

Title	デジタルペンとPDAを利用した実世界指向インタラクティブ授業支援システム
Author(s)	三浦, 元喜; 國藤, 進; 志築, 文太郎; 田中, 次郎
Citation	情報処理学会論文誌, 46(9): 2300-2310
Issue Date	2005-09-15
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/4049
Rights	<p>社団法人 情報処理学会, 三浦元喜/國藤進/志築文太郎/田中二郎, 情報処理学会論文誌, 46(9), 2005, 2300-2310. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IP SJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IP SJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IP SJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p>
Description	

デジタルペンとPDAを利用した 実世界指向インタラクティブ授業支援システム

三浦元喜[†] 國藤進[†]
志築文太郎^{††} 田中二郎^{††}

我々は教室内のコミュニケーションを促進するため、デジタルペンとPDAを利用した実世界指向インタラクティブ授業支援システム AirTransNote を開発した。AirTransNote は生徒の筆記情報を教師の計算機にリアルタイムに送信し、閲覧や解析を行うシステムである。デジタルペンを利用することにより、通常の紙に書く情報が送信できるため、生徒が情報機器の操作を覚える必要がない。また、無線LAN付きPDAを使用することにより配線の手間を軽減することができ、インタラクティブ性の高い授業を一般教室で行うことが容易となる。高校1年生の数学の授業で運用実験を行い、運用にあたっての問題点を明確にするとともに、運用の可能性について考察を行った。

Real-world Oriented Interactive Learning System Based on Digital Pen Devices and PDAs

MOTOKI MIURA,[†] SUSUMU KUNIFUJI,[†] BUNTAROU SHIZUKI^{††}
and JIRO TANAKA^{††}

We developed *AirTransNote*, an interactive learning system based on digital pen devices and PDAs. The system realizes computer-mediated collaboration for a conventional classroom by real-time note-sharing. *AirTransNote* digitizes notes written by students on a regular paper and enables the teacher to browse through the notes or show them to the students. *AirTransNote* can analyze students' answers, helping the teacher better understand their problems. We conducted a preliminary study using questionnaires and found that this system can be feasible to apply for classroom environment.

1. はじめに

ミレニアム・プロジェクト「教育の情報化」[☆]では“すべての学級のあらゆる授業において教員および生徒がコンピュータを活用できる環境を整備する”ことを目標として掲げている。解説資料¹⁾にはその具体的な内容と目的について“ネットワークに接続されたパソコンとプロジェクタを各教室に配置し、黒板では説明しにくい内容について、教師がビデオクリップやアニメーションを用いた教材を生徒に見せることにより、生徒の理解を促進する”ことをあげている。解説資料¹⁾では、計算機は主に教材を提示するための道具

としての利用を想定しているが、我々は計算機を利用した教育（教育の情報化）の効果を最大限に高めるためには、計算機が備える通信機能やインタラクティブ性を活かし、生徒の反応や考え、理解度などを教師にフィードバックする仕組みが重要になると考えている。

計算機が備える通信機能やインタラクティブ性を活かし、生徒の考えや理解度を教師にフィードバックする試みは、Webを利用したe-Learning環境をはじめ様々な研究、実践が行われてきている^{2)~8)}。しかし、これまでのe-Learning環境においてはパソコンやTablet PC, PDAといった情報機器を生徒が操作しながら授業に参加する形態が主流であった。このようなe-Learning環境を使用する場合、生徒はマウスやキーボードなどによる情報機器の操作方法について、あらかじめ修得しておく必要があった。

そこで我々は、生徒がパソコンやPDAといった情

[†] 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

^{††} 筑波大学大学院システム情報工学研究科

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

[☆] <http://www.kantei.go.jp/jp/mille/kyouiku/>

報機器の操作をなるべく意識することなく、インタラクティブ性の高い授業に参加できるようにするため、デジタルペンと PDA を利用した実世界指向インタラクティブ授業支援システム “AirTransNote” を設計・開発している⁹⁾。AirTransNote は、我々が提唱している “Augmented Classroom” (実世界指向技術による一般教室の拡張)¹⁰⁾ の概念を具現化するためのシステムであり、特に一般教室において行われている教授・学習活動が内包するコミュニケーションを円滑にすることにより、教育効率や効果を高めることをねらいとして開発されたシステムである。

本論文の構成を以下に示す。2 章でシステム AirTransNote の概要と利用例、利点について述べたのち、3 章でシステム AirTransNote のシステム構成とソフトウェアについて述べる。4 章で運用実験について述べ、5 章で関連研究について言及する。

2. AirTransNote

本章では、AirTransNote のシステム概要と授業における利用例、利点について述べる。

2.1 システム概要

AirTransNote は、生徒がプリントやノートに筆記した情報を収集し、教師が計算機上で閲覧したり、プロジェクタによって提示したりすることができるシステムである。AirTransNote では、生徒がプリントやノートに筆記した情報を取得するためにデジタルペンを利用している。デジタルペンとは、紙への筆記情報を計算機に取り込む仕組みを備えた筆記用具で、メモ書きを電子化するために利用されている。デジタルペンをを用いると、紙に書かれた筆記の座標と、筆記時刻を取得することができる。これらの筆記情報は PDA 本体のメモリに格納されたのち、クレードルやケーブルによる同期によって計算機に取り込まれることが一般的であるが、我々は無線 LAN を経由した TCP/IP 通信を用いて筆記情報を教師側の計算機に逐次送信することにより、筆記をリアルタイムに収集し、閲覧や解析処理を行うことを可能にした。

図 1 に AirTransNote システム運用時の構成図を示す。授業時には、生徒は図 2 に示す生徒用システム (ATN Transmitter) を使用する。生徒がプリントに書かれた問題に解答したり、板書をノートに写したりといった筆記行為を行うと、その筆記情報 (座標と時刻) が教師用システムに逐次送信される。生徒の筆記は生徒別に管理される。教師は教師用計算機において図 3 のように生徒の筆記を席順に並べて閲覧したり、プロジェクタに表示したりすることができる。教師は

