

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

大即 洋子 坂東 宏和 加藤 直樹 中川 正樹

東京農工大学工学部

東京都小金井市中町 2-24-6

Tel : 042-388-7144

E-Mail : yhoko@hands.ei.tuat.ac.jp

本稿は、複数枚の電子白板の連結と電子ペンによる同時複数入力を可能にする電子白板用システムの開発および評価実験の結果について述べる。我々は以前から電子白板を従来の黒板の拡張として授業内で利用することを提案してきたが、情報技術を活用できる反面、従来の黒板と比べ板書面が狭い、教師と児童または児童同士による同時入力が行えないなどの問題点があった。複数ペンによる同時入力ができること、児童や先生と一緒に競争や協調を取り入れた教育ソフトウェアを利用することができるようになる。我々はこれらの問題を新しいデバイスドライバの開発によって解決した。試作したドライバの性能を評価した結果、1入力時と2入力時の処理性能は同等であり、処理性能は問題ないことが分かった。また、本ドライバに対応した小学生向けの二字熟語作成ゲームを用い教育的効果に関する評価を行った結果、対戦型にすることによって児童の競争心を刺激し、より楽しみながら学習できることが分かった。

Multiple simultaneous inputs for an interactive electronic whiteboard and use to educational applications.

Yoko Otsuki, Hirokazu Bandoh, Naoki Kato and Masaki Nakagawa

Tokyo Univ. of Agriculture and Technology.

2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588, Japan

Tel : 042-388-7144

E-Mail : yhoko@hands.ei.tuat.ac.jp

This paper presents the development, experimental use, and evaluation of an arbitrarily large interactive electronic whiteboard system composed of multiple electronic whiteboards while allowing multiple simultaneous inputs to these component whiteboards. An electronic whiteboard has potential to exploit the benefits of information technology. However, products currently available are not as large as commonly used blackboards and they cannot accept simultaneous inputs from multiple electronic pens. Simultaneous inputs with multiple pens enable both students and teachers to work together with educational software employing various strategies of competition and cooperation. We have developed a new device driver to solve these problems. It incurs little extra burden so that applications using it perform smoothly even when simultaneous inputs occur. To evaluate the educational effect, we have prepared single-player and two-players types of a Kanji paring game and compared how children play and learn with them. We have observed that the children compete with each other and learn with more fun on the two-players type.

1. はじめに

近年、小学校等の教育現場においてコンピュータの利用が重要視されはじめている。情報社会では情報活用能力の習得が不可欠と考えられるからである。このように教育現場での情報教育の必要性が訴えられる中で、各学校に積極的にパソコンが導入され、授業に利用されるようになってきた。また、最近では、さまざまな利点をもつ対話型電子白板（以下電子白板）が注目され、各学校に導入されはじめている。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ある。電子白板における画面表示方式には一般的なパソコンのデスクトップ画面をプロジェクタにより前面から投影して利用する方式と、背面から投影する方式の2通りがある。入力は電子ペンとイレーザーにより行われる。

我々は、以前から電子白板を授業内で利用することを提案し、それにより従来の黒板とチョークによる一斉授業の利点と、コンピュータを利用することによって生まれる利点とを融合できる可能性を示した¹⁾。大画面である電子白板は従来の黒板の代わりとなるものであり、大人数で行われる一斉授業に適している。また、従来の黒板では表現することの難しかったシミュレーションや、図・グラフの正確な描画などをより簡便に行うことができる。

しかし、既存の電子白板の表示画面は、小学校等の教室で使用している従来の黒板に比べて面積が狭く、また同時に複数の入力を受け付けることができない。このため、たとえば板書機能を持った教育ソフトウェアや画面全体に自由に板書できる機能を提供するシステム²⁾を利用した場合に、従来の黒板と比較して板書面が狭いということや、先生や生徒による協調作業を円滑に行うことができないという問題があった。

