

一斉授業の情報化のための電子黒板ミドルウェアの基本構成と試作

坂 東 宏 和[†] 杉 崎 知 子[†] 加 藤 直 樹[†]
澤 田 伸 一[†] 中 川 正 樹[†]

本論文では、一般的な教室環境における黒板の発展型として対話型電子白板を設置した環境を想定し、対話型電子白板上に複数の専用電子教材を起動し、それらのウインドウ領域にまたがって、かつ、それら電子教材の実行と並行して画面全体へ自由に板書が行える機能を提供する電子黒板ミドルウェアの基本構成について述べる。さらに、本ミドルウェア上で動作しているすべての電子教材の実行状態を一括して保存する機能や、一括してスクロールする機能などの、情報化の利点をより簡便に活かすための付加機能も提案する。従来のデスクトップ環境では、黒板のように画面全体への自由な板書を行うことはできない。画面全体に手書きで描画できるようにするソフトウェアも開発されているが、既存のソフトウェアでは板書内容を表示したまま起動されている他のソフトウェアに対する操作をしたり、動画表示を行ったりすることができなかった。そこで、本論文ではこれらの問題をミドルウェアレベルで解決する方法を提案するものである。また、一斉授業の中で利用しやすい電子教材を開発するための方針を明確化し、その方針に従って設計した複数の専用電子教材の試作例を提示する。このミドルウェアと専用電子教材を教育現場で試用したところ、電子教材と板書を組み合わせることで、従来の教室環境で教師が培ってきた授業経験と情報化による利点の両方を活かした授業が実現できることが示唆された。

Architecture and Prototyping of the Middleware for an Electronic Blackboard Aimed at the Computerization of Lectures

HIROKAZU BANDO[†], TOMOKO SUGIZAKI[†], NAOKI KATO[†],
SHIN-ICHI SAWADA[†] and MASAKI NAKAGAWA[†]

This paper presents a middleware architecture for an electronic whiteboard so that the user can run multiple educational applications on it, while being able to draw and make annotations on the whiteboard at the same time. On conventional desktop environments, one can draw lines or make annotations within a single window but cannot do so over multiple windows across a whole screen. Although some softwares allow the user to draw lines over the snapshots of multiple applications across a whole screen, it disables each application to accept users control or to change its display dynamically while showing drawn lines. The middleware we propose does not suffer from such restrictions. Moreover, it also provides features such as freezing the execution of education applications at any time and saving the state of each application so that their execution can be resumed from the saved state at a later time; and scrolling the windows of all the running applications collectively. We also propose guidelines to design educational applications running on the electronic whiteboard, and describe some experimental applications developed according to these guidelines. The experimental use of the system in actual classes suggests that the middleware is quite useful for classroom teaching.

1. はじめに

情報活用能力の習得が不可欠となっている中で、各学校においてもパーソナルコンピュータ環境が整備され、それぞれの学校に合った教育ソフトウェアを導入・

利用している。

従来から情報技術を教育に応用した様々なシステムの研究が行われてきた。しかしこれらの多くは、ネットワークを利用した遠隔授業^{1),2)}を行うことを目的としたものや、主に個別学習を支援することを目的としたCAI^{3)~5)}に関する研究である。既存の多くの教育ソフトウェアが支援の対象としている個別学習では、個々の学習を効率良く支援することができ、生徒個人個人の進度に合わせたきめ細かな教授ができる可能性

[†] 東京農工大学工学部

Department of Computer, Information and Communication Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

がある。

一方、学校における大部分の授業は、一斉授業の形態で行われることが多い。一斉授業では、個別学習のように個々の進度に合わせた指導を行うことは難しい。しかし、一斉授業を通じて、生徒は各教科の内容を理解・習得していくと同時に、生徒と教師、あるいは生徒間で互いに意見を出し合い、議論を行うことで、他人の意見を適切に取り入れる力を養い、自分の意見を伝達する方法を学ぶことができる。さらに、大勢の前で意見を発表することにより、プレゼンテーション能力も養われるなど、一斉授業には個別学習にはない多くの利点がある。そこで我々は、対話型電子白板（以下電子白板と記す）を用いた授業環境において、一斉授業の支援を目的とした教育ソフトウェアを利用することを試み、一斉授業を支援できる可能性があることを報告した⁶⁾。

しかし、そこで利用した教育ソフトウェアは、Microsoft社のWindows（以下Windowsと記す）上で動作する一般的なアプリケーションとして設計したものであったため、黒板の提供する重要な機能の1つである各教材の配置に影響されない黒板全体への自由な板書を犠牲にしていた。この問題は、Windows上で動作する他の一般的な教育ソフトウェアでも同様である。画面全体へ自由に手書きで描画することができるソフトウェアもいくつか開発されているが、それらのソフトウェアでは、描画内容を表示したまま起動されている他のソフトウェアに対する操作をしたり、動画表示を行ったりすることができない⁷⁾。また、従来のWindows環境では、保存や移動などの操作を教育ソフトウェアごとに行う必要がある。

そこで、本論文ではこれらの問題を解決し、電子白板上に従来の黒板が提供する機能を犠牲にすることなく一斉授業に自然な形で情報化の利点を融合することを目的とした電子黒板ミドルウェアを提案する。本論文では、具体的に次の機能の実現方式を示す。