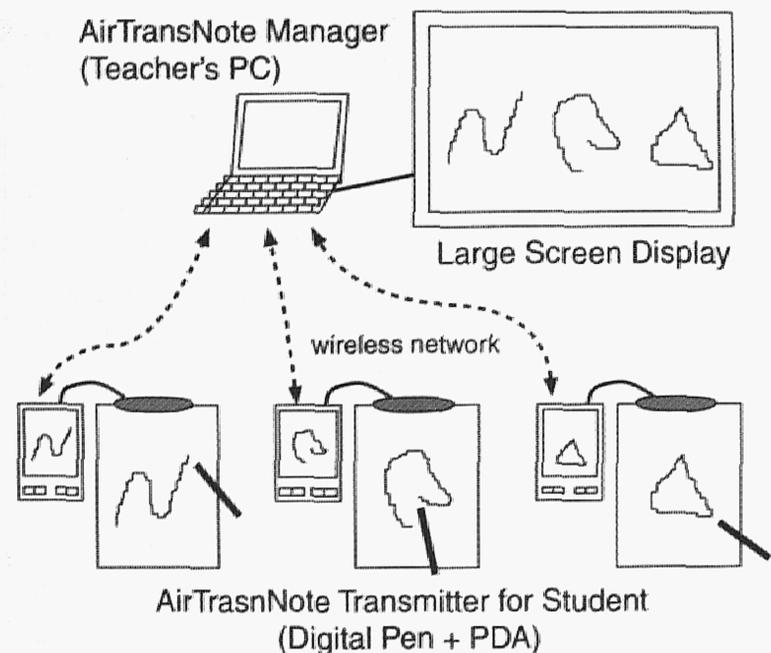


図 1 AirTransNote 構成図

Fig. 1 Outline of system AirTransNote.

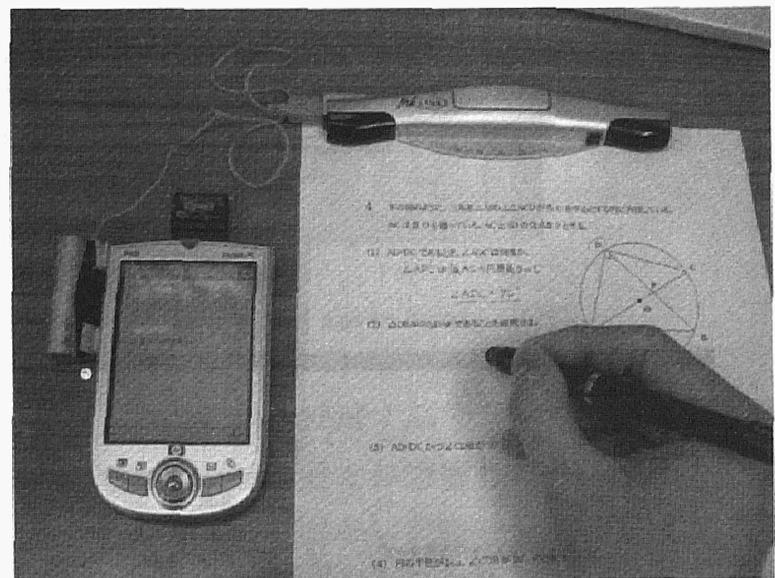


図 2 生徒用システム (ATN Transmitter)

Fig. 2 ATN Transmitter.

図 4 のように、生徒の筆記を任意の倍率で拡大表示したり、図 5 に示すように赤ペンによりアノテーションを付けることができる。アノテーションは該当する生徒の PDA に送信され、PDA の画面に表示される。また図 6 に示すように、生徒の筆記を自動解析し、その結果をグラフや表によって閲覧・表示することもできる。自動解析機能の詳細については 3.2 節で述べる。

2.2 授業における利用例

AirTransNote が提供する生徒の筆記を電子化し、リアルタイムに教師の計算機に送信・表示する機能を利用することにより、授業における以下のような場面に利用することが可能となる。

全体表示による進捗状況確認と進度調整

図 3 のように、生徒全員の筆記を表示した画面 (全体表示画面) を教師が見ることにより、生徒の全体的な作業状況を把握することができる。たとえば教師は板書を行いながら、計算機上で全体表示画面を見ることにより生徒が板書をノートに写した量を把握できるため、板書や説明の速度を早めたり、板書を消すタイ

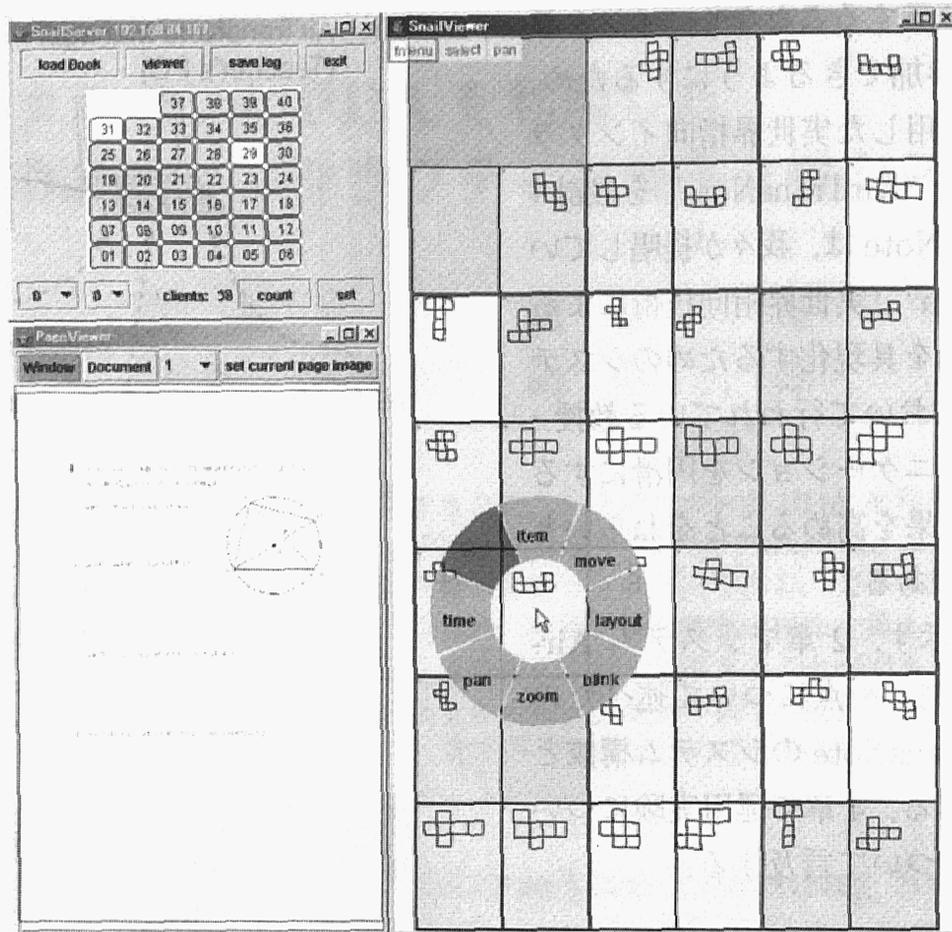


図3 教師用システムの閲覧インターフェース

Fig. 3 Note-browsing interface of ATN Manager.