板書面を広げることで、先生による授業が行いやすくなる。また、複数の入力を同時に処理できれば、対戦型の教育ソフトウェアや、板書機能を持った教育ソフトウェアなどにおいて複数人で同

時に作業・解答・板書ができるという利点が生まれる。たとえば、我々が開発を進めている複数人の児童が協力して壁紙新聞のレイアウトを行うシステム³⁾では、代表者だけが電子ペンを使用するのではなくメンバー全員が電子ペンを持って作業を行うことが可能となり、児童の編集作業への参加意欲が増すことが期待される。

しかし、現在市販されている電子白板はハードウェア的な制約から、1枚の電子白板上で同時に複数の電子ペンによる入力を受け付けられない。そこで本稿では、Microsoft Windows（以下Windowsと記す）のマルチモニタ機能を用いて板書面を広げ、各電子白板で1つずつのペン入力を受け付けることにより画面全体で複数同時入力を可能にする専用の電子白板用ドライバの設計・試作について述べる。さらに、本ドライバを利用したシステム上で動作する教育用ソフトウェアの試作と評価を通じて、本システムの有用性について検討する。

2. ドライバの設計と実現

2.1 想定環境

本システムでは、板書面を拡大するために複数枚の電子白板を並べ、それらを1台のパソコンに接続した環境（図1）を想定する。そして、それらの電子白板からの入力を、Windowsのマルチモニタ機能に対応した専用の電子白板ドライバ（以下専用電子白板ドライバと記す）で処理することにより、板書面の拡張と複数同時入力を実現する。この専用電子白板ドライバは、Windows上で動作し、1つのマウスまたはペンからの入力を想定した一般的なアプリケーションでも問題なく利用できることを前提とする。

なお、図1は、画面を前面からプロジェクタで投影する形式の電子白板を2枚利用した場合の構成図である。これとは別に、背面から画面を投影する形式の電子白板を利用することも可能である。

また、電子白板1枚にパソコン1台を接続し、

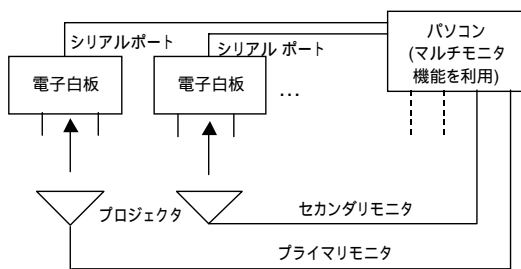


図1 ハードウェア構成 (前面投影型電子白板)

それらのパソコンをネットワークで結ぶ方式も考えられるが、一般的なアプリケーションを複数枚の電子白板にまたがって利用することが難しいため、マルチモニタによる方式を採用した。

2.2 ドライバのデータと制御の流れ

ドライバのデータと制御の流れを図2に示す。専用電子白板ドライバは、標準的なタブレット用ドライバが行う電子白板の初期化と、電子白板から送信されてくるデータを Windows の標準的なマウスイベントに変換・送信する処理に加えて、複数の電子ペンによる同時入力に対応するための拡張マウスイベント (詳細は2.4節で述べる) に変換・送信する処理を行う。

2.3 板書面の拡張方式

本システムは、複数枚の電子白板の画面出力を連動させ、板書面を拡張する基本的な方法として Windows のマルチモニタ機能を採用する。

専用電子白板ドライバは、マルチモニタ機能に対応するために、1枚目の電子白板から入力され

た座標データを電子白板の座標系からプライマリモニタの座標系に、2枚目の電子白板から入力された座標データを電子白板の座標系からセカンダリモニタの座標系に、以下n枚目の電子白板から入力された座標データをn番目の画面座標系に変換する。

2.4 入力の複数同時化方式

専用電子白板ドライバは、アプリケーションが複数枚の電子白板からの入力を同時に処理できるようにするために、電子白板からの入力を、Windows 標準的なマウスイベントと、複数の入力が同時に行われている時に2本目以降の電子ペンの動きをアプリケーションへ通知するための拡張マウスイベントに変換し、各アプリケーションに送信する。

