, 人工知能学会誌, Vol.11, No.6, pp.933-940 (1996).
- 11) 野田五十樹, 松原 仁: サッカーエージェントの研究, 人工知能学会誌, Vol.11, No.5, pp.694-701 (1996).
- 12) 柳澤 洋, 村上国男: マルチエージェントシステムの合意形成方式, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.6, pp.1387-1395 (1995).
- 13) 石田 亨, Gasser, L., 横尾 真: エージェントの組織による実時間連続問題解決, 人工知能学会誌, Vol.7, No.2, pp.300-308 (1992).

(平成9年5月20日受付)

(平成9年10月1日採録)



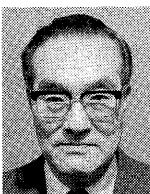
太細 孝 (正会員)

昭和42年東北大学工学部電子工学科卒業, 昭和44年同大学院電子工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。知識情報処理, 教材の研究開発に従事。電子情報通信学会, 教育システム情報学会, 人工知能学会各会員。



小泉 寿男 (正会員)

昭和36年東北大学工学部通信工学科卒業, 同年三菱電機(株)入社。平成3年より技術本部技師長, ソフトウェア・電子設計生産性向上の推進担当。博士(情報科学)。電子情報通信学会, 電気学会, IEEE 各会員。



横地 清

昭和20年東京文理科大学(現筑波大学)卒業。昭和51年山梨大学教授, 昭和63年東海大学教授。現在, 北京師範大学客員教授, 数学教育学会会長。



守屋 誠司

昭和55年山梨大学教育学部卒業, 昭和63年神戸大学修士課程修了。現在, 山形大学助教授(教育学部)。数学教育学会, 日本教育工学会, 日本教育方法学会各会員。



白鳥 則郎 (正会員)

昭和52年東北大学大学院博士課程修了, 昭和59年同大助教授, 平成2年同大教授。工学博士。情報処理学会25周年記念論文賞受賞。情報処理学会平成8年度論文賞受賞。現在, 情報処理学会理事。