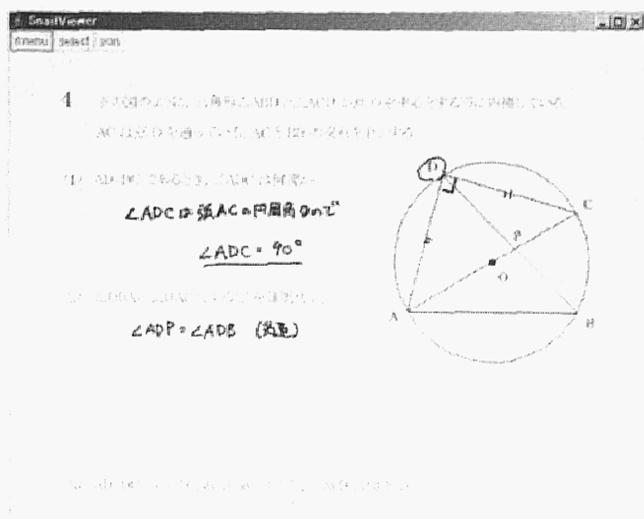


図4 プリント教材と生徒の解答の重畳表示

Fig. 4 Detailed view of notes overlapped with a printed-paper image.

ミングを図ったりすることができる。また、プロジェクタに表示した場合、教室内を歩きながら生徒の作業状況を確認する作業（机間指導）を行っている間にも、全体表示画面を見て進捗状況を確認することができる。この場合、生徒にとっても、他の生徒の進み具合を知ることにより刺激を受ける可能性がある。

詳細表示による解答の確認

従来は生徒の解答を確認する場合、机間指導を行うしか方法がなかった。図4に示すような特定の生徒の筆記を拡大することにより、教師は机間指導を行うことなく生徒の解答状況を詳細に観察できるようになる。また、必要に応じて、個別の生徒にアドバイスを送信し、PDAの画面に表示させることも可能である。

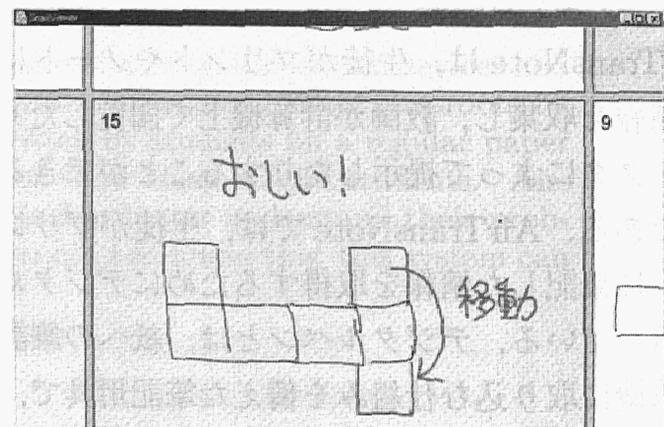


図5 教師による書き込み

Fig. 5 A comment by red-colored ink written by teacher.

また、拡大表示は生徒に板書させる代わりに、生徒の解答を提示する場合にも有効に利用できる。生徒に問題を割り当て、その回答を板書させながら進める形態の授業は一般に行われており効果が高いとされているが、生徒による板書は時間がかかるため、授業時間をあまり有効に活用することができない。AirTransNoteを用いると、生徒の解答を切り替えながら即座に提示できるため、生徒による板書の時間が不要となり、従来よりも多くの生徒の解答を提示させたり、見比べたりすることが可能となる。さらに、筆記を書かれた時刻に沿って順々に表示していくことにより、筆記や解答の経緯を再現することができる。このような再現表示は、書画カメラによる投影では実現できない表現である。