- 一斉授業に適した専用の教育ソフトウェア（以下本ミドルウェア上で動作する専用の教育ソフトウェアを、電子教材と記す）を画面内の任意の場所に任意の大きさで表示できる機能。
- 各電子教材のウィンドウ領域に影響されることなく、それらの電子教材に板書がまたがる場合などを含めて、画面全体に自由に板書できる機能。
- 板書内容を表示したまま各電子教材の操作や動画表示ができる機能。
- 実行されているすべての電子教材の実行状態と板書内容を、まとめて保存、スクロールするなどの、

情報化の利点を活かすための付加機能。

本論文の2章では、従来の一斉授業と、情報化による利点とを融合させる方法と利点について述べ、3章で電子黒板ミドルウェアにおいて提供する機能の設計について述べ、4章でユーザインタフェースの設計について述べる。5章では、その設計方針に従ったミドルウェアの実現方式と試作について述べ、6章で試作したミドルウェアを実際の教育現場で試用した結果とその考察を報告し、7章で結論を述べる。

2. 一斉授業と情報化の利点の融合

2.1 授業環境

従来から行われている一般的な一斉授業は、黒板と教卓、生徒全員分の机と椅子を配置した教室環境で行われる。教師は、黒板を用いてクラスの生徒全員とコミュニケーションをとりながら授業を展開する。生徒はそれを見ながら教授内容を習得し、あるいは黒板を通じて意見を出し合い、論議し、自らの思考の形成を行っていく。

従来の授業環境に近い環境の中で、一斉授業と情報化の利点とを融合させることにより、教師が従来から行ってきた授業に、違和感なく情報化の利点を融合できるはずである。そこで、新しい一斉授業の環境として、従来の教室の中に、黒板の発展型として電子白板を設置した環境（図1）を想定する⁶⁾。

電子白板は、ペン入力タブレットをホワイトボード程度の大きさにしたもので、ペン入力タブレットと同様電子ペン（電子チョーク）を用いて入力する。また電子イレーサ（電子黒板消し）を利用することもできる。画面は、前面からプロジェクタで投影する形式のもの、背面から投影する形式のものがある。



図1 対話型電子白板の利用

Fig. 1 Interactive electronic whiteboard in use.

2.2 黒板の機能の継承

電子白板を黒板の代わりとして利用するためには、電子白板上で従来の黒板が提供する機能を実現する必要がある。我々の考える黒板の提供する重要な機能は、次の2点である。

- 教師と生徒が黒板全体へ自由に板書できること（自由な板書）。
- 教師があらかじめ用意した地図や写真などの教材を、自由な位置に貼り付けて利用できること（教材の自由な配置）。

この2つの機能を電子白板上で提供することができれば、コンピュータの操作に慣れていないことが理由で従来の端末環境の利用をためらっていた教師においても、電子白板を黒板と同様に利用することができ、情報化のしきいを低くすることができると思われる。

2.3 情報化による利点

電子白板を黒板の代わりとして利用することにより、一斉授業に次に示す情報化による利点を融合することができる。

- 電子的な教材を利用できる。
- 正確に描くことが難しい図形を簡単に作成し、表示できる。
- 同じ情報を何回も表示できる。
- 情報の蓄積・再利用ができる。

これらのことから、たとえば、実際には行うことの難しい実験のシミュレーションや、動きのある教材を示すことが容易になる。

また、授業を進めていく中で、前回の授業の内容を再度表示したい場合がある。この場合、黒板であれば再度書き直すしかないが、情報化された環境であれば、前回の内容や以前の状態を保存しておくことで簡単に再表示することができる。また板書面が不足した場合についても、黒板であれば消して上書きするしかないが、情報化された環境であればスクロールなどの方法により情報を残したまま新たな板書面を確保することができる。

3. 電子黒板ミドルウェアの機能設計

3.1 板書機能

黒板の利点として、黒板全体に自由に板書できることをあげた。それに対し、電子白板上に Windows のデスクトップ画面を表示し、教育ソフトウェアを起動して実行する場合、そのソフトウェアに板書機能があれば、そのソフトウェアのウィンドウ領域内の板書は行える。しかし、その場合でも、たとえば図2のような、複数の教育ソフトウェアのウィンドウ領域をま

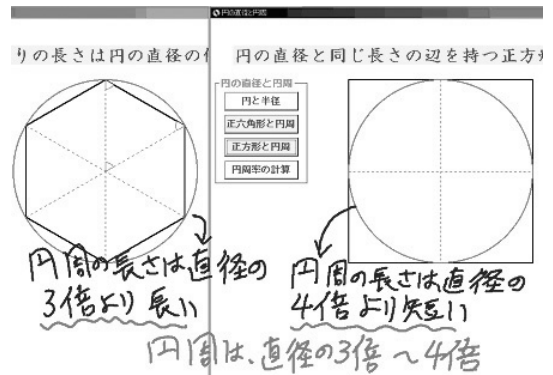


図2 複数のソフトウェアにまたがった板書
Fig. 2 Annotation over multiple educational applications.

