JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	高校の数学授業実践を通じたデジタルペンシステムの効果
Author(s)	杉原，太郎；三浦，元喜
Citation	情報処理学会論文誌，54(1)：192-201
Issue Date	2013-01-15
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10959
Rights	社団法人　情報処理学会，杉原 太郎，三浦 元喜，情報処理学会論文誌，54(1)，2013，192-201．　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。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ 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.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

情報処理学会論文誌 Vol.54 No.1 192–201 (Jan. 2013)

高校の数学授業実践を通じたデジタルペンシステムの効果

杉原 太郎[1,a)] 三浦 元喜[2]

受付日 2012年4月20日, 採録日 2012年10月10日

概要：本研究では，無線デジタルペンを用いて学習者の紙への筆記を教師用計算機に集約し，集団授業におけるコミュニケーションを促進するシステムを構築・実践した．これまでの実践では，システムの持つインタラクティブシステムとしての効果を分析してこなかったため，筆記認識結果を学習者に逐次フィードバックする機能と筆記拡大による解答の一斉表示機能について高校の数学授業で実践を行い，その後 15 名の生徒に対してインタビュを実施した．その結果，教室内のインタラクション範囲の拡大，生の解答の開示，自分の状況の相対化という 3 要因が，失敗に対する羞恥心，他人の状況への好奇心，競争心という 3 つの心的変化に影響し，振り返りや開示へのためらい，意欲・覚醒度の向上に寄与する構造を抽出した．結果を基に，教室内の活動におけるデジタルペンシステムの効果を概念として整理した．

キーワード：アノト式デジタルペン，一斉表示，正誤判定，事例研究，M-GTA

Effects of the Simultaneous Display of Students' Responses Using an Anoto-based Digital Pen System on Mathematics at a High School

Taro Sugihara[1,a)] Motoki Miura[2]

Received: April 20, 2012, Accepted: October 10, 2012

Abstract: This paper disscusses the effects of an Anoto-based digital pen system we developed, and conducted a case study on three mathematics lectures in a high school with participatory observation. After these practice lectures, focus group interviews were scheduled for the students in addition to a separate interview with a teacher; these interviews revealed the effects of our system. We concluded from the series of the investigations that the system was able to enhance interactive area of individual students, increase the transparency of class activities, raise students' motivation levels, and fortify the educational effects.

Keywords: Anoto-based digital pen, simultaneous display, correct/incorrect feedback, case study, modified grounded theory approach

1. はじめに

従来のモバイル/ユビキタスラーニングでは，学習者が小型情報機器が備えるタッチパネルやキーボードなどを操作しながら学習を進めていくシステムが主流である．タブレット PC やノート PC を利用した学習支援システムとして，手書き筆記を利用した小学生向け学習教材 [1]，大学の講義を対象とした StuPad [2] や Livenotes [3]，Classroom Feedback System [4]，Classroom Presenter [5] などが開発されている．PDA を利用したシステムとして NotePals [6] や ActiveClass [7]，SEGODON-PDA [8] などがある．また PDA におけるテキスト入力の負荷を軽減するため，個人が入力したノートのテキストを共有する方式 [9] も提案さ

1 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, Nomi, Ishikawa 923–1292, Japan
2 九州工業大学大学院工学研究院
Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Fukuoka 804–8550, Japan
a) sugihara@jaist.ac.jp

© 2013 Information Processing Society of Japan

れている．

しかしタブレットやタッチパネルへの手書き入力は，紙への筆記と比べて直感性が低く，入力がしにくいという問題もある．Oviatt らは，数学の問題解答時のタブレット入力やタッチパネルによるコマンド選択行為は紙への筆記行為と比べ，高次の思考を妨げたり，解答に時間がかかったりすると報告している [10]．

学習者の負荷をできるだけ軽減しながらも，学習活動をなるべく詳細に取得し授業に活用することを考え，学習者が紙に書いた内容を共有可能とする教室内のコミュニケーション支援システム AirTransNote [11] やアノト方式を利用したデジタルペンシステム [12], [13] を開発してきた．この一連の研究では，一般教室における従来の紙に書いて学ぶ活動を可能な限りそのまま電子化するとともに，多様な考えに触れる機会を増加させることにより，教室内でのコミュニケーションを活性化し，集団学習の効果を高めることを目的としてきた．学習者は紙に書く行為そのままでシステムを利用できるため，Oviatt が指摘した思考の妨げを低減させることができるという利点がある．

しかし，これらのシステムが授業，特に学習者にどのような効果をもたらすのか，特に，新たな学習方法提案の可能性について言及してこなかった．計算機の使用法を習熟する目的以外で情報機器が教室内で活用されるには，単なる省力化や効率化を推し進めるためではなく，学習者を中心に据えた教育のためのシステムが必須であるとの主張 [14] があり，このような環境を実現するためのシステムの効果を整理する研究は重要といえる．

そこで本研究では，アノト式デジタルペンを用い，「筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能」および「筆記拡大による解答の一斉表示機能」（以降，一斉表示機能）を実装したシステムの授業実践を通して，デジタルペンシステムの効果を検討した．デジタルペンの効用については明らかになっていないため，研究の第 1 段階と位置づけ仮説生成型研究のためにグループインタビュを実施した．

2. 一斉型（従来型）授業の問題点および一斉型授業に関連する情報システム

2.1 問題点

従来の一斉授業では，学習者に解答を黒板に書かせ，それを教師が解説するといった活動が一般的に行われている．この活動を支援するための研究も行われており，一斉授業を改善する有用なシステムが開発されている [15], [16], [17]．算数科の一斉授業において，ICT を活用した授業では，活用しなかった授業に比べて教員による指示・説明や児童に対する学習支援，児童による活動の時間が短縮されていたことも明らかとなっている [18]．