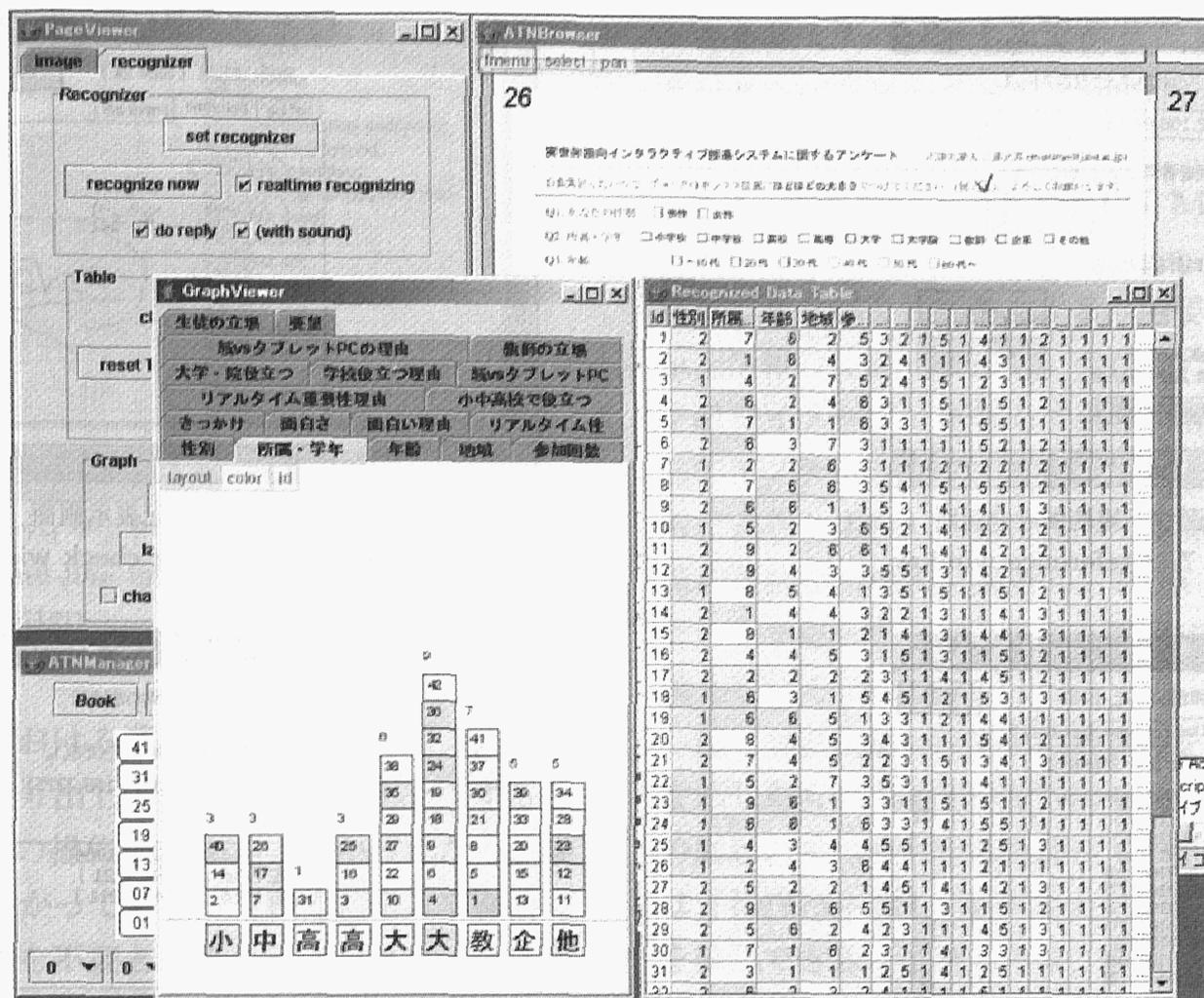


図 6 チェックボックスの認識と集計・グラフ表示機能

Fig. 6 Summary of questionnaire results presented in graph and table forms.

解析機能の利用

筆記情報を解析する機能を利用することにより、理解力を確認する小テストの採点やアンケートの自動集計が行える。これにより、生徒がテストの結果を PDA の画面を通じて即座に受け取るといった利用が可能となり、インタラクティブ性の高い授業が展開できる。また、問題が解けた生徒には発展問題を提示し、解けなかった生徒には基礎問題を与えるといった個別進捗に対応した授業にも応用できる。

筆記の蓄積と詳細な分析

時刻情報を含む筆記情報による解答を詳細に解析することにより、従来よりもきめ細かな指導が行えるようになる。特に試験などにおいて「解答結果」だけでなく「解答に至る経緯」を把握でき、これまで見逃されていた生徒の行動観察を行い指導する効果が期待できる。

2.3 利 点

2.3.1 デジタルペンをを用いる利点

紙に書いた情報を直接取得する「紙とデジタルペン方式」の一番の利点として、従来の授業・学習形態に対する変更が最小限で済むことがあげられる。生徒は普段の授業においてノートやプリントなどの「紙への筆記行為」を中心とした学習活動を行っている。デジタルペンをを用いて筆記情報を取得する手法は、基本的に従来の筆記中心の学習形態を踏襲しているため、生

徒が感じる違和感を軽減することができる。また教師にとっても、教材を新たに準備したり、教え方を大きく変えたりする必要はない。従来使用してきたプリント教材はそのまま利用できる。また万一システムや運用におけるトラブルにより電子的な筆記情報が失われたとしても、筆記自体は紙に残るという安心感がある。

生徒の手書き筆記を扱う従来の方法としては PDA が備えるタッチパッド機能を利用した方法³⁾や、タブレットを利用した方法⁶⁾などがあるが、いずれもノートを電子的な情報としてのみ記録している。電子ノート方式の場合、紙とデジタルペン方式では難しい筆記情報の修正ができるという利点はあるが、PDA の画面やタッチパッドの解像度が低い、描画可能な領域が狭い、筆記感覚が紙とは異なるため違和感があるなどの問題がある。また、電子ノート方式の場合、生徒は学習の記録を閲覧するために電子機器を操作する必要がある。AirTransNote では、生徒自身が筆記した内容は紙媒体として残るため、復習の際に電子機器を操作する必要はない。

2.3.2 PDA を用いる利点

PDA を用いる利点として、PC や Tablet PC よりも小型かつ軽量であり、設置や撤去などの負荷が軽減できる点があげられる。これまで生徒個人が計算機を扱う必要がある場合には、主にコンピューター室が利用されてきた。コンピューター室は専用の教室で

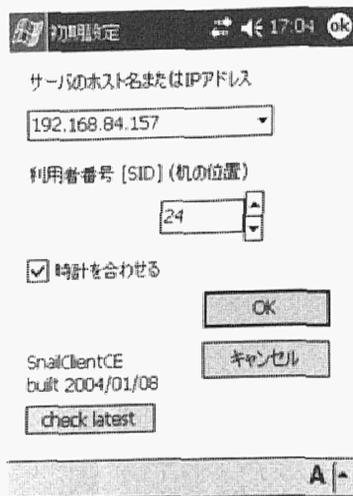


図 7 接続先設定画面
Fig. 7 Preference window.



図 8 動作確認画面
Fig. 8 Connectivity check window.

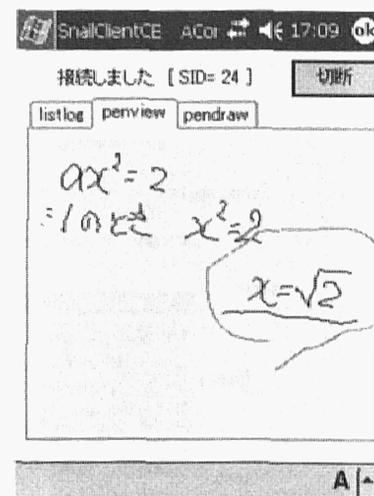


図 9 筆記表示画面
Fig. 9 Drawing check window.

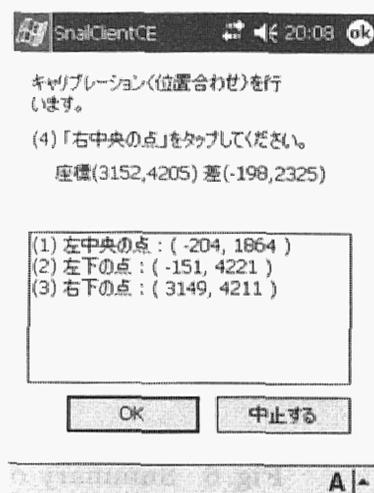


図 10 位置調整画面
Fig. 10 Calibration window.