たがった、自由な板書を行うことはできない。

画面全体へ自由に手書きで描画することができるソフトウェアもいくつか開発されている⁷⁾。しかし、これらのソフトウェアでは、描画内容を表示したまま起動されている他のソフトウェアに対する操作をできないため、教師が他のソフトウェアを操作している間、生徒は板書内容を見ることができない。つまり、教師は、生徒が板書内容をノートに書き写している間は次の教材の準備を行うことができない。また、動画表示をする教育ソフトウェアの場合には、その動きを見ながら板書内容を見ることができず、板書の意味がなくなってしまふ。

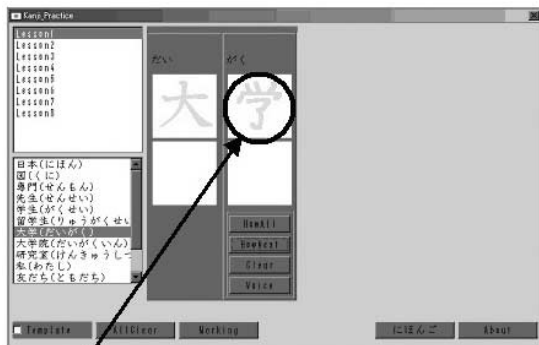
上記の考察から、我々は、各電子教材のウィンドウ領域に影響されずに、画面全体に自由に板書でき、さらにその板書内容を表示した状態で各電子教材の操作や動画表示できる環境を実現する。

3.2 電子教材操作機能

教師は、あらかじめ用意してきた教材を黒板に貼り付けて説明することがある。そこで、電子黒板ミドルウェアではあらかじめ用意された適当な電子教材を、任意の位置と大きさで表示できるようにする。しかし、従来の一般的な教育ソフトウェアをそのまま電子教材として利用した場合、従来の教育ソフトウェアは個別学習の支援を目的としたものが多いため、それらを一斉授業に利用した場合いくつかの問題点が考えられる。それらの問題点から考察した一斉授業に適した電子教材作成の具体的な方針を次に示す。

(1) 必要以上の説明を表示しない

個別学習を支援する目的の教育ソフトウェアは、教師が近くにいない状態であっても効率良く学習できるよう設計されている。そのため様々な説明が表示されることが多い。しかし、一斉授業において、説明は教師の役割であり、ソフトウェア上で様々な説明が表示



説明に必要な表示はこの部分だけである。

図3 個別学習支援を目的とした教育ソフトウェアの例

Fig. 3 An example of CAI oriented for personal use.

されることは、むしろ授業をやりにくくしてしまう危険性がある⁶⁾。

(2) 必要な情報を簡単な操作で表示できる

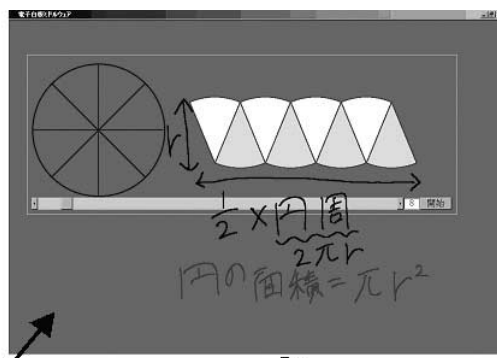
従来の教育ソフトウェアの中には、あらかじめ決められた順番以外の進め方ができない場合がある。このような場合、教師が必要な情報を表示するのに何回も操作を行う必要があり、結果的に無駄な時間を費やしてしまう。

(3) 必要な情報だけを任意の大きさで表示できる

従来の教育ソフトウェアは、様々な機能が統合されたものが多く、図3のように様々なオブジェクトや情報が表示される。そのため、たとえば、教師が漢字の書き順を示したいと考えた場合、従来型の教育ソフトウェアを用いた場合には、図3のように小さく表示することしかできない。しかし、説明に実際に使われる部分は、図3の黒丸の部分だけである。

3.3 付加機能

情報化の利点の1つとして情報の蓄積・再利用が考えられる。しかし、一般的なWindows用のアプリケーションでは、すべてのアプリケーションの状態をまとめて保存したり、移動させたりすることはできないため、教師はアプリケーションごとに保存操作や移動操作を行わなければならない。そこで、電子黒板ミドルウェアでは、広い仮想的な画面の上に各電子教材の表示や板書が行われているものと考え、仮想画面上の内容をまとめてスクロールする機能(以下一括スクロール機能と記す)を実現する。また、すべての電子教材の実行状態と板書内容を、現在の表示画面の外に位置するものも含めてまとめて保存する機能(以下一括保存機能と記す)を実現する。



板書面 制御ウインドウ表示バー

図4 電子黒板ミドルウェアの典型的な画面

Fig. 4 A typical screen of the middleware for an electronic blackboard.

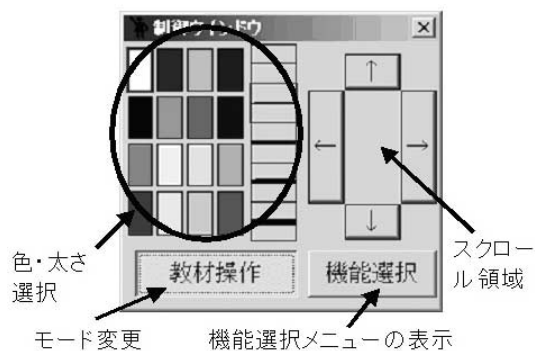


図5 制御ウインドウ

Fig. 5 Control window.

4. ユーザインタフェースの設計

電子黒板ミドルウェアのユーザインタフェースは、以前から行っている大画面インタフェースに関する研究の成果を活かし、操作者の立ち位置に依存しないインタフェースを心がけることとする^{8)~10)}。本ミドルウェアの典型的な画面を図4に示す。

4.1 板書モードと教材操作モード

電子黒板ミドルウェアは、ユーザのペンによる入力、板書と電子教材の操作のどちらを目的としたものであるかを判断するために、板書を行うためのモード(板書モード)と、電子教材を操作するためのモード(教材操作モード)を持つ。教師は、制御ウインドウ(図5)の教材操作ボタンを押すことにより、2つのモードを切り替えることができる。また、現在のモードは、制御ウインドウの教材操作ボタンの状態で判別することができ、図5のようにボタンが押された状態である場合には、教材操作モードであることを示す。



図6 各電子教材のウィンドウ領域に影響されない板書の例
Fig. 6 Annotation free from window areas for educational applications.