授業内で「生徒の解答を公開し取り上げる」活動の目的は，正解を示して答え合わせをするだけではなく，思考過程における迂回や誤答例を示すことにより，誤答した学習者および同じ誤答をした他の学習者が，同様の間違いを繰り返さないようにすることにある [19]．さらに，理解レベルがあやふやである学習者にとっても，理解不十分な点に気づくことができる契機となる．

一斉授業には生徒と教師，生徒同士で意見を出し合い議論することで，他人の意見を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との指摘 [17] もあるが，実際には「生」の解答が得られるケースは少ない．「生」の解答とは，

(1) 計算間違い，英単語の綴りの書き間違い，漢字の書き間違いなど誤った答え
(2) また，それらの誤りに至るまでの過程の記述

の 2 点が含まれる．現状の一斉型授業では，「生」の解答を公開し取り上げることによる授業改善の可能性を十分に生かせていないと考えられる．

さらに，多くの教師が知識伝達型授業ではなく，生徒と協同しながら対話型授業を構成することで，生徒児童の能力や意欲向上ができると認識している．対話型授業は，生徒の授業に対する意欲や関心を喚起し，対人関係コミュニケーションを深め，思考・理解を深めると期待されている [20]．丸野は，小学校教師 124 人，中学校教師 69 人を対象に「教授の効率性」「教師の利便性」「思考/理解の深まり」「対人関係コミュニケーションの深まり」「授業に対する意欲/関心」の質問項目群を 7 段階で評定させている．その結果，教師は対話を中心とした授業では，「思考/理解の深まり」「対人関係コミュニケーションの深まり」「授業に対する意欲/関心」が育つと認識していることが示された [20], [21]．むろん，あらゆる授業に対話型授業が適してはいないが，「思考/理解の深まり」や「対人関係コミュニケーションの深まり」を志向する授業においては，対話型授業が効果を発揮すると期待できる．

2.2 一斉型授業において学習者を関与させる情報システム

授業に参加する他の学習者を教育活動に組み込むシステムはいくつか開発されている．水落らはコンピュータとスキャナを利用する授業を対象に，他の学習者の学習状況を見えやすくすると児童が学び合いを繰り返しながら学習方法やコンピュータ操作方法を学習し，学習効率を向上させていることを明らかにした [22]．ダウティらは，出席，小テスト，総合成績に対する目標設定を授業前に行わせ，携帯電話を用いて個別にその目標に対する評価を教示し，結果を受けて目標を再確認させることでシステム利用の積極性を高めた．同時に，出席者は自ら置かれた立場を成績や出席状況で比較できるため，他人との競争心が芽生え，意欲が高まることも示した [23]．

本研究が対象とする無線デジタルペンによる筆記の自動収集，自動認識およびフィードバック，筆記拡大による一

© 2013 Information Processing Society of Japan

斉表示活動では，解答・活動内容全体が収集され，内容がチェックされたうえでフィードバックされる．かつフィードバックまでのリアルタイム性が高い．上記の研究については，これらの特性について検討されていなかった．

教材・授業設計において学習意欲を高めるには，興味を持たせ維持させること（Attention），行わせる学習と自らの関連を把握させること（Relevance），進捗状況を適宜還元するなどして自信を持たせること（Confidence），学習に対する正当な評価を与え満足させること（Satisfaction）が重要であるとされる [24]．また，学習意欲を継続させるには，金銭など外部の誘因に頼るのではなく，内発的動機が生まれるようにすることが望ましく，そのためには自律性が重要であることが知られている [25]．随時正誤判定を行い学習者にフィードバックするようなインタラクティブな授業支援システムは，これらの目的に適合したものであると考えられる．

他には，電子黒板に表示された情報に視線集中することが，学習者にどのような影響を与えるかについて調べた研究 [26] もあり，黒板を一緒に見ているという意識を持つことで存在感が高まる可能性を示している．しかし，この研究ではすべての学習者の解答が披露されることを想定していないため，デジタルペンシステムの特性を検討するには十分ではない．

3.　デジタルペンシステム

3.1　一斉提示（一覧表示/拡大表示）機能

学習者はデジタルペンを用いて計算・解答を行うが，その際解答用紙の “SEND” ボックスを適宜タップして解答過程，あるいは解答をシステムに送信する．システムは，

(1) デジタルペンを利用し，学習者の紙への筆記活動を時刻付き筆記情報として電子的に記録する点
(2) 無線通信を利用し複数学習者の筆記情報を逐次集約する点
(3) 情報を教師の下で一括管理し，必要に応じて解答を個別に，あるいはすべて表示させることができる点

の 3 つを特長とするレスポンスアナライザの一種である．従来のレスポンスアナライザとして，学習者がリモコン型のデバイスから数字や記号によって反応を返すことが可能な EduClick [27] があるが，これと比較すると，システムは学習者の紙への筆記内容をそのまま伝達できるため，数式や図，グラフなどを含む解答を自然に収集することが可能である．

システムは，アノト方式のデジタルペンと NTT コムウェア（株）が開発したデジタルペンゲートウェイシステム（DPGW）を用いて構成した．学習者には，**図 1** に示す特殊なドットが印刷された問題用紙とアノト方式デジタルペン（日立マクセル製 DP-201）を配布する．教師は教師用 PC と，DPGW が動作する小型 Linux サーバ（L-Box）を有線

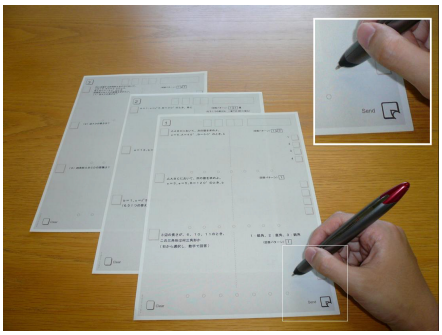


図 1　アノト方式のデジタルペンおよび問題・解答用紙
Fig. 1　An Anoto-based digital pen and worksheets.