あるため設置や撤去は不要である反面、机の上にディスプレイやキーボード、マウスが置かれているため、教科書とノートを広げるスペースが限られてしまう場合が多い。またディスプレイが生徒の顔の前にあり視界を妨げるため生徒を授業に集中させることが難しい¹¹⁾。さらにコンピューターームの数は限られているためすべてのクラスが通常の授業に使うことは現実的ではない。

上記の理由から、通常の授業を支援するうえでは一般教室における運用が望ましい。しかし一般教室は多目的に利用するため多数の計算機類を永続的に設置しておくことは困難である¹²⁾。よって授業時間前にシステムを設置し、授業後に撤去する作業が必要不可欠となる。AirTransNoteでは、無線 LAN 機能を搭載した PDA を用いているため、Tablet PC に比べて設置の手間と時間を軽減することができる。ちなみに教師用計算機とプロジェクタ、無線 LAN 基地局がすでに教室に配置されており、PDA とデジタルペンはあらかじめ生徒に配布してある状態を仮定した場合、設置および撤去にかかる時間や負荷はほとんど増加しないと考えている。

また、システム導入のコストも Tablet PC を用いて構成した場合に比べると安価で済む。現時点では無線

LAN 機能を搭載した PDA (PocketPC) が 4~5 万円程度であり、デジタルペンが 1~1.5 万円程度であるため、Tablet PC の約 1/3 のコストで実現できる。

3. AirTransNote のシステム構成

システム AirTransNote は、筆記情報を取得・送信するための「生徒用システム (ATN Transmitter)」と、筆記情報を受信・表示・保存するための「教師用システム (ATN Manager)」から構成されている。

3.1 生徒用システム (ATN Transmitter)

生徒用システム (ATN Transmitter) は、デジタルペンと無線 LAN 機能を備えた PDA から構成されており、デジタルペンからの筆記情報を教師用システム (サーバ) に送信するクライアントとして機能する。無線 LAN 機能を備えた PDA はデジタルペンからの情報を無線送信するためと、画面や効果音によって生徒に情報提示するために利用している。

生徒用システムは接続先設定画面 (図 7)、動作確認画面 (図 8)、筆記表示画面 (図 9) と、紙の位置を調整する機能 (図 10) を備えている。初期の生徒用システムにおいては、図 7 の画面においてスタイラスを使用して画面をタップしながら教師用システムのホスト名や生徒番号を設定し接続を行う設計となってい

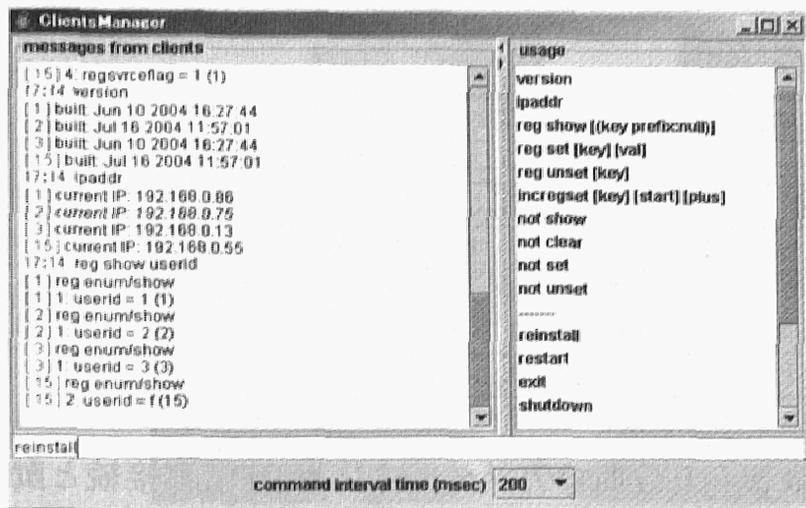


図 11 クライアント管理用システムの画面

Fig. 11 Command-line interface for managing ATN Transmitters.

た。しかし高校における運用実験を行った結果、生徒はスタイラスの取り出し方法や、画面をタップするといった PDA 特有の操作に慣れていなかったため、接続操作に時間がかかってしまっていた。そこで画面に対するタップ操作を不要とするようインタフェースを修正した。修正後のシステムでは、生徒は授業開始時に PDA 下部にある「システム起動ボタン」を押すだけでよい。システム起動ボタンが押されると、システムがネットワークに接続可能かどうか (DHCP 機能により IP アドレスを取得できたかどうか) を自動的に判断し、接続可能であれば、得られた IP アドレスに対してあらかじめ登録してある教師用システム (サーバ) の IP アドレスを利用して接続を試みる。接続が成功すると、システムは PDA の時計を教師用計算機と同期する。その後、生徒が筆記を行われるとただちに教師用計算機に送信するとともに、バックアップとして PDA 本体に保存する。ちなみに起動後、システム起動ボタンを繰り返し押すことにより動作確認画面 (図 8) と筆記表示画面 (図 9) を切り替えることができる。

初期導入時に、生徒人数分 (約 40 台) もの生徒用システムについて生徒番号を図 7 の設定画面から 1 台ずつ設定するのは煩雑である。そのため、管理用システム (図 11) から生徒用システムをまとめて設定できるようにした。管理用システムは複数の生徒用システムの管理用ポートに接続し、コマンドライン操作によりレジストリの書き替えによる生徒番号の割振りや教師用計算機のアドレス設定、生徒用システムのバージョン確認やシステム更新、効果音ファイルのインストールなどを一括して行える。これにより、初期導入時の設定の手間を大幅に軽減することができる。

生徒用システムの実装には、Microsoft eMbedded Visual C++ 4.0 を使用した。システムは IrDA ポー

トを搭載した PocketPC 2003 上で動作する。また、デジタルペンとして Seiko Instruments USA Inc. の InkLink[☆]を使用した。

3.2 教師用システム (ATN Manager)

教師用システム ATN Manager は、教師側の計算機にてサーバとして動作する。主要な機能として、(1) 筆記情報の受信・保存、(2) 受信した筆記情報をプリント教材イメージに重畳して表示、(3) 生徒の筆記に対してアノテーションを行うと、該当する生徒用システムに送信し PDA 画面に表示する赤ペン機能、(4) 生徒の筆記を自動的に解析し、PDA 側に効果音やメッセージを提示することにより個別に応答する機能、を備えている。

図 3 は、生徒に立方体の展開図を書かせている状況を示したものである。ATN Manager は、筆記を生徒の席順に並べられた「生徒パネル」に表示する。教師は「操作パネル」(図 3 左上) から、生徒の接続状況を確認できる。生徒パネル、もしくは操作パネル内の生徒番号をタップすることにより、該当する生徒パネルを拡大し、プリント教材イメージの上に筆記を重畳表示することができる (図 4)。ページイメージの重畳機能により、生徒の筆記のみ表示する場合に比べてより筆記内容を理解しやすくなるため、提示や書き込みを行う際に有効に利用できる。生徒パネル上でドラッグ操作を行うと、赤ペンによる書き込みを行うことができる (図 5)。「生徒パネルの拡大表示」「赤ペンによる書き込み」「FlowMenu 呼び出し」機能は、それぞれ生徒パネルへのタップ/ドラッグ/長押しに割り当てられているため、教師は明示的にモードを切り替える必要がない。