なお制御ウィンドウは、図4の制御ウィンドウ表示バーをタップすると、タップした場所の近くに表示される。制御ウィンドウ表示バーを画面下側全体に表示することにより、教師の立ち位置に関係なく、制御ウィンドウを教師の近くに表示することができる。

4.2 板書機能

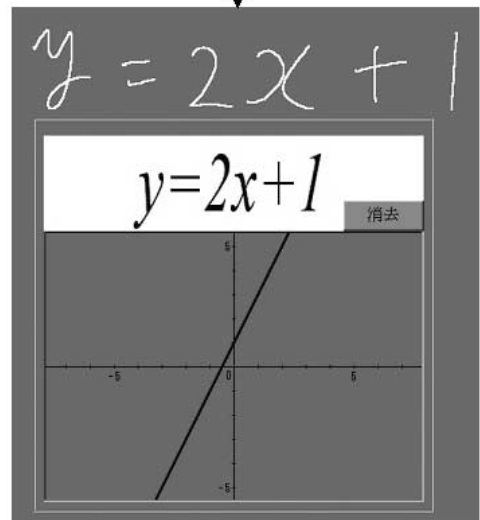
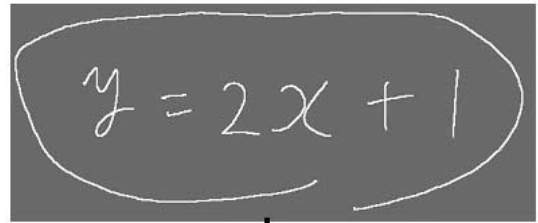
板書は、板書モードで行う。板書の色や太さの変更は制御ウィンドウで行う。板書は、各電子教材のウィンドウ領域に影響されずに、図4の板書面全体に自由に行うことができる(図6)。板書内容を消去したい場合には、黒板消しで消す場合と同様に、電子イレーサを用いて消去する。

4.3 電子教材操作機能

各電子教材に表示されているスクロールバーなどの操作オブジェクトの操作、および、大きさや位置の変更は教材操作モードで行う。

新しい電子教材を表示する場合には、制御ウィンドウの機能選択ボタンを押すと、あらかじめ登録された電子教材や4.4節で述べる付加機能の一覧がメニュー形式で表示されるので、その中から表示したい電子教材を選択する。電子教材の大きさや位置は、Windowsのウィンドウサイズの変更・移動操作と同様の方法で変更できる。各電子教材上のボタンやスクロールバーなどの操作オブジェクトの操作も、教材操作モードにおいて自由に行うことができる。電子黒板ミドルウェアでは、これらの操作を板書内容を表示したまま行うことができる。

また、電子教材を選択した後に、すでに板書されている内容を囲み線によって囲むことにより、電子教材への入力とすることもできる(図7、以下この方法で表示する電子教材を、囲み教材と記す)。これにより、板書内容に対して生徒から質問があった場合には、教師は、再度その板書内容を電子教材に入力し直すことなく、板書内容に関する必要な情報をスムーズに表示することができる。



グラフの表示教材を選択後、上図のように板書内容を囲むとそれに対応したグラフが表示される。

図7 囲みによる電子教材への入力指示

Fig. 7 Designation of input to an educational application by encircling.

4.4 付加機能

板書スペースや電子教材を表示するスペースが不足した場合には、制御ウィンドウのスクロール領域を操作することにより自由に画面をスクロールさせることができる。

また、電子教材の状態や板書内容を一括保存したい場合には、電子教材を表示するときと同様に、制御ウィンドウの機能選択ボタンを押すと表示されるメニューの中から、保存コマンドを選択する。保存するときのファイル名は、図8のように、手書きで入力することができる。

5. 電子黒板ミドルウェアの実現方式と試作

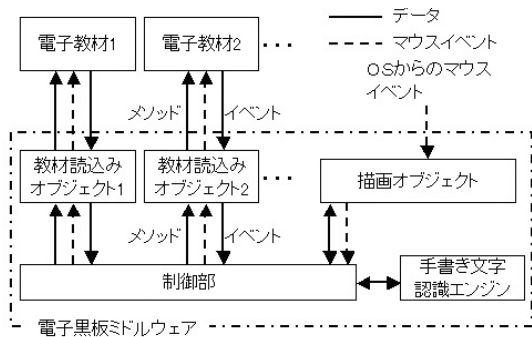
5.1 電子黒板ミドルウェアの全体構成

電子黒板ミドルウェアは、電子教材を5.2.3項で述べるメソッドとイベントを含むオブジェクトとして作成し、それらを連携動作させるミドルウェアとして開発する。本ミドルウェアは、図9のように、制御部、



図 8 手書きによるファイル名の入力

Fig. 8 Input of a file name by handwriting.



教材読み込みオブジェクトは、新しい電子教材の実行・表示が行われるたびに動的に生成される。

図 9 電子黒板ミドルウェアの全体構成

Fig. 9 Architecture of the middleware for an electronic blackboard.