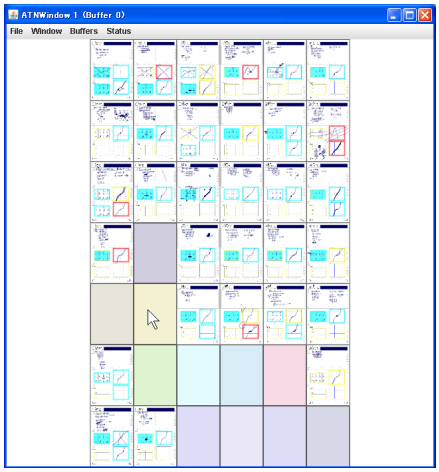


図 2　生徒への表示例（一覧表示）
Fig. 2　View of all students' progress.

LAN で接続する．学習者が問題用紙右下のチェックボックスをペンでタップすると，ペンが DPGW に Bluetooth 通信で筆記情報を無線送信する．DPGW は受信した筆記情報を教師用 PC 内のデータベース（MySQL）に格納する．教師はデータベースに格納された筆記をシステムの筆記ブラウザを用いて画面に表示したり，プロジェクタに投影したりすることができる．全生徒の解答を一覧表示したブラウザ画面の例が**図 2** である．

3.2　正解フィードバック機能

通常，集団授業では数十名の生徒が同時に学ぶため，教師が授業時間内に学習者全員の状況を詳細に把握し，アドバイスすることは困難である．そこでオンライン手書き文字認識エンジンを組み込み，学習者の筆記を数字や文字，記号に変換し，それをもとに筆記ブラウザ画面を変更することで逐次フィードバックを返すことができるようにした．具体的には関数の増減表の枠内における数値や符号を表す記号，矢印などを認識し，それらのうち正しい入力の数が半数以上であれば領域を青く塗りつぶし，半数より少なければ領域の枠のみを青色で表示し，それ以外（未入力）の場合は領域の枠を黄色で表示した．

また数学におけるグラフについても自動的に判定するた

© 2013 Information Processing Society of Japan

め，正解/不正解の目安を色で表示する仕組みを導入した．教師によりあらかじめ正解データの多項式と定義域，値域が入力されていれば，学習者がグラフ領域内に記入した筆記データに含まれる「筆記点」が正解のグラフからどの程度ずれているかを数値的に計算し，そのずれの累積値/筆記点数の多少によって領域の枠を赤/黄/青色で表示する機能を加えた．

筆記ブラウザ画面をプロジェクタで常時提示することにより，学習者は自分の解答がおおよそ正解かどうかを確認できる．また教師についても教室全体の進度や理解度の目安として上記のフィードバック情報を利用できる．なお現状では筆記認識の失敗率が 5%～10%程度であるため，上記の正解フィードバック情報はあくまで「目安」として利用してもらうよう教師および学習者には通知している．

4. 実践授業およびシステム評価方法

4.1 実践授業の概要

システムの運用可能性を調査するために，A 高校において実践授業を行った．対象となったのは，高校 2 年生の数学 II の極大・極小を扱う単元であった．授業には，31 名の生徒が参加し，全 3 回実施された．

授業は，教師がテキストに沿って説明を行った後，生徒に演習問題を解かせる形式で進行された．この演習問題でシステムが利用された．授業参加者全員に DPGW とのペアリングを済ませたデジタルペンを配布し，解答用紙の “SEND” ボックスを適宜タップして，筆記情報を送信するように教示した．解答用紙には，問題ごとにあらかじめ解答欄が印刷されており，生徒はその空欄を埋めて増減表を完成させたり，グラフを描いたりした．デジタルペンは筆記を消すことができないため，誤って記入したときは用紙下部の予備解答欄を使用するように伝えた．また正解フィードバックは筆記の誤認識により間違った判定を返す可能性があるため，参考程度にとどめるよう伝えた．

4.2 システム評価・分析方法

各授業終了後に，システムを用いて全員にシステムの印象について自由記述で意見を書かせた．自由記述には，システム利用の感想を書くように教示した．3 回目の授業終了後に，一連の授業の印象を聞き出すためにグループインタビュを行った．インタビュイーは，3 回目の講義終了直後に謝礼を支払うことを明言したうえで募集した．計 15 名の生徒が参加を希望したため，1 チーム 5 名ずつ計 3 チームに分けてインタビュした．発言しやすい雰囲気になるよう，チームは友人関係にある者同士を中心に組んだ．募集をした際に，友人でチームを組んでから連絡するように教示をした．インタビュは，システム開発者（第 2 著者）とは別の研究者（第 1 著者）が担当した．インタビュは 3 回目の授業終了後 1 週間以内に完了した．教師に対するインタビュも，実践授業終了直後に実施した．

インタビュ実施にあたっては，参加者の権利（回答の拒否，個人情報の保護，情報開示）について口頭および文書で説明し，参加者の自由意思に基づいて同意書を得た．さらに，正解があるわけではないので自由に発言すること，発言に順序はないので好きなときに好きなように発言してよいと口述したうえでインタビュを開始した．

インタビュでは，初めに全員に感想を求めたのち，授業およびシステムの印象について自由に発言させた．この際，通常の授業と対比させるよう質問し，特徴的な発言があった場合に適宜掘り下げた．インタビュは，目的などの説明時間を含めて約 1 時間であった．また，発言が少ない参加者がいた場合，各授業終了後に収集した自由記述による意見を適宜質問に組み込んだ．あわせて，教師にも個別インタビュを実施し，システムの印象を評価させた．ここでも，システム利用時と普段の授業の印象を比較させた．

獲得した音声データは，すべて逐一書き起こし，M-GTA（Modified Grounded Theory Approach）[28], [29] のプロセスに沿ってシステム利用に関する意識・行動・印象についての似通った発言をまとめていった．ある程度まとまりができた後，そのまとまり（概念）に命名をした．その後，命名された概念ごとにその定義と当該概念を説明する具体例を分析ワークシートに書き加えていった．