筆記閲覧インタフェースには、ズームングツールキット Piccolo¹³⁾ の Java 版を利用し、なめらかなアニメーションによりズーム・パン表示されるよう設計した。また一般のホイール付きマウスを使った場合のズーム操作の設計にも工夫を行った。ホイールの回転によりズームを行う機能を付加する際、注目する部位を簡単に指定して拡大できるようにするため、ホイール回転時にマウスポインタが置かれている位置を拡大中心位置と見なし、ウィンドウ中央に表示するようにした。このときマウスポインタの位置もウィンドウ中央に移動させる。この機能により、マウスの移動とホイール回転操作のみにより拡大率と拡大位置の微調整を直感的に指定できる。

☆ <http://www.siibusinessproducts.com/products/link-ir-p.html>

表 1 アンケート内容
Table 1 Questionnaire items.

Q1.	このシステム（デジタルペンで筆記を送信するシステム）は	面白い <5,4,3,2,1>つまらない
Q2.	システムを使っているとき、筆記が送信されることを	意識する <5,4,3,2,1>意識しない
Q3.	このシステムを使っているとき、使わないときと比べて	緊張する <5,4,3,2,1>緊張しない
Q4.	機会があれば、このシステムを授業やテストのときに	また使いたい <5,4,3,2,1>使いたくない
Q5.	筆記をビデオのように再生しながら見ることにより、自分がどこでつまづいたとか、分からなくなったとかを自分や先生が知ることができる	思う <5,4,3,2,1>思わない
Q6.	このシステムを授業で使うと、授業の効率・能率があがると	思う <5,4,3,2,1>思わない

教師側システムは、タッチパネル付きプラズマディスプレイ[☆]におけるペン操作を考慮し、Guimbretièreらによる円形メニューである FlowMenu¹⁴⁾を適用した。FlowMenuは、ペンによるストローク操作により効果的に機能を選択できるメニュー方式である。FlowMenuからは、ズームやパン操作などの表示調整、生徒パネルの移動とレイアウト変更（教師視点配置と生徒視点配置の切替え）などが行える。今回の FlowMenuの実装にあたっては、Popie¹⁵⁾の実装を一部利用している。

ATN Managerは上で述べたように、教師が生徒の筆記を閲覧しやすくするための様々な工夫が実装されている。しかし、実際の授業時間は限られているため、教師が生徒の筆記をそれぞれ確認し、コメントを返すことは困難である。そこで我々は生徒の筆記を自動的に解析し、結果を表やグラフによって視覚化する機能を追加した（図6）。また、あらかじめ解析結果に対応した反応を準備しておくことにより、生徒用システム（PDA）の画面に文章や図形を表示したり、効果音を再生したりすることができる。この機能により、生徒に筆記内容に応じたフィードバックを返すことができるため、インタラクティブ性の高い授業が可能となる。現在の認識機能はチェックボックスや領域を認識する程度の簡易な実装であるが、将来的には図形に対する補助線や手書きグラフ、数字や文字を認識するなど、筆記を詳細に認識し解析する機能を実現することにより、教師が学習指導を要する生徒への対応に注力できるようにしたいと考えている。

4. 実 験

本システムの効果と運用可能性を調査するため、実験授業を行った。高校1年生の数学の授業（男子16名、女子24名、授業時間45分）を対象とした。試験前の授業であったため、生徒にプリントを配布し問題を解かせた後、解説を行うという内容であった。授業

の最初の5分間でデジタルペンとPDA、接続と動作概要を図解したマニュアル（A4用紙1枚）の配布とシステムの解説を行った。授業時間の最後の5分間で選択項目および自由回答アンケート（表1）を行った。

実験授業に使用した機材は以下のとおりである。教師用PCとして、3.2GHzのノートPC（Fujitsu FMV-BIBLO NH90GN）を利用した。生徒用PDAとしてPocketPC2003が動作する無線LAN（IEEE802.11b）対応PDA（Fujitsu PocketLOOX; FLX3AW）を使用した。サーバと無線LAN基地局（Cisco Aironet 1100; AIR-AP1121G-J-K9 1台）はプライベートネットワークに有線LAN（100 base-TX）で接続している。

結果と考察

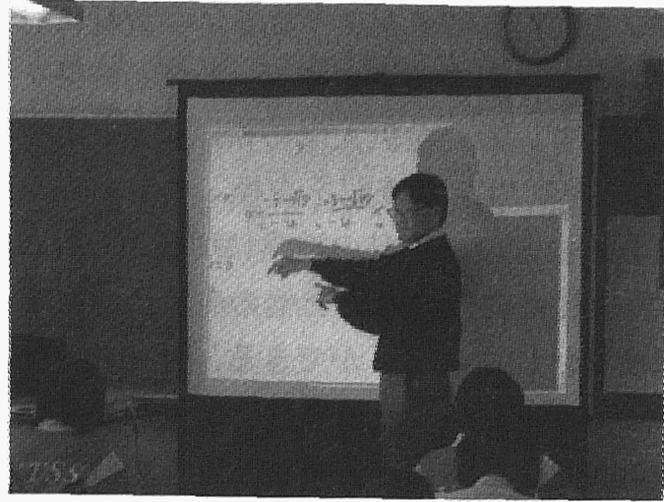
40台のTransmitterからの情報を滞りなく処理するのに必要な通信の帯域が無線LANで確保できるかどうかは多少心配であったが、実験時間中には、特に目立ったトラブルは発生せず、安定して動作した。Transmitterから送信するデータは座標列を構成するストロークデータと時間情報のみであり、比較的データ量が少なかったことが寄与していると考えられる。図12(a)および(b)に授業の様子を示す。教師は個々の生徒の解答を表示しながら説明を行っている。我々は教師がATN Managerの画面を通して生徒の筆記した解答を確認することを期待していたが、実際にはほとんど教師はPC画面を使用せず、直接机間指導しながら生徒の様子を確認し、提示したい筆記があるとPC画面で操作して提示するといった使用を行っていた。これは教師が従来の方法に慣れているせいもあるが、筆記閲覧インタフェースの一覧性や利便性が机間指導による実世界の方式に劣っているということの意味している。今後ATN Managerの筆記閲覧インタフェースの利便性を向上させていくとともに、教師が机間指導中に、提示したい生徒の筆記を簡単に選択できるようにする工夫が必要であると感じた。

アンケートの結果（図13参照）と自由筆記によると、95%の生徒はこのシステムを使った授業について面白いと感じており、授業ならびにシステムの使用を好意的に受けとめていることが分かった。数人の生徒

☆ <http://www.smartboard.co.jp/>や
<http://www.ricoh.co.jp/MEDIASITE/>など。



(a)



(b)

図 12 実験授業の様子
Fig. 12 Feasibility study.