描画オブジェクト、教材読み込みオブジェクト、手書き文字認識エンジンから構成される。

5.2 機能の実現方式

5.2.1 板書機能

板書機能は、描画オブジェクトが担当する。描画オブジェクトは、各電子教材をまたがった自由な板書を可能にするために、図 4 の板書面と同じ大きさの透明なウィンドウとして、他のすべてのウィンドウより上位に配置する。また、板書内容を表示したまま各電子教材の操作や動画表示を行えるようにするために、5.2.2 項で述べる電子教材の操作や、5.2.3 項で述べる電子教材からの処理要求が発生した場合に、必要に応じて板書内容の再描画を行う。

板書面上で発生したマウスイベントは、最初に OS から描画オブジェクトに配信される。このとき、現在のモードが板書モードであれば、描画オブジェクトで板書の処理を行う。教材操作モードであれば、マウスイベントを制御部に転送する。

5.2.2 電子教材操作機能

電子黒板ミドルウェアで利用する電子教材は、あらかじめ設定ファイルの中に、電子教材のオブジェクト

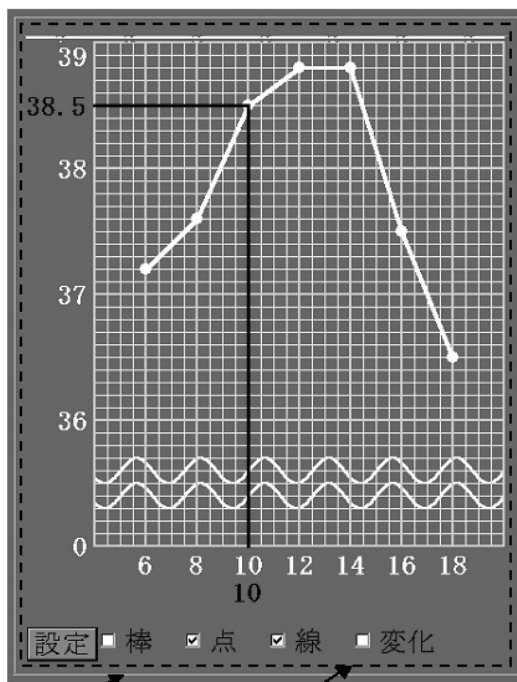


図 10 教材読み込みオブジェクトと電子教材の関係

Fig. 10 Relations between the loader object and an educational application.

名を記述することで登録しておく。また、囲み教材の場合には、オブジェクト名の先頭に、囲み教材であることを明示するため“+”を追記する。

電子教材の表示・移動・サイズ変更などを含む電子教材の管理は、制御部が担当する。新しい電子教材の実行・表示を行う場合には、最初に教材読み込みオブジェクトを生成する。次に、教材読み込みオブジェクトは、電子教材を自分自身の内側に表示する(図 10)。このように教材読み込みオブジェクトを経由することで、異なった種類の電子教材を教材読み込みオブジェクトの配列として扱うことができ、制御部の処理を統一できる。

また、描画オブジェクトから制御部へマウスイベントが転送されてきた場合には、マウスイベントの発生した座標位置が、ある電子教材のウィンドウ領域内である場合、その電子教材にマウスイベントを転送する。マウスイベントの発生した座標位置が、電子教材のウィンドウ領域外で、かつ、教材読み込みオブジェクトのウィンドウ領域内である場合、電子教材の移動やサイズ変更の処理を行う。

表 1 電子教材のメソッド・イベント一覧

Table 1 A list of methods and events for educational applications.

種類	名称	意味
メソッド	AkiSave (保存メソッド)	一括保存が実行されたときに呼び出される．電子教材は，状態保存に必要なデータをミドルウェアに返す．
	AkiLoad (読み込みメソッド)	一括読み込みが実行されたときに呼び出される．電子教材の状態復帰に必要なデータは，ミドルウェアから電子教材へ渡される．
	SendStroke (囲み教材用メソッド)	囲みによる教材表示が行われたときに呼び出される．囲まれたストロークの座標データがミドルウェアから電子教材へ渡される．
イベント	AkiCommonEvent (共通イベント)	引数 MessageID の値によって意味が異なる． MessageID=1: ミドルウェアは，電子教材の上に描かれた板書データを再描画する． MessageID=2: ミドルウェアは，作業フォルダのフルパスを電子教材へ返す．

5.2.3 付加機能

一括スクロール機能は，制御部が管理している教材読み込みオブジェクトの位置と，描画オブジェクトが管理している板書内容の位置を変更することで実現できる．

一括保存機能を実現するためには，各電子教材の実行状態を，各電子教材と制御部間でやりとりしなければならない．そこで，電子黒板ミドルウェアでは，制御部から電子教材への処理要求を電子教材のメソッドとして，電子教材から制御部への処理要求を電子教材のイベントとして定義することにより，相互の処理要求とデータのやりとりを実現する．具体的に電子教材は，表 1 に示すメソッドとイベントの中から，電子教材側で利用するものだけを実装・利用する．

電子教材の実行状態を保存する場合には，電子教材の保存メソッドを呼び出し，電子教材の実行状態の保存に必要なデータを取得・保存する．制御部が，この処理をすべての電子教材に対して行うことで一括保存機能を実現する．読み込みについても同様に，読み込みメソッドを呼び出すことで実現する．なお，実際には，制御部と電子教材間で直接やりとりするのではなく，教材読み込みオブジェクトを経由して行う．教材読み込みオブジェクトは，メソッドやイベント，データをそのまま制御部，または電子教材へ送る．