拡張マウスイベントは、アプリケーションでの扱いを容易にするために、標準的なマウスイベントのメッセージ ID だけを変更し、他のパラメータの定義は同じものとする。2本目の電子ペンの動きを通知するための拡張マウスイベントを第2マウスイベント、3本目の電子ペンの動きを通知するための拡張マウスイベントを第3マウスイベント (以下同様に第nマウスイベント) と呼ぶ。ここで、nを回数と呼ぶことにする。なお、第1マウスイベントは標準的なマウスイベントを示す。マウスイベントのパラメータ一覧を表1に示す。

具体的には、各電子白板 (シリアルポート) から送られてくるデータを監視し、受信したときに次の処理 (1~4) を行う。

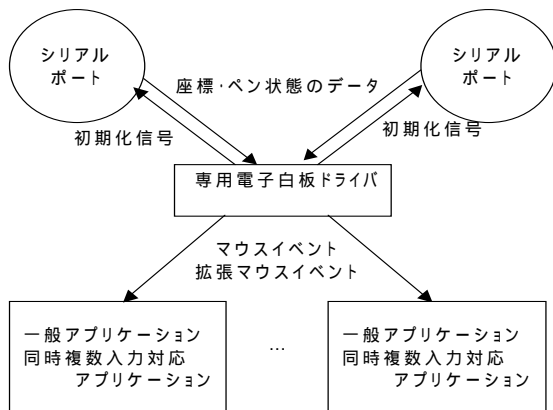


図2 ドライバのデータと制御の流れ

表1 マウスイベントのパラメータ一覧

パラメータ名	意味
メッセージ ID	回数, および, イベントの種類を示す
仮想キー押下状態	マウスボタン及び CTRL, ALT, SHIFT キーが押されていないかどうかを示す
カーソルの座標	マウスカーソルの x, y 座標を示す

(1) 権利の付与

同時に複数の電子白板への入力が行われた場合に、異なる電子白板への入力が同次数のマウスイベントに変換されないようにしなければならない。そこで、受信したデータを第何イベントに変換するのかの決定には、そのデータを送信した電子白板に与えられている第何イベントを発生させることができるかという権利を用いる。データを受信したときに、その受信先の電子白板に権利が与えられていない場合、まずその電子白板に権利を与える。与える権利は、第1マウスイベント、第2マウスイベント、という順番で他の電子白板に与えられていないものとする。

(2) イベントの生成

発生元の電子白板に与えられている権利と、現在のペン状態と直前に発生したイベントの種類に応じてパラメータを設定したマウスイベントを生成する。生成するイベントの種類の手順を図3に示す。