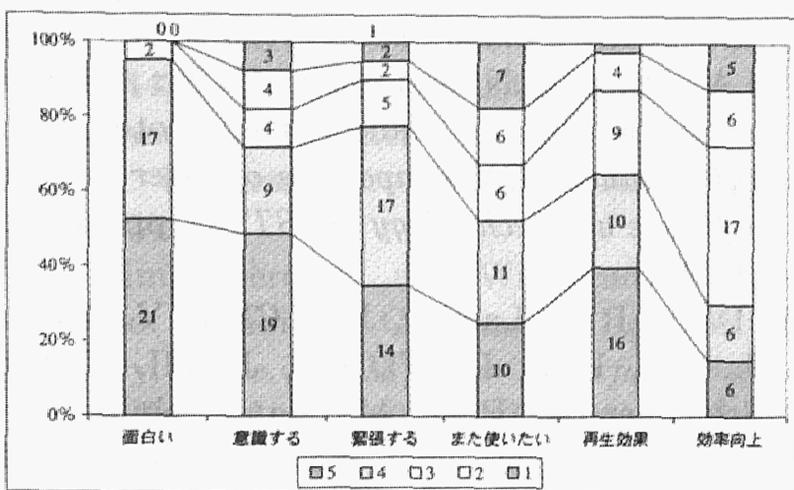


図 13 アンケート結果
Fig. 13 Questionnaire result.

はデジタルペンによる筆記の送信機能に驚きを感じ、興味を持っていた。しかしながら、半分以上の生徒は筆記が共有されることについて少し緊張する、不安を感じると述べている。この不安感や緊張は、特に解答に自信が持てない場合に顕著に現れる。この不安感を醸成するのは筆記がリアルタイムに送信・共有されてしまうという機能に加えて、デジタルペンが使用する筆記用具がボールペンであるため消したり書き直したりすることができない点が影響を与えていると考えられる。また、授業で使った数学のプリントにおける回答欄の領域が狭かったことも影響していると考えられる。

今回の実験は短時間だったため問題にはならなかったが、授業で連続的に使用する場合には PDA の電源切れに注意する必要がある。現状では 1 回の充電で 2~3 時間しか動作しないため、筆記送信時以外は省電力駆動するなどの工夫が必要である。また、休憩時間に簡単に充電し、管理・運用の手間を軽減するため EduCart¹⁶⁾ のような装置を導入することが重要になると考えられる。

システム自体に関しては、この実験授業で初めてシ

ステムに触れ使用する生徒がほとんどであったが、操作を極力簡潔にしたおかげで、短時間で接続を完了し、特に問題なく使用を開始することができた。このことから、我々が提案する実世界指向インタラクティブ授業支援システムは一般教室で行われている授業に対し十分適用可能であるといえる。

5. 関連研究

手書き筆記交換を目的とした従来研究の多くは紙を中心としたインターフェースではなく、電子的なハードウェアデバイス（タッチスクリーンやタブレット）を利用した方法を採用している。NotePals^{2),3)} は PDA 利用ベースの筆記交換・共有システムである。利用者は筆記を PDA のタッチスクリーンで行い、グループ間で共有する。共有した筆記は他の人が再利用することもできる。NotePal を CrossPad^{*}から利用するシステムも提案されている⁴⁾ が、これらのシステムでは筆記を更新するために同期を行う必要がある。SEGODON-PDA^{7),17)} もまた PDA を用いたノート交換機能を持つシステムである。SEGODON-PDA は PDA の備えるタッチスクリーンからの手書き入力だけでなく、携帯型キーボードからの利用も可能である。生徒は教材を無線 LAN 経由でダウンロードしたり、テキストエディタの画面やポインタを共有・提示したりすることが可能である。また、SEGODON-PDA は予習・復習を含めたすべての教育的活動を視野に入れた設計を行っている。しかし、使用するには AirTransNote と比べて、ある程度高度な PDA の操作スキルが必要となる。富士通研究所の田村らは、Tablet PC をベースとした教育システムを開発し、小学生を対象とした実証実験を行っている¹⁸⁾。日本語ならびに数字を認

* <http://www.research.ibm.com/electricInk/>

識するエンジンを利用してインタラクティブ教材に対する児童の解答をリアルタイムに解析・評価し結果をフィードバックしている。金沢大学の松原はタブレットや Tablet PC を利用して筆記を交換・共有するシステムを構築し、中学校の理科の授業にて運用を行っている^{19),20)}。生徒は自分の考えと他の生徒の考えを閲覧し、類似度を付加することができる。付加された類似度を基に Kohonen の自己組織化特徴地図を生成するため、教師が確認・分類する負荷を軽減する効果が期待できる。

本研究と同じく紙に着目した教育システムの研究として、財団法人コンピュータ教育開発センターが実施している E スクエア・アドバンスの IT 活用教育推進プロジェクト「Web コンテンツとデジタルペンを活用した英語授業」²¹⁾がある。研究の目的は本研究と類似しているが、デジタルペンとして Anoto Pen[☆]を使用し、クレードルを経由して筆記情報を送信している点がシステム上の違いとしてあげられる。クレードルを経由するため、筆記情報送信機としての PDA が不要であるという利点はあるが、本研究が実現している筆記のリアルタイム送信が行いにくく、クレードル配置の際には計算機との配線を考慮しなければならない。また、Anoto Pen を用いることによりキャリブレーションを行わなくて済む反面、ドットパターンが印刷された紙を使用しなければならないという制約がある。本システムが優位な点として、以下の4つがあげられる。(1) 筆記情報取得・更新が随時行われるため、リアルタイム性に優れている。また生徒が送信を明示的/意識的に行う必要がないため、思考を妨げない。(2) ケーブルによる配線が不要であるため、準備にかかる手間と時間が軽減できる。(3) ケーブルによる配線が不要であるため、スケーラビリティが高く、生徒数の変化に柔軟に対応できる。(4) PDA の画面やスピーカを利用し個別にフィードバックを返すことができる。

6. ま と め

授業理解を支援するための学習環境として、デジタルペンと PDA を利用した実世界指向インタラクティブ授業支援システム AirTransNote の設計と実装・運用実験を行った。無線 LAN 付き PDA を利用することによりインタラクティブ性を高めるための仕組みを一般教室において運用しやすくした。また、デジタルペンを使用することにより紙への筆記を中心とする従来の授業との親和性が高い、自然なインタフェースを