現在実現している付加機能は少ないが，メソッドとイベントを定義することにより，様々な付加機能を実現することができる．

5.3 電子黒板ミドルウェアの試作

今回は，電子黒板ミドルウェアを Windows 環境で試作した．具体的に制御部は Microsoft Visual Basic，それ以外の部分は Microsoft Visual C++ を用いて開発を行った．また，電子教材は Microsoft Visual Basic を利用して開発を行い，5.2.3 項で述べた一括保存などに対応するためのメソッドとイベントを定義した

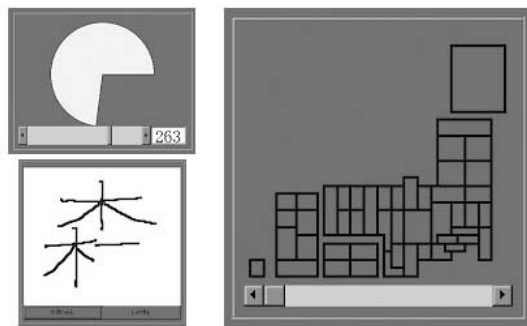


図 11 試作した電子教材の例 その 1

Fig. 11 Educational applications prototyped-1.

Microsoft ActiveX コントロールの形式で作成した．Microsoft ActiveX コントロールは，再利用可能なソフトウェアコンポーネントであり，一般的な開発環境を用いて容易に開発できることから，今回の試作で採用した．

5.4 電子教材の試作

今回は，電子黒板ミドルウェア上で動作する電子教材の一例として，次の (1)～(8) の電子教材を試作した．各電子教材は，3.2 節で述べた方針に従い，余計な説明の表示を行わないものとし，必要な情報だけを簡単な操作で表示できるよう配慮した．また，電子教材内の図や文字は，教材の大きさに合わせて自動的に調節するようにした．

(1) 扇形の表示

任意の角度の扇形を表示できる電子教材を作成した (図 11 左上)．

(2) 正多角形の表示

算数の授業において，正 n 角形の n が大きくなると円に近づくことを説明するために，任意の正 n 角形を表示する電子教材を作成した (図 6)．

(3) 日本地図の表示

簡単な日本地図を表示するための電子教材を作成し

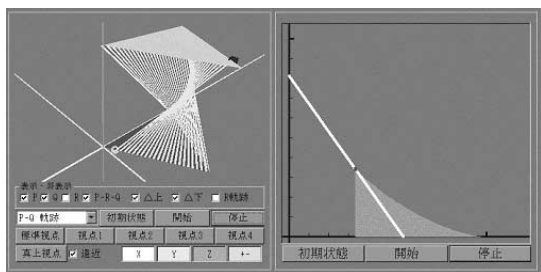


図 12 試作した電子教材の例 その 2

Fig. 12 Educational applications prototyped-2.

た(図 11 右)。

(4) 書き順の再生

国語の授業で用いることを想定し、任意のひらがな、漢字の書き順をアニメーションで再生できる電子教材を作成した(図 11 左下)。

(5) グラフの表示

算数の授業を想定し、一次式までの簡単な数式をグラフ表示する電子教材を作成した(図 7)。

(6) 円の面積の公式を導出するためのアニメーション

算数の授業を想定し、円を細かく分割して並べ替えることで、平行四辺形の面積計算で円の面積を求められることを示すためのアニメーションを表示する電子教材を作成した(図 4)。

(7) 棒・折れ線グラフの表示

算数の授業を想定し、任意の棒グラフと折れ線グラフを表示する電子教材を作成した(図 10)。この電子教材では、すでに習っている棒グラフを書いた後に、それを直線でつないで折れ線グラフを作成することにより、折れ線グラフを教える授業を想定して作成した。この教材では、棒グラフと折れ線グラフを同時に表示することも可能である。また教師が指し示した場所の値を表示することもできる。

(8) 動点の動きのアニメーション

高校数学の授業を想定し、ある条件に従って動く点のアニメーションと、その動点によって作られる図形の表示をする教材を作成した(図 12)。本来は点の動きの条件などを設定できるようにし、汎用的な教材とすることが望ましいが、今回は 6.2 節で述べる試用授業で教示した問題に沿った動きだけを表示できる、限定的な教材として作成した。

6. 電子黒板ミドルウェアの試用

6.1 小学校での試用

小金井市立小金井第四小学校の協力で、2000 年 7

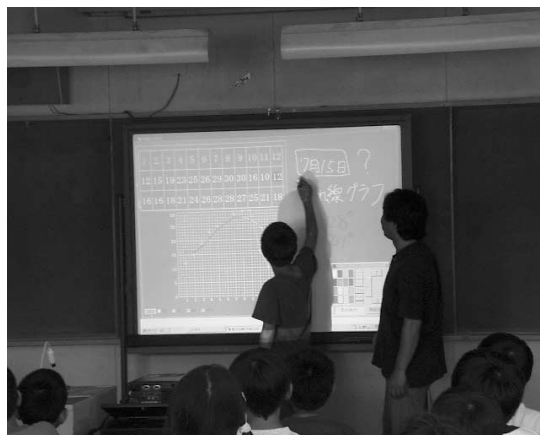


図 13 電子黒板ミドルウェアを利用した授業の様子 その 1

Fig. 13 A snapshot of a lecture using the middleware on an electronic whiteboard-1.