5. 結果

5.1 生成されたカテゴリ

前章で説明した分析を 3 回繰り返したところ，新しい概念は生成されなくなった．この時点での概念数は 22 個であった．さらに，対極例や類似例や，通常の授業についてのコメントと比較することで，解釈が偏らないように分析を進めた．**図 3** は最終的に生成された分析ワークシートの一例である．概念には発言の内容をもとに，その総合的な説明ができる名前をつけ，定義をした．定義に沿って具体例を追記し，分析の過程で気づいたことや他概念との関連を理論メモ欄に記述した．このとき，具体例が少ないものについては，概念は有効ではないと判断し，他の概念と統合した．この過程を，新しい概念が生成されなくなるまで繰り返し，カテゴリにまとめた．また，概念からシステムの誤作動など運用に関わるものを除き，インタラクションにまつわるもののみを取り上げたところ，最終的にカテゴリ数は 10 個になった．これ以上精緻化できないカテゴリ群ができたこの段階で，理論的飽和に達したと判断した．生成したカテゴリとそのもとになった概念および定義についてまとめたものが**表 1** である．最後に，カテゴリ間の関係を関係図としてまとめた．**図 4** にこの関係図を示す．

5.2 各カテゴリの意味

本節では，表 1 および図 4 に示した生成された各カテゴ

© 2013 Information Processing Society of Japan

リについて説明する．項題がカテゴリ名であり，以下，カテゴリが生成された経緯説明，発言の具体例と並べた．下線は典型的な発言例である[*1]．

5.2.1　自分の状況の相対化

システム利用時に，生徒は自分の解答が合っているかどうかリアルタイムに確認できるとともに，他の生徒がどの程度進んでいるか，どの程度合っているかを見ることができる．したがって，通常の授業よりも自分が置かれた状況が相対化しやすい．これは，一斉表示機能とフィードバック機能の両者にまたがる回答であった．

発言例（フィードバック機能に対する回答）：

B05「前に出ている（一斉表示されている）と，色で認識されていて，『あっここは違うんだな．そういえば，ここも違うな』というのが，たぶん分かると思うんです（正答フィードバック機能による）．色の判別は，あったほうが，自分の間違いに気づけるのかな と」

B02「B05 がいったように，色で判別をできたほうが，すぐに（答えを）合わせるのにいいか」

5.2.2　インタラクション範囲の拡大

普段の授業であれば，前後左右の範囲でのみ生徒同士のコミュニケーションが発生するが，このシステムであれば全員とインタラクションできたと生徒たちはコメントした．これは，一斉表示機能とフィードバック機能の両者にまたがる回答であった．

発言例：

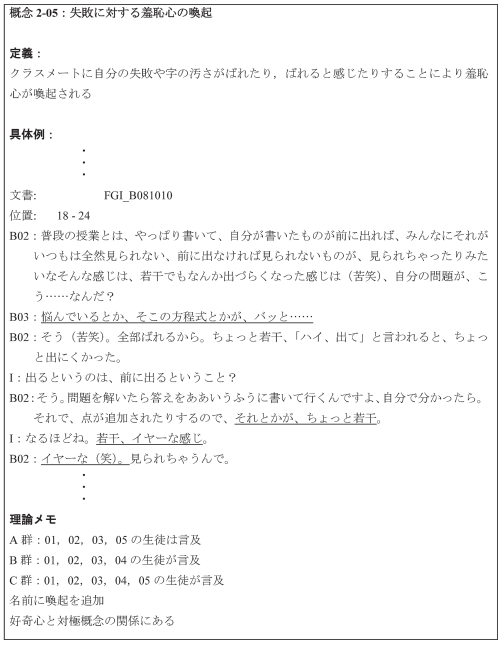
A03「（間違いを）すぐ指摘できる よね」

A05「そう．あれはいいと思う んだけど……」

A03「あれは，すごいいい．あっ，みんなはやー，おれ，気付かなかった しみたいな」

5.2.3　生の解答の開示

普段の授業であれば，正解の自信のある生徒しか演習の解答者に立候補しないが，このシステムであれば全員候補になると指摘されていた．これは，主に一斉表示機能に対する回答であった．



概念 2-05：失敗に対する羞恥心の喚起

定義：
クラスメートに自分の失敗や字の汚さがばれたり，ばれると感じたりすることにより羞恥心が喚起される

具体例：
：
：
：
文書:　FGI_B081010
位置:　18 - 24
B02：普段の授業とは、やっぱり書いて、自分が書いたものが前に出れば、みんなにそれがいつもは全然見られない、前に出なければ見られないものが、見られちゃったりみたいなそんな感じは、若干でもなんか出づらくなった感じは（苦笑）、自分の問題が、こう……なんだ？
B03：悩んでいるとか、そこの方程式とかが、バッと……
B02：そう（苦笑）。全部ばれるから。ちょっと若干、「ハイ、出て」と言われると、ちょっと出にくかった。
I：出るというのは、前に出るということ？
B02：そう。問題を解いたら答えをああいうふうに書いて行くんですよ、自分で分かったら。それで、点が追加されたりするので、それとかが、ちょっと若干。
I：なるほどね。若干、イヤーな感じ。
B02：イヤーな（笑）。見られちゃうんで。
：
：
：
理論メモ
A 群：01，02，03，05 の生徒は言及
B 群：01，02，03，04 の生徒が言及
C 群：01，02，03，04，05 の生徒が言及
名前に喚起を追加
好奇心と対極概念の関係にある

図 3　分析ワークシートの一例

Fig. 3　An example of a worksheet of M-GTA.