実現した。今後はインタラクティブ性をさらに活かした授業のための仕組みや、生徒ならびに教師の負担を軽減するためのインタフェースについて検討していく予定である。

謝辞 実験授業の場の提供に加え、有用なコメントをくださった筑波大学附属坂戸高等学校の阪本康之教諭に深く感謝いたします。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（課題番号 15020216, 17011028）の支援によるものです。

参 考 文 献

- 1) 文部省学習情報課：「ミレニアム・プロジェクト」により転機を迎えた「学校教育の情報化」—「総合的な学習」中心から「教科教育」中心へ(2000).
- 2) Davis, R.C., Lin, J., Brotherton, J.A., Landay, J.A., Price, M.N. and Schilit, B.N.: A Framework for Sharing Handwritten Notes, *Proc. 11th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST98)*, pp.119-120 (1998).
- 3) Davis, R.C., Landay, J.A., Chen, V., Huang, J., Lee, R.B., Li, F., Lin, J., III, C.B.M., Schleimer, B., Price, M.N. and Schilit, B.N.: NotePals: Lightweight Note Sharing by the Group, for the Group., *Proc. SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.338-345 (1999).
- 4) Landay, J.A.: Using Note-Taking Appliances for Student to Student Collaboration, *Proc. 29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, pp.12c4-15-20 (1999).
- 5) 坂東宏和, 杉崎知子, 澤田伸一, 中川正樹: 一斉授業支援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, No.95 (CE-57), pp.87-94 (2000).
- 6) 石田 準, 坂東宏和, 加藤直樹, 中川正樹: 手書き筆記と電子教材の交換を可能とした電子黒板・電子ノートシステム, 情報処理学会研究報告, No.119 (CE-67), pp.25-32 (2002).
- 7) 重信智宏, 野田敬寛, 吉野 孝, 宗森 純: SEGODON-PDA: 無線 LAN と PDA を用いた柔軟な授業支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.1, pp.255-266 (2004).
- 8) 緒方広明, 矢野米雄: CLUE: 語学学習を対象としたユビキタスラーニング環境の試作と実験, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.10, pp.2354-2362 (2004).
- 9) 三浦元喜, 國藤 進, 志築文太郎, 田中二郎: 双方向授業のためのデジタルペンを利用した手書き筆記交換システム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム, pp.69-72, 情報処理学会 (2004).

☆ <http://www.anotofunctionality.com/navigate.asp>

- 10) Miura, M., Kunifuji, S., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Augmented Classroom: A Paper-Centric Approach for Collaborative Learning System, *Proc. 2nd International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS2004)* (2004).
- 11) 田中二郎: IT 革命の教育現場への適用: ヒューマンインタフェース研究者の立場から, 日本数学教育学会誌, Vol.83, No.9, pp.31-38 (2001).
- 12) Bayon, V., Rodden, T., Greenhalgh, C. and Benford, S.: Going Back to School: Putting a Pervasive Environment into the Real World, *1st International Conference on Pervasive Computing*, LNCS 2414, pp.69-83 (2002).
- 13) Bederson, B.B., Grosjean, J. and Meyer, J.: Toolkit Design for Interactive Structured Graphics, Technical Report HCIL-2003-01, CS-TR-4432, UMIACS-TR-2003-03, Institute for Advanced Computer Studies, Computer Science Department, University of Maryland (2003).
- 14) Guimbretière, F. and Winograd, T.: Flow-Menu: Combining Command, Text, and Data Entry, *Proc. ACM User Interface Software and Technology 2000 (UIST 2000)*, pp.213-216 (2000).
- 15) Sato, D., Shizuki, B., Miura, M. and Tanaka, J.: Menu-Selection-Based Japanese Input Method with Consonants for Pen-based Computers, *Proc. 6th Asia-Pacific Conference on Computer-Human Interaction (APCHI2004)*, LNCS 3101, pp.399-408 (2004).
- 16) Deng, Y.C., Chang, S.B., Chang, L.J. and Chan, T.W.: EduCart: A Hardware Management System for Supporting Devices in a Classroom Learning Environment, *2nd IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE'04)*, pp.177-181 (2004).
- 17) Yoshino, T. and Munemori, J.: SEGODON: Learning Support System that can be Applied to Various Forms, *E-Education Applications: Human Factors and Innovative Approaches*, Ghaoui, C. (Ed.), pp.132-152, Information Science Publishing (2004).
- 18) 田村弘昭, 岩山尚美, 田中 宏, 秋山勝彦, 石垣一司: タブレット PC を活用した手書き電子教材の実践検証, *インタラクシオン 2004*, pp.47-52, 情報処理学会 (2004).
- 19) 松原道男: タブレットによる描画を対象とした学習交流システムの開発, *日本科学教育学会年会論文集*, Vol.27, pp.389-390 (2003).
- 20) 松原道男: タブレット PC による描画の交流のためのソフト開発, *日本科学教育学会年会論文集*,

Vol.28, pp.609-610 (2004).

- 21) 丸山香奈, 門松裕之, 小出 泰, 新井麻規子, 川村健, 武藤賢司: Web コンテンツとデジタルペンを活用した英語授業—これが近い将来の教室風景です, *教育・学習への IT 活用シンポジウム—平成 15 年度 E スクエア・アドバンス成果発表会 (2004)*. <http://www.cec.or.jp/e2a/other/04PDF/b1.pdf>

(平成 17 年 1 月 31 日受付)

(平成 17 年 4 月 1 日採録)



三浦 元喜 (正会員)

1974 年生. 1997 年筑波大学第三学群情報学類卒業. 2001 年筑波大学博士課程工学研究科修了. 博士 (工学). 同年筑波大学電子・情報工学系助手. 2004 年より北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助手. 現在に至る. グループウェア, ヒューマンインタフェース, Web 技術に興味を持つ. 日本ソフトウェア科学会, ACM, 人工知能学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本教育工学会各会員.



國藤 進 (正会員)

1974 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了. 同年 (株) 富士通国際情報社会科学研究所入所. 1982~1986 年 ICOT 出向, 1992 年より北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授, 1998 年より知識科学研究科教授, 現在は主として発想支援システム, グループウェア, 知識システムの研究に従事. 情報処理学会創立 25 周年記念論文賞, 人工知能学会 1996 年度研究奨励賞各受賞. 博士 (工学). 計測自動制御学会, 電子情報通信学会, 日本創造学会等, 各会員.