月 5 日(水)に、前面投影式の対話型電子白板を教室に設置し、その上で、電子黒板ミドルウェアを利用した 45 分間(1 時限)の算数の授業を行った(図 1, 図 13)。授業は、4 年生 1 クラス(34 名)を対象とし、担任の教師に実施していただいた。

電子教材は「棒・折れ線グラフの表示」(図 10)を使い、棒グラフをつなぐことによって折れ線グラフを表示し、折れ線グラフの意味や値の読み取り方を学習させた。なお、グラフ表示に必要なデータは、授業前にあらかじめ入力し、保存しておいた。

授業では、電子教材によって表示されたグラフ上の必要な部分に板書をする場面が多く見られた。たとえば、日本の各都市における 1 年間の気温の変化を示したグラフでは、グラフ上に都市名を板書したり、説明に必要な部分に丸をつけたりといった板書が行われた。また、説明のため電子教材の外から教材の中へ矢印などを板書することがあった。さらに、新たな板書面を確保するために一括スクロール機能が使われた。

授業終了後、児童に簡単なアンケートに答えてもらった結果、全員の児童がいつもの授業に比べて楽しいと回答し、さらに 34 名中 31 名の児童がいつもの授業よりも分かりやすいと回答した。また、自由に意見を書いてもらった結果、この方法の授業は楽しかったなどの意見が得られた。

また教師から次の意見が得られた。

- 黒板とチョークによる従来の環境と比較して、授業がやりやすくなった。しかし、前面投影のため、影ができてしまうのは弱点だと思う。
- 従来の教育ソフトウェアよりも授業内で利用しやすく、自分の進めたい授業ができた。児童の理解



図 14 電子黒板ミドルウェアを利用した授業の様子 その 2
Fig. 14 A snapshot of a lecture using the middleware on an electronic whiteboard-2.

の助けにもなると思う。

- 教材の操作はしやすかったが、板書はややしくかった。
- パソコンが一斉授業の道具として利用できたことは、今までにない教師側から必要としたソフトウェアであり、とても良かった。良い発想なので、電子黒板が早く現実的になってほしい。

6.2 高等学校での試用

淑徳と野高等学校の協力で、2001年10月16日(火)に、前面投影式の対話型電子白板を教室に設置し、その上で、電子黒板ミドルウェアを利用した80分間の数学の授業を行った(図14)。授業は、3年生1クラス29名を対象とし、担当の教師に実施していただいた。

電子教材は「動点の動きのアニメーション」(図12)を利用した。図12左の電子教材は、座標空間上に配置された2つの三角形上を点が動き、その2点を結ぶ直線によって作られる立体を表示する。この電子教材では視点の位置を自由に変更し、様々な角度から立体を見ることができる。図12右の電子教材は、座標平面的なx軸、y軸上を点が動き、その2点を結ぶ直線上の動点によって作られる図形を表示する。授業では、これらの図形の体積、面積を求める問題について解説した。

授業では、電子教材の上に点の名称や座標、説明に必要な図などを板書する場面があった。

授業後、担当した教師から次の意見が得られた。

- 電子教材の種類によっては、電子教材の上に板書できるのは嬉しい。
- マウスで操作するよりも電子ペンで操作する方がやりやすい。

一方で次のような問題点が指摘された。

- 現在のモードが分かりにくい。
- 電子教材のアニメーションの種類によっては、板書内容と電子教材の表示がずれてしまう場合がある。
- 1画面単位でスクロールできる機能がほしい。

6.3 考察と今後の課題

試用の結果、電子教材のウィンドウ領域に影響されない画面全体への自由な板書を実現することで、単に電子教材の動きを見せるだけではなく、板書と組み合わせたより効果的な教示を行うことができることが示唆された。

今回の試用では、いずれの場合においても表示画面内に複数の電子教材を表示し、それらの電子教材をまたがった板書を行う場面がなかった。これは、現在の電子白板では板書面が狭く、1つの電子教材とそれを利用した説明を板書するだけで板書面全体を使い切ってしまうためであると考えられる。今後は、複数枚の電子白板を1枚の広い電子白板のように利用できる方法¹¹⁾を用い、より広い板書面での試用を行うことで、電子教材をまたがった板書の利点について検討していきたい。

板書面を確保するために、一括スクロール機能が利用された。今回の試用では、前の板書内容を参照する場面がなかったが、以前の板書内容を再び生徒に示したい場合などに有効であると考えられる。

教師から板書がややしくいと指摘されたが、この問題は、前面から投影する方式の対話型電子白板を利用したため、板書するときに影や視差(ペンの位置と実際の入力位置の差)が発生したことと、電子ペンがチョークに比べて太く持ちにくいためであると考えられる。

影と視差の問題に関しては、背面投影式の対話型電子白板を利用することにより改善できる。また、電子ペンの形状や書き味を工夫し、より入力しやすい電子ペンの開発が望まれる。

授業の様子を観察した結果、教師が板書モードと教材操作モードの切替えを忘れてしまうことが多かった。また、制御ウィンドウを開かないと現在のモードが分からないため、現在のモードがどちらであるかが分かりにくいといった問題も指摘された。これらの問題に関しては、ボタン操作ではなく、ハード的に電子ペンを持ち替えることによりモードを変更できるようにしたり、現在のモードを制御ウィンドウ表示バーに大きく表示したりすることで、ある程度改善できるのではないかと考える。

実用化のためには、試用の結果明らかになった問題

点の改善に加え、ミドルウェアと電子教材間のインタフェースを充実し、様々な種類の電子教材を作成できるように対応していく必要がある。また、電子教材作成者が容易に教材を開発できるように、電子教材の作成に必要な共通プログラムを部品として提供する必要がある。