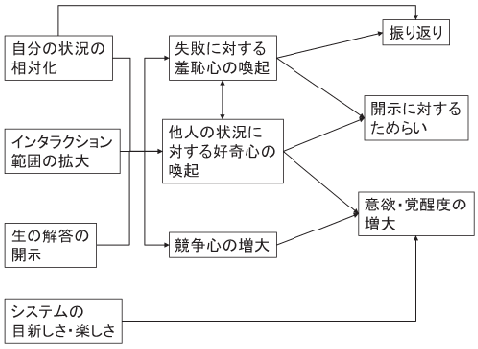


図 4　生成されたカテゴリの関係

Fig. 4　Relationship among generated categories.

表 1　生成されたカテゴリと元になった概念およびその定義

Table 1　Relationship among generated categories, concepts and those definitions.

カテゴリ	元となった概念	概念の定義
自分の状況の相対化	級友の状況把握	級友の演習問題の進捗状態や間違いなどの状況把握に対して気づいたこと，またはそれに伴う行動変化
	フィードバック機能の利用に伴う意識・行動変化	リアルタイムに正誤判定をするフィードバック機能についての意見，感想，評価および機能利用に伴う意識あるいは行動の変化
インタラクション範囲の拡大	インタラクションの範囲が普段の授業より拡がる	席の離れた級友への働きかけ，あるいはその可能性に対する感想，意見，行動．普段の授業と対比しながら，システム利用時の状況を説明する．
	演習過程での双方向性が増加	システム（特に正誤判定機能）を利用することによる授業の進め方の変化．自分の誤りの気づき，即時応答性に対する感想，意見．
生の解答の開示	解答の過程や間違いが皆に分かる（具体例の内容を踏まえてカテゴリ名のみ変更）	解答の過程や間違いがそのまま教室前部に提示されることに対する感想，意見，行動．普段の授業と対比しながら，システム利用時の状況を説明する．
システムの目新しさ・楽しさ	システムに対する目新しさ	システムに対する目新しさ（紙に書いた筆記がそのまま表示されること，筆記に対してすぐに正誤判定結果が得られることなど）
	楽しさ	システム利用時に楽しい印象を抱いたこと．その理由をはっきり言わないものも含む．
失敗に対する羞恥心の喚起	失敗に対する羞恥心の喚起	級友に自分の失敗や字の汚さがばれたり，ばれると感じたりすることにより羞恥心が喚起される
他人の状況に対する好奇心の喚起	他人の回答を見る（失敗に対する羞恥心の喚起にあわせて名称を変更）	級友の解答や演習の進捗状況に対してのぞき見的な好奇心を持つ．級友が失敗していないかどうかについて興味をもつ．
競争心の増大	負けたくない（他のカテゴリに合わせるために名称を変更）	級友（特に席の離れた）の進捗状況・回答状況を確認し，自分と差がないかを確認する
振り返り	振り返り	級友からの視線を意識することで，自分の行為を省みる
開示に対するためらい	開示に対するためらい	自分の答えや回答プロセスが他人に知られることに対するためらい
意欲・覚醒度の増大	意欲増進	システムを利用することにより勉強意欲が増進する
	眠くならない	システムを利用することにより授業で眠くならなくなる

*1　括弧内は前後の発言を著者が説明のために補足したものである．

© 2013 Information Processing Society of Japan

発言例：

A02「(普段の授業の演習で解答する人は) まず間違えていない しね」

A01「間違えてないし」

A02「(黒板のところに解答に) 行く時点 で」

A03「そうそう．だから 周りに聞ける(確認する)ものね．『あっこれ合ってる？合ってる？』」

A02「これ 合ってると（誰かが）いったら，そうしたら，大体，式だけ黒板に書いてくる」

5.2.4 システムの目新しさ・楽しさ

生徒たちは，本システムを新しい文房具のようにとらえていた．また，彼ら・彼女らが普段接する情報機器よりも高度な技術であると認識しており，その利用を楽しんでいた．

発言例：

A03「最初超うれしい よね，あれ（笑)」

A01「ハイテクだと思って」

A03「すごいと思った（笑)」

A03「ハイテクで，なんかふつうのペンと違う というのと，送れるし，なんかスゲエみたいな．これ紙ジャン．紙のくせに，なんか送れるという，なんかそれのうれしさがあって（後略)」

5.2.5 失敗に対する羞恥心の喚起

これはほとんどの生徒がいい及んでおり，重要な要素であると考えられる．問題が解けず悩んでいることが露見することへの不安や，進捗状況の遅れから派生する焦り，字の汚さを指摘されることに対する恐れなどについて扱うカテゴリである．一斉表示により計算プロセスと解答が見られること，フィードバック機能により間違いが赤で表示されることの両者が影響したと考えられる．

発言例：

B02「普段の授業とは，自分が書いたものが前に出れば，みんなにそれがいつもは全然見られない，前に出なければ見られないものが，(システムを使うと）見られちゃったりみたいなそんな感じは，若干でもなんか出づらくなった感じは（苦笑)，自分の問題が，こう……なんだ？」

B03「悩んでいるとか，そこの方程式（を筆算している）とかが，バッと」

B02「そう（苦笑)．全部ばれるから」

5.2.6 他人の状況に対する好奇心の喚起

これも多くの生徒が指摘していたことに対するカテゴリである．生徒たちは，他の級友が間違っている場合に指摘したり，自分が行き詰った場合に級友の解法を参考にしたりしたいので，他人の解答を見ることには興味があると述べていた．このカテゴリは，羞恥心の喚起と対極にあるカテゴリである．こちらも両機能による影響である．

発言例：

C01「(他人のを見るのは）楽しい（笑)」

C02「だったらお互い様じゃん」

C05「ミスとか見つけるのが楽しい よね」

5.2.7 競争心の増大

生徒は，普段の授業では見ることができないライバルの解答やその進捗状況を確認した際に，相手に負けたくないと感じていた．これはそれを表すカテゴリである．一斉表示機能によるものである．

発言例：

B05「(普段の授業では) 友達で距離の遠い人は，ノートが見られないけど，競い合う みたいな感じで,『あいつ，もう終わっているのか．じゃ，おれもやんなきゃ』みたいに，バーッとやったりとか,『おれのは合っているけど，あっ，あいつは間違ってるんじゃねえか』という，そういう 戦いというか（笑)」