(3) イベントの送信

マウスイベントを発生させる Windows の API を用いて、アプリケーションへマウスイベントを

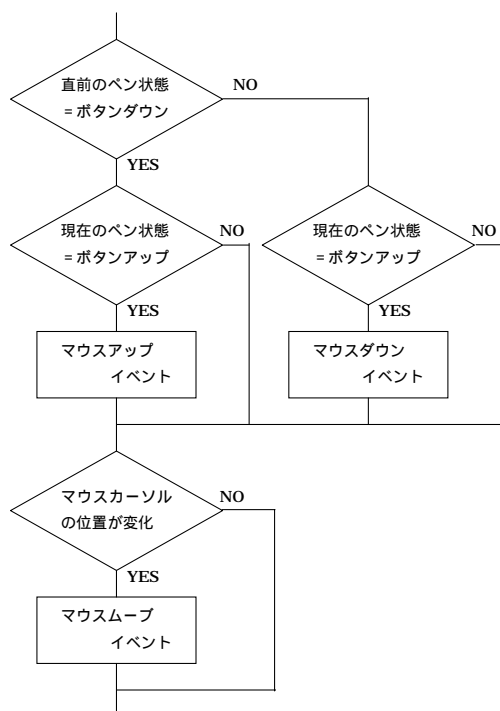


図3 イベントの決定手順

送信する。拡張マウスイベントの場合は、マウス座標に位置するウィンドウのハンドルを取得し、そのウィンドウにイベントを送信する。ただし、一般的なウィンドウの場合、マウスボタンダウンからマウスボタンアップまでのイベントをキャプチャーすることが多いので、専用電子白板ドライバは、ペンの動きに関係なく、次のマウスボタンアップの拡張マウスイベントまでに発生したイベント（具体的には、マウスダウン状態の時に発生するマウスムーブイベントと、マウスアップイベント）をマウスボタンダウンの拡張マウスイベントを送信したウィンドウに送信し続け、処理を簡略化する。

(4) 権利の解放

電子ペンがアップしている場合には、送信する権利を解放する。

これらの処理により、少なくとも電子ペンがダウンしてからアップするまでの間、標準的なマウスイベントと各拡張マウスイベントは、権利を持っていない電子白板への入力に影響されずに、権利を持っている電子白板への入力だけを示すようになる。したがって、拡張マウスイベントを処理していない一般的な入力のアプリケーションでも、問題なく動作させることができ、さらに、拡張マウスイベントを処理することで、同時複数入力を実現することができる。

3. ドライバの性能評価実験

3.1 目的

本ドライバの処理性能を調べるために、通常の1入力の場合と本ドライバを使用した同時2入力の場合で、上位アプリケーションがイベントを取得する時間にどの程度の差があるのかを調べ、その差が上位アプリケーションの動作に影響するかについて検討した。

3.2 実験環境

実験に使用した機材を表2に示す。本来は、対話型電子白板での利用を想定しているが、本実験では想定環境よりも多くの負荷をかけるために、対話型電子白板よりも送信されるデータ量の多い

表2 性能評価に使用した機材

計算機	DOS/V 互換機 (PentiumPro200Mhz メモリ 96M)
OS	Microsoft Windows 98SE
タブレット	MUTOH Video Tablet MVT-14

表示一体型タブレットで行った。

3.3 計測方法

通常の1入力の場合と本ドライバを使用した2入力の場合の性能を比較するには、タブレットが信号を出力してからアプリケーションがその信号に対応したイベントを取得するまでの時間を測定し、どの程度の差が出るのかを検討しなくてはならない。しかし、本ドライバの構造上、タブレットが信号を出力する時刻を測定することは難しいため、その時間を測定することは困難である。

そこで、アプリケーションが100イベント目を取得してから、1100イベント目を取得する時間を測定し比較することでドライバの性能を比較することを考え、本実験のために実験用アプリケーションを作成した。ただし、100イベント目から1100イベント目に対応する信号を出力する時間が一定でなければならない。またその間、すべてのイベントを実験用アプリケーションが受け取る必要がある。そこで測定中は、タブレットから常に信号が出力されるよう高速にペンを動かし続け、イベントの取得時間を測定した。

1入力の場合と同時2入力が行われた場合において、上位アプリケーションが1000イベントを取得するのにかかる時間を各々20回計測し、その差を検討した。

3.4 実験結果

取得時間の平均値を図4に示す。平均値を縦棒、平均値±標準偏差の幅を線分で示している。グラフ中のタブレット1,2は、本実験で利用した2台のタブレットを1台ずつ利用した場合のイベントの取得時間である。また、マウスイベントとセカンダリマウスイベントは本ドライバを使用して