7. おわりに

本論文では、電子白板上に従来の黒板が提供する機能を犠牲にすることなく従来の一斉授業に自然な形で情報化の利点を融合することを目的とした電子黒板ミドルウェアの基本構成を示した。ここで、黒板の提供する重要な機能とは、教材の自由な配置と各教材の配置に影響されない黒板全体への自由な板書である。本論文では、具体的に次の機能の実現方式を示した。

- 一斉授業に適した専用の電子教材を画面上の任意の場所に任意の大きさで表示できる機能。
- 各電子教材のウィンドウ領域に影響されことなく、それらの電子教材に板書がまたがる場合などを含めて、画面全体に自由に板書できる機能。
- 板書内容を表示したまま各電子教材の操作や、動画表示ができる機能。
- 実行されているすべての教育ソフトウェアの実行状態と板書内容を、まとめて保存、スクロールするなどの、情報化の利点を活かすための付加機能。

このミドルウェアと専用教材を教育現場で試用したところ、電子教材と板書を組み合わせた授業を可能にすることにより、従来の教育ソフトウェアと比べて、一斉授業で利用しやすく、教師の進めたい授業ができ、教師が従来の教室環境で培ってきた授業経験と情報化による利点の両方を活かした授業が実現できることが示唆された。

より大きい電子白板を利用した場合での電子教材をまたがった板書の有用性や、以前の板書内容を参照できることの利点に対する評価を今後の課題とする。さらに、様々な種類の電子教材を作成できるようにするためのミドルウェアと電子教材間のインタフェースの充実、電子教材作成を容易にするための共通プログラムの部品化などを進めていきたい。

謝辞 試用の場を与えていただいた小金井市立小金井第四小学校の皆様、淑徳与野高等学校の皆様、および、評価実験に関わったすべての方々へ深く感謝する。

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)(2) 11558031の一部補助による。

参考文献

- 1) 富澤真樹, 神沼靖子: 双方向遠隔学習におけるマルチメディア教材の共用, 情報処理学会研究報告, 2000-CE-55, pp.9-16 (2000).
- 2) 吉野孝, 井上 穰, 由井園隆也, 宗森 純, 伊藤士郎, 長澤庸二: 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, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2788-2801 (1998).
- 3) 山本米雄: スタンドアロン方式による CAI, 電子情報通信学会誌, Vol.71, No.4, pp.379-384 (1988).
- 4) 伊藤紘二: 知的 CAI システム探訪, 情報処理, Vol.29, No.11, pp.1283-1293 (1988).
- 5) 岡本敏雄: 知的 CAI, 電子情報通信学会誌, Vol.71, No.4, pp.384-390 (1988).
- 6) 坂東宏和, 根本秀政, 澤田伸一, 中川正樹: 黒板の情報化による教育ソフトウェア, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.3, pp.624-632 (2001).
- 7) 株式会社 WACOM: スーパーフリー for Win32 (1996).
- 8) 小國 健, 中川正樹: 対話型電子白板システムを用いた種々のアプリケーションのプロトタイプング, 情報処理学会研究報告, 96-HI-67, pp.9-16 (1996).
- 9) Nakagawa, M., Oguni, T. and Yoshino, T.: Human Interface and Applications on IdeaBoard, *Proc. IFIP TC13 Int'l Conf. on Human-Computer Interaction*, pp.501-508 (1997).
- 10) Nakagawa, M., Hotta, K., Bandou, H., Oguni, T., Kato, N. and Sawada, S.: A Revised Human Interface and Educational Applications on IdeaBoard, *CHI99 Video Proceedings and Video Program and also CHI99 Extended Abstracts*, pp.15-16 (1999).
- 11) 大即洋子, 坂東宏和, 加藤直樹, 中川正樹: 対話型電子白板の同時複数入力と教育用ソフトウェアへの利用, 情報処理学会研究報告, 2001-HI-94, pp.1-8 (2001).

(平成 13 年 4 月 9 日受付)

(平成 13 年 12 月 18 日採録)



坂東 宏和(学生会員)

1975年生。1999年東京農工大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、同大学院博士後期課程に進学。対話型電子白板を用いた、一斉授業を支援する教育ソフトウェア、および、教育ソフトウェア全般に興味を持つ。

び、教育ソフトウェア全般に興味を持つ。



杉崎 知子

1977年生。2000年東京農工大学工学部電子情報工学科卒業。同年、(株)富士ソフトABC入社、現在に至る。金融システムの開発に従事、一斉授業を支援する教育ソフトウェアに興味を持つ。

に興味を持つ。



加藤 直樹(正会員)

1969年生。1998年東京農工大学大学院電子情報工学専攻博士後期課程修了。1997年より日本学術振興会特別研究員を経て、1999年より東京農工大学工学部助手。手書きユーザ

インタフェースの研究・教育に従事。情報教育、教育の情報化に興味を持つ。工学博士。ACM、ヒューマンインタフェース学会、電子情報通信学会各会員。



澤田 伸一(正会員)

1967年生。1992年東京学芸大学大学院教育学研究科修了。東京農工大学工学部技術職員を経て、2001年東京成徳短期大学講師、現在に至る。コンピュータを使った留学生教育・

初等中等情報教育の研究に従事。教育学修士。教育工学会会員。



中川 正樹(正会員)

1954年生。1979年東京大学大学院理学系修士課程修了。同在学中、英国Essex大学留学(M. Sc. in Computer Studies)。1979年東京農工大学工学部助手。現在、教授。共同研

究開発センター長併任。パターン認識、手書きインタフェース、情報教育等の研究・教育に従事。理学博士。