5.2.8 振り返り

他人の視線を意識することで，自分の置かれた状況を省みるとの発言もあった．一斉表示の影響について発言が多く見られた．

発言例：

A01「普段（演習）やっていると，これでいいんだろう みたいな…」

A03「適当になっちゃう」

A01「流すというような感じ なんですけど」

A03「(システムを使うと) 周りの見る目がある から，ちょっと気合いはいる」

A01「(間違いを）いわれちゃうと次は…」

A03「そう．ここ……まずいな」

A01「気持ちは出てきます」

A03「字，きれいに書かなきゃ とか」

5.2.9 意欲・覚醒度の増大

普段の授業では眠ってしまう生徒も，このシステム利用時には眠くならないと言及していた．また，勉強意欲が出てくると述べた生徒もいた．

発言例：

A01「いつも先生がしゃべってると眠くなるんです（笑）でも，それが（眠さが）なくなる というか，好奇心がそこにいって，勉強意欲が，なんか出てきた」

5.2.10 開示に対するためらい

システムがもたらすネガティブな影響の 1 つがこのカテゴリで表現されている．自らの進捗状況が開示されることに対して，ためらいがあると多くの生徒が述べていた．

発言例：

A04「なんか 細かい計算式を見られたくない んですね」

A03「それはあるね．恥ずかしい よね．だから，おれ，ノートにちょろちょろ書いてる んだ」

© 2013 Information Processing Society of Japan

5.3　ストーリーラインによる結果の確認

M-GTA の方法論 [28], [29] に基づき，ストーリーラインを用いて結果を説明する．カテゴリは≪≫で，概念は「」で示した．

フィードバック機能の利用は，生徒自身の「フィードバック機能の利用にともなう意識・行動変化」を生じさせ，同時に「級友の状況把握」も可能にしていた．その結果，この機能により≪自分の状況の相対化≫が引き起こされていた．さらに，フィードバック機能は，すぐに答え合わせができることから「演習過程での双方向性が増加」させており，その過程や結果を一斉表示することで，席の離れた生徒への働きかけが可能になるなど「インタラクションの範囲が普段の授業より広がる」と認識されていた．結果として，提案システムにより教室全体の≪インタラクション範囲の拡大≫が可能となった．書き間違いや計算ミス，筆算の様子など従来の講義では目にすることができなかった≪生の解答の開示≫もあったと生徒たちは認識していた．

これら 3 つのカテゴリは，生徒自身の≪失敗に対する羞恥心の喚起≫し，その裏返しとして級友がどのくらい自分より進んでいるのか，遅れているのか，あるいは間違いがないかといった≪他人の状況に対する好奇心の喚起≫をもたらした．また，級友が演習問題を解いているスピードに遅れまいとする≪競争心の増大≫へと作用した．

≪自分の状況の相対化≫および≪失敗に対する羞恥心の喚起≫は，字を普段より丁寧に書こうとするなど≪振り返り≫しようとする意思を表出させた．生徒たちにとって「システムに対する目新しさ」を感じさせ，授業に対しても「楽しさ」とともに臨むことができた．この≪システムの目新しさ・楽しさ≫および≪他人の状況に対する好奇心の喚起≫，≪競争心の増大≫は授業参与に対する≪意欲・覚醒度の増大≫をもたらす，ポジティブな状態を生み出した．その一方で，≪失敗に対する羞恥心の喚起≫と≪他人の状況に対する好奇心の喚起≫により，自信のない解答や筆跡など解答そのものの≪開示に対するためらい≫をも生み出す結果となった．

5.4　インタビュ結果の裏付け

インタラクション範囲の拡大は，観察でも確認された．実践授業中に，ある生徒が席の離れた別の生徒の間違いを指摘するシーンがあった．これについて，生徒たちはインタビュ内でそのような行為は，通常の授業では見られないと述べた．

生徒たちの授業参加態度が通常と大きく異なることは，教師へのインタビュからも裏付けられた．教師は，「普段はどんよりした雰囲気だが，この実践授業では意気揚揚としていた」と言及があった．また，間違いが指摘されたシーンについて，普段間違いの少ない生徒であるし，システムがなければ気付かなかったであろうとコメントされた．

さらに，生徒同士での指摘による学びがあるほうが望ましいとし，まったく間違いのない解答者が登壇するよりも間違いのパターンを共有するために生の解答が提示される本システムは良いと述べた．状況把握は通常の授業より容易であったとされ，正解フィードバック機能についても「とりあえず終わったから次の問題にいこうかな」という感じで，疑心暗鬼のまま次の問題に進むことがなくなるために良いと評価された．

以上の結果から，著者らが実践授業の前にいだいていた効果に対する期待の中で，初期の試行錯誤および生の解答を提示させることに対するものはかなえられたと結論付けられる．思考過程そのものを提示する効果については知見が得られなかったために，今後引き続き調査を行う必要がある．

6.　考察

図 4 に示したカテゴリを基に，本システムによってもたらされる効果について考察を行った．本システムの効果は以下のとおりである．

- 一斉提示機能を用いることで全員の作業が可視化され，ミスを共有することができるようになった（練習過程の開示）．拡大表示機能も同様の効果を示した．
- フィードバック機能により自分と他人の状況が詳らかにされた（インタラクションに必要な他人情報の獲得）．
- 全員の進捗状況・正誤の状態が一望できるために，空間（席間の距離）の制約を超えてインタラクションが可能となった（インタラクション範囲の拡大）．

従来の一斉授業を模式的に表したものが**図 5** である．生徒の意識は黒板に向いており，生徒間のインタラクションは限定的である．これは，黒板の付近のみが舞台であり，解答者以外の生徒たちは観客席にいる状態のアナロジととらえることができる．

また，演習の解答者は事前に周囲と相談するなど周到な準備をして，間違いのない解答を書くことが多い．その結果として，単なる正解のお披露目となり，演者は失敗しないので授業自体が単調になる．

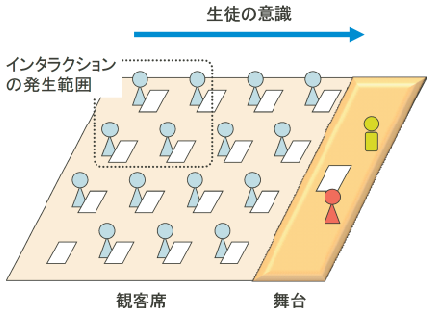


図 5　従来の一斉型授業（解答者＝演者と他の生徒＝観客）
Fig. 5　Interaction and attention in ordinary styled classroom.