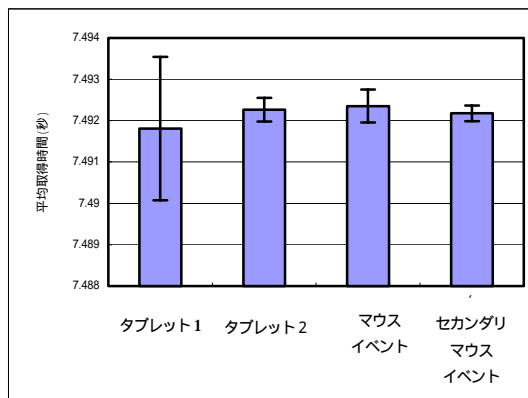


図4 イベント取得時間の平均と標準偏差

同時2入力を行った場合の各イベントの取得時間である。

3.5 考察

実験結果をもとに1入力であるタブレット1,2と2入力であるマウスイベント、セカンダリマウスイベントを各々t検定にかけた結果、1入力と2入力のイベント取得時間において、差は5%の危険率で棄却された。

以上の結果より、イベントの取得時間は、同時2入力の場合であっても1入力の場合とほぼ同じであり、本ドライバの使用による同時2入力は上位アプリケーションの動作の支障をきたさないと考えられる。従って、本ドライバの処理性能は問題ない。

4. 教育的効果の評価

4.1 実験内容

本実験は、次に述べる二字熟語作成ゲームの1人用と対戦型である2人用を使用してもらった上で、1人用と2人用の教育的有用性について比較評価を行うことを目的とした。

被験者には1人用と2人用の両方を使用してもらい、グループ全員が終了した時点で一斉に比較アンケートに答えてもらった。二字熟語作成ゲームを使用している様子を図5に示す。

4.2 実験環境

次に被験者および使用した機材を示す。

(1) 被験者と実験順序

被験者は小学1年生から6年生までの28名である。被験者全員が小学校の授業内でマウスとキーボードによって入力を行うデスクトップコンピュータの使用経験があり、うち7名は電子白板の使用経験もある。この28名を2つのグループ(AとBグループ)に分け、条件を整えるために電子白板使用経験者も3人と4人に分けた。Aグループは1人用を先に、2人用を後に実験した。Bグループはその逆である。これは、使用順による解答の差を実験結果から除くためである。

(2) 使用機材

使用した機材を表3に示す。

(3) 実験用ソフトウェア

本実験では電子白板での同時複数入力機能に対応した対戦型教育用アプリケーションの一例として実現した、二字熟語作成ゲームソフトを利用する。二字熟語作成ゲームを図6示す。このアプリケーションは、小学生の二字熟語の学習を目的としている。従来人間が使用してきたペンで紙

に書くようにコンピュータの操作や入力を行うことができれば、ユーザの思考は妨げられないと考え、解答方式に電子ペンを用いた手書き文字を採用し、より一層の学習効果の向上を図っている。

問題は1年生用から6年生用までの6種類を指定することができる。利用形態は1人用と2人用があり、1人用は、より短時間で任意の数の正答

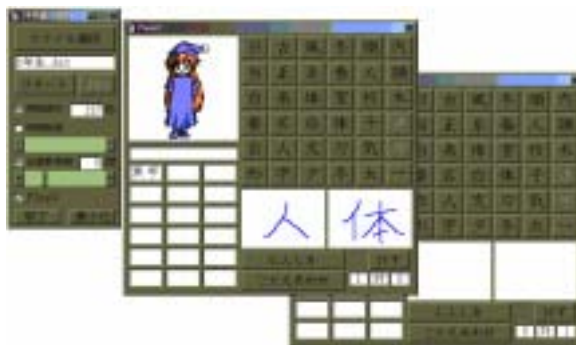


図6 2人用の二字熟語作成ゲーム



図5 二字熟語作成ゲームを使用している様子

表3 教育的効果の評価に使用した機材

計算機	DOS/V 互換機 (Petium 600Mhz メモリ 128M)
OS	Microsoft Windows Me
対話型電子白板	日立ソフト Digital Board D-70WACOM 電子白板 MS-2001