© 2013 Information Processing Society of Japan

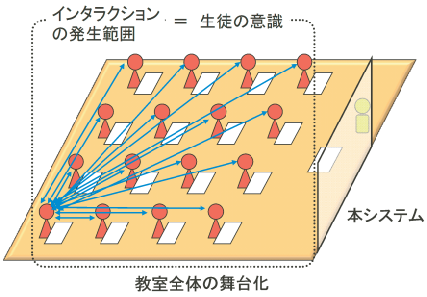


図 6　本システムを用いた授業（全員が演者）
Fig. 6　Changes in interaction and attention with the system.

一方，本システムでは，**図 6** に示したように生徒の生の解答や進捗状況が衆目にさらされる可能性は増大した．授業中に演習問題を解くといった状況下において，たとえるならば，生徒たちは普段は人前ではしない練習を舞台の上でさらけ出さなくてはならなくなったととらえることができる．

このモデルは一斉提示機能と正解フィードバック機能の効果を表したものであるが，デジタルペンを利用することに起因する特性もある．デジタルペンがもたらす最も大きな影響は，システムに対する学習コストの低さである．自然なインタラクションのためには，可能な限り使用者の負荷を低くする必要がある．Oviatt が結論づけたように，システムを利用することで高次の思考が妨害されたり，計算が遅くなったりする [10] ようでは自然なインタラクションは望めない．生徒へのインタビュからは，アノトペンが太いことへの不満や 3.2 節で述べた筆記認識の失敗（失敗率 5%～10%程度）に対する不満，またペン先がボールペンであるために 1 度書いた文字を消すことができないことに対する不満が述べられるにとどまり，システム操作の困難さについては言及がなかった．この結果は，生徒がこれまでに馴染んできた環境に近いアノト式デジタルペンを用いた効果（学習コストの低さ）と示唆される．しかし，現状ではその評価を詳細に行っていないので今後エビデンスを収集する必要がある．

多くの教師が対話型授業を構成することで，生徒児童の能力や意欲向上ができると認識していることについてはすでに述べた．そのための状況把握がしやすくなったこと，生の解答を見せることで生徒同士が教えあう環境構築の可能性を示したことは本システムの大きな効果である．5.4 節で示したように，生徒からの指摘をもとに授業が展開する可能性もひらける．教師–生徒のインタラクション向上について対話型授業の主題である [20]，生徒からのデータを即時に収集し，手元で一覧化可能とし，生徒へリアルタイムにフィードバックできれば，やはり対話型授業への可能性が高まる．しかし，今回は実用可能なレベルで実装できておらず，また調査結果も生徒から教師の気づいていなかった誤りの指摘がなされたことを除いて十分な知見が得られていない．今後の課題としたい．

本システムに対する生徒の不安は，個人が特定されることに付随する抵抗感に対するものであった．これについては，匿名化機能を強化したり，生徒に解答の中身は見せず，進捗状況だけ見えるようにしたりするなどの対策によって緩和可能であると考える．また，ごく少数（15 名中 1 名）ではあったが，このシステムで行ったように，解答が全員に開示されることを強く拒否していた生徒がいたことは，書きとめておかなくてはならない．その要因が何であるのかは現状でははっきりとしてない．このような要望を持った生徒にシステムが対処すべき機能を実装するためにも，またその理由を明らかにするためにも，今後も調査を続ける必要がある．

提案システムがどのような授業に適しているのかについても，今後検討が必要である．今回は正誤が一意に特定可能な数学を対象としたが，それがゆえに失敗に対する羞恥心を喚起してしまったとも考えられる．数学や物理ではなく，多様な解が生成されたほうが教育上望ましい科目（たとえば，国語における詩作など）のほうが，答えに至る過程を開示する点でも高い効果を発揮する可能性もある．使えるシステムにするために，提案システムの運用方法についても今後の課題となる．

7.　おわりに

本研究では，デジタルペンを用いて生徒の状況を集約して一斉提示でき，かつ筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能を有するシステムの評価を行い，システムがもたらす効果について整理した．

本研究は，単一事例しか取り扱っておらず，募集に応えた生徒も半数にとどまっている．さらに，謝金によるバイアスも考慮しなければならない．これらは本研究における限界であるため，今後，種々の調査を通して，練習過程を開示することが教育に与える影響を明らかにしていく必要がある．効果を測定するうえでは，短期的な効果だけではなく，学習意欲の継続期間といった中長期にわたる調査が重要となる．

謝辞　本研究の一部は，文部科学省科学研究費補助金（課題番号 20680036，23680078）の支援によるものである．ここに記し，謝意を表す．また，多忙な時間を割いて実践とインタビュにお付き合いいただいた，高校教員と生徒諸氏に深く感謝する．

参考文献

[1]　Iwayama, N., Akiyama, K., Tanaka, H., Tamura, H. and Ishigaki, K.: Handwriting-Based Learning Materials on a Tablet PC: A Prototype and Its Practical Studies in an Elementary School, *Proc. 9th Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition* (*IWFHR04*), pp.533–538 (2004).

© 2013 Information Processing Society of Japan

[2] Truong, K.N. and Abowd, G.D.: StuPad: Integrating Student Notes with Class Lectures, *Extended Abstracts of CHI*, pp.208–209 (1999).
[3] Kam, M., Wang, J., Iles, A., Tse, E., Chiu, J., Glaser, D., Tarshish, O. and Canny, J.: Livenotes: A System for Cooperative and Augmented Note-Taking in Lectures, *Proc. CHI 2005*, pp.531–540 (2005).
[4] Anderson, R.J., Anderson, R., Vandegrift, T., Wolfman, S. and Yasuhara, K.: Promoting Interaction in Large Classes with Computer-Mediated Feedback, *Proc. CSCL 2003* (2003).
[5] Anderson, R.J., Hoyer, C., Wolfman, S.A. and Anderson, R.: A Study of Digital Ink in Lecture Presentation, *Proc. CHI 2004*, pp.567–574 (2004).
[6] 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. CHI '99*, pp.338–345 (1999).
[7] Ratto, M., Shapiro, R.B., Truong, T.M. and Griswold, W.G.: The ActiveClass Project: Experiments in Encouraging Classroom Participation, *Proc. CSCL 2003* (2003).
[8] 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).
[9] Singh, G., Denoue, L. and Das, A.: Collaborative Note Taking, *2nd IEEE Int. Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education* (*WMTE'04*), pp.163–167 (2004).
[10] Oviatt, S., Arthur, A. and Cohen, J.: Quiet Interfaces that Help Students Think, *Proc. UIST 2006*, pp.191–200 (2006).
[11] 三浦元喜，國藤　進，志築文太郎，田中二郎：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，情報処理学会論文誌，Vol.46, No.9, pp.2300–2310 (2005).
[12] Miura, M., Kunifuji, S. and Sakamoto, Y.: Practical Environment for Realizing Augmented Classroom with Wireless Digital Pens, *Proc. 11th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems* (*KES2007*), pp.777–785 (2007).
[13] 三浦元喜，杉原太郎，國藤　進：一般教室での日常的利用を考慮したデジタルペン授業システムの改良，日本教育工学会論文誌，Vol.34, No.3, pp.279–287 (2010).
[14] Christensen, C.M., Johnson, C.W. and Horn, M.B.: *Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns*, McGraw-Hill (2008).
[15] 永岡慶三：レスポンス・アナライザを用いた授業進行支援システムの開発，日本教育工学会論文誌，Vol.10, No.3, pp.11–18 (1986).
[16] 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).
[17] 坂東宏和，杉崎知子，加藤直樹，澤田伸一，中川正樹：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，情報処理学会論文誌，Vol.43, No.3, pp.804–814 (2002).
[18] 渡邉光浩，高橋　純，堀田龍也：算数科の一斉授業における ICT 活用による指導の効率化，日本教育工学会論文誌，Vol.33, pp.149–152 (2009).
[19] 渡辺直美：子どものつまずきを生かした学習指導—授業過程におけるつまずきの発見と手立て，日本数学教育学会誌，Vol.66, No.4, pp.78–83 (1984).
[20] 丸野俊一：授業の効果を上げる，授業デザインの最前線，高垣マユミ（編），pp.123–157, 北大路書房 (2005).
[21] 丸野俊一：自己表現力と創造的・批判的思考を育むディスカッション教育に関する理論的・実践的研究，平成 11～13 年度科学研究費補助金（基盤研究 A（課題番号：11301004））研究成果報告書 (2002).
[22] 水落芳明，西川　純：他の学習者の学習状況を見えやすくすることによるコンピュータリテラシーの間接的伝播と効果：相互作用を軸とした異学年学習の実践から，日本教育工学会論文誌，Vol.27, No.9, pp.177–180 (2004).
[23] ダウティ，A.，中山　洋，山口正二：目標設定と評価教示による意欲向上を目的とした授業支援システム，日本教育工学会論文誌，Vol.25, No.1, pp.3–13 (2009).
[24] Keller, J.: Motivation in Cyber Learning Environments, *International Journal of Educational Technology*, Vol.1, No.1, pp.7–30 (1999).
[25] Deci, E. and Flaste, R.: *Why we do what we do: The dynamics of personal autonomy*, Putnam Pub. Group (1995).
[26] 佐藤弘毅，赤堀侃司：電子化黒板に共有された情報への視線集中が受講者の存在感および学習の情意面に与える影響，日本教育工学会論文誌，Vol.29, No.4, pp.501–513 (2006).
[27] Huang, C.W., Liang, J.K. and Wang, H.Y.: EduClick: A Computer-Supported Formative Evaluation System with Wireless Devices in Ordinary Classroom, *Proc. Int. Conference on Computers in Education*, pp.1462–1469 (2001).
[28] 木下康仁：グラウンデッド・セオリー・アプローチの実践–質的研究への誘い，弘文堂 (2003).
[29] 木下康仁：ライブ講義 M-GTA 実践的質的研究法修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチのすべて，弘文堂 (2007).

杉原 太郎

2000 年徳山工業高等専門学校専攻科機械制御工学専攻修了．2002 年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科博士前期課程修了．2005 年同研究科博士後期課程修了．博士（工学）．同年 4 月より北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助手．2007 年 4 月より助教．現在は主として情報機器に関するユーザ行動分析の研究に従事．ヒューマンインタフェース学会，日本感性工学会，ACM 各会員．

© 2013 Information Processing Society of Japan

三浦 元喜　（正会員）

1997 年筑波大学第三学群情報学類卒業．2001 年筑波大学大学院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（2007 年より助教）．2009 年より九州工業大学大学院工学研究院基礎科学研究系准教授．ヒューマンコンピュータインタラクション，モバイルインタフェース，教育支援等に関する研究に従事．ACM，ヒューマンインタフェース学会，電子情報通信学会，IEEE CS，人工知能学会，日本教育工学会，日本ソフトウェア科学会等各会員．

© 2013 Information Processing Society of Japan