1. どちらが楽しかったですか

個人用 |-----| **A** | **B** |-----| 対戦用

2. どちらが字を上手に書けるとおもいますか

個人用 |-----| **A** | **B** |-----| 対戦用

3. どちらが楽しく漢字の勉強をできるとおもいますか

個人用 |-----| **A** **B** |-----| 対戦用

4. どちらの方が答えを書くのに恥ずかしいと感じましたか

個人用 |-----| **B** |-----| 対戦用

5. どちらの方が漢字の勉強を好きになるとおもいますか

個人用 |-----| **A** **B** |-----| 対戦用

A	Aグループ
B	Bグループ

図7 比較アンケートの質問と結果

を得ることを目標とし、2人用は任意の数の正答をどちらが先に答えられるかを競う。ゲームをスタートすると、あらかじめ指定した学年までに学習した漢字36個が表示される。この表示された漢字だけを用いて二字熟語を作成し、それを電子ペンを用いた手書き文字により解答していく。正解した二字熟語で使用された漢字は非表示となり、ゲームが進行するにつれ表示されている漢字数は減少する。

4.3 実験結果

1人用と2人用の比較アンケートの内容と結果の平均点を図7示す。各項目5段階で評価し、1人用が優位の場合は5点、2人用が優位の場合は1点とし、その他、段階に応じて2点、3点、4点とする。

4.4 考察

項目1のどちらが楽しかったかという質問では、Aグループの平均は2.28 Bグループの平均は1.6と共に2人用の方が楽しかったとの結果が出ている。これに関連した項目である項目3のどちらが楽しく漢字の勉強をできると思うか、項目5のどちらの方が漢字の勉強を好きになるかという質問の結果も2人用に優位となっている。また実験中の様子も、2人用の方は被験者全員が一体となって問題に取り組んでいて、雰囲気よかった。これらの点から2人用の方が楽しく勉強ができると言えよう。

項目4のどちらの方が答えを書くのに恥ずかしいと感じたかという質問では、1人用の方が恥ずかしかったとの結果がでている。特に、実験中の観察から、内向的な性格の被験者にとって、人前での1人用の使用は精神的な負担になっていることが分かった。これは、1人用では周りの視線が被験者一人に集中するが、2人用では視線が分散することに加え、ゲームが進行するにつれ緊張感よりも競争心の方が強くなると考えられる。これに関しては、被験者以外の人間が見ていない状態における評価を実施し、再度検討する必要がある。

一方、項目2のどちらが字を上手に書けるかという質問では1人用の方が字を上手に書く

ことができたという結果になっている。これは、競争心から起こる焦燥感により、字を上手に書く行為よりも、早く書くという行為の方が優先されるからである。字を上手に書く練習という点では、1人用の方がいいと考えられる。

このように全体としては2人用の方が優位であり、被験者は1人用よりも2人用の方に魅力を感じているということが示された。通常は勉強するという被験者にとって苦痛である行為が、対戦型にすることにより被験者の競争心を刺激しより楽しみながら学習することができるということが分かった。しかし、アンケート結果に極端な偏りがあったわけではなく、使用目的によっては1人用の方が有効な場合もある。各々の解答でも1人用がいいという被験者もあり、被験者の目的や好みによって1人用と2人用を使い分けることが望ましいことが示唆された。

5. 関連研究

板書面を広げる研究としては、中駄らが行った研究⁴⁾がある。この研究は、2枚分の大きさをもった1枚の電子白板を開発し、それに2画面を投影して使用することができるというものであるが、同時に複数の入力を行うことはできない。

また複数入力を実現する研究としては、Kori M. Inkpenらが行ったマウスによる同時2入力機能⁵⁾、Eric A. Bierらが行ったMulti-Device Multi-User Multi-Editorプロジェクト(MMM)⁶⁾、Jason Stewartらが行ったSingle Display Groupware (SDG)⁷⁾、Brad A. Myersらが行ったPDAs for Entry of Both Bytes and Locations from External Sourcesプロジェクト(Pebbles)の一環であるPalmPilots⁸⁾等がある。しかしこれらの機能は、通常のディスプレイとマウスやキーボードを対象としており、電子白板を対象にしたものではない。

WACOM社のタブレットドライバには、1枚のタブレットで複数のデバイスを同時に利用できる機能はあるが、電子白板には現在のところ対応していない。また、1台のパソコンに複数枚のタブ

レットを接続する機能もあるが、2枚のタブレットで同時に入力された場合、両方共に標準的なマウスイベントとして発生させるため、一般アプリケーションの操作に支障をきたすという問題点がある。

板書面の拡大と複数入力を同時に実現する研究としては、櫻田らの行った LAN を用いたシステム⁹⁾がある。しかし、このシステムは専用のアプリケーションでしか利用できず、一般のアプリケーションを使用することはできない。いずれにおいても、我々が設計・実現したように複数同時入力に対応でき、かつ、複数枚の電子白板を1枚の電子白板のように利用できるものは、今までなかった。

6. おわりに

本稿では、Windows のマルチモニタ機能に対応し、さらに、電子ペンによる同時複数入力を可能にする専用の電子白板用ドライバを設計・試作した。さらに、本システムを利用した教育用ソフトウェアの試作と評価を通じて、本システムの有用性について述べた。

ドライバの性能評価より、1入力と2入力のイベント取得時間の差はほとんどなく、1入力時の処理性能と同等であるということを示した。従って、本ドライバの処理性能は問題ない。また、同時複数入力機能に対応している二字熟語作成ゲームソフトを使用した教育的効果の評価から、2人用の対戦型にすることにより被験者の競争心を刺激しより楽しみながら学習することができるということが分かった。しかし、結果に極端な偏りがみられなかったため、被験者の目的や好みによって1人用と2人用を使い分けることが望ましいことが分かった。

今後は、同時複数入力機能を活かした教育用アプリケーションの開発を進めるとともに、それらのアプリケーションの詳細な評価を行い、本システムの有用性についてさらに検討していきたい。
謝辞

本システムの評価実験に参加していただいた

すべての方々に感謝する。

本研究の一部は、基盤研究(B)(2)11558031の補助による。

参考文献

- 1) 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).
- 2) 坂東宏和, 杉崎知子, 澤田伸一, 中川正樹: 一斉授業を目的とした電子教材連携システム, 情報処理学会研究報告, 2000-CE-57, pp.87-94 (2000).
- 3) 大郎洋子, 加藤直樹, 中川正樹: 手書きによる壁紙新聞作成支援システムの試作, 情報処理学会研究報告, 2000-CE-57, pp.103-110 (2000).
- 4) 中駄康博, 澤村雅之, 中村輝雄, 西田智博, 都倉信樹, 中川正樹: 電子ボードを中心にした一般教科向け授業支援システムの開発, 全国大会講演論文, No4, pp.227-228 (2000).
- 5) Kori M. Inkpen, Wai-ling Ho-Ching, Oliver Kuederle, Stacey D. Scott and Garth B. D. Shoemaker: "This is Fun! We're All Best Friends and We're All Playing." Supporting Children's Synchronous Collaboration, CSCL'99, (1999).
- 6) Eric A. Bier, and Steve Freeman: MMM: A user interface architecture for shared editors on a single screen, Proc. of UIST'91, pp.79-86 (1991).
- 7) Jason Stewart, Benjamin B. Bederson, and Allison Druin: Single display groupware: A model for co-present collaboration, Proc. of CHI 99, pp.286-293 (1999).
- 8) Brad A. Myers, Herb Stiel, and Robert Gargiulo: Collaboration using multiple PDAs connected to a PC, Proc. of CSCW '98, pp.285-294 (1998).
- 9) Takeshi Sakurada, Hirokazu Bando and Masaki Nakagawa: Extension of the IdeaBoard for Educational Applications, Proc. HCI International '99, Vol.1, pp.243-246 (1999).