

# 紙と電子デバイスを相補的に扱う 教育の情報化システム

三浦 元喜

國藤 進

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

〒 923-1292 石川県能美市旭台 1-1

{miuramo, kuni}@jaist.ac.jp

<http://css.jaist.ac.jp/~miuramo/>

## 概要

我々は生徒がプリントなどの紙媒体に書いた筆記情報をデジタルペンで読み取り、教師の計算機に集約したりプロジェクタに投影したりするシステム AirTransNote を開発している。紙中心のインターフェースは生徒への負担が軽減でき、またユビキタスや実世界指向という視点からは重要であるが、学習効果を高めるという観点からは、生徒に対して適時適切なフィードバックを提供することも重要である。そこで我々は従来のシステム設計を見直し、デジタルペンによる紙への筆記と電子デバイスを相補的に扱うことにより、多様なフィードバックを実現するシステムを構築した。生徒の学習に資すると考えられる作用を列挙し、(1) 生徒が送信される筆記内容を確認できる機能 (2) 教師がフィードバックを記述できる編集ツール (3) 手書き文字認識エンジンとの接続 (4) 生徒の集約情報や筆記閲覧を柔軟に提供するための教師用システムへの HTTP サーバ機能の実装を追加した。これらの改良により、システムの協調的な学習活動との親和性を高めることができた。

## 1 はじめに

情報通信技術の発達により、コンピュータを利用した学習環境が一般的になってきている。Web を利用した個別学習のみならず、コンピュータを利用した協調学習 [1] やブレンデッドラーニングが注目されており、それを支援するシステムに関する様々な研究が行われてきている [2, 3, 4, 5]。これらの研究では主に教師が作成したスライドに対する生徒によるアノテーションや、ノートへの手書き情報を交換しながら学習を深めることを狙いとしているが、生徒はタブレット PC や PDA などの電子デバイスから手書き入力を行う必要がある。

一方、我々は生徒が電子デバイスから手書き入力を行うのではなく、紙に書いた情報を教師に集約したりプロジェクタに提示したりすることにより、教室内における協調的な学習を支援するシステム AirTransNote (図 1) を構築してきた [6, 7]。一般教室で行われる一斉授業を対象としたシステムとしては、EduClick [8] をはじ

めとするリモコン型のレスポンスアナライザが利用されているが、主に選択肢から回答するという制約があるため生徒から収集できる反応の種類は限られる。AirTransNote では、生徒の筆記内容をそのまま扱えるため、自由度が高い。また、紙への筆記は生徒にとって直感的かつ自然な活動であり、生徒に与える負担が少ないと考えられる。

図 2 に示すように、AirTransNote では各生徒にデジタルペンと無線 LAN 機能付き PDA を配布し、デジタルペンで取得した筆記をリアルタイムに教師用計算機 (サーバ) に取得する機能を実現している。我々はこれまで「生徒に電子デバイスの利用をなるべく意識させない」ことに主眼を置き、ボタン 1 つでシステムが起動し自動的にサーバに接続するなど、PDA への操作を最小限にすることに注力してきた。しかし、AirTransNote による学習効果を高めるためには、生徒と教師のあいだの仲介者 (mediator) として、PDA の備える機能を積極的に利用する

ことも考慮すべきであるという発想に至った。本報告では、一般教室において「紙入力インタフェースと電子デバイスを相補的に用いる」特性によってもたらされる学習作用や効果について考察する。また、その作用を得るために AirTransNote に追加した機能について言及する。



図 1: 生徒が使用するデジタルペンと筆記送信用 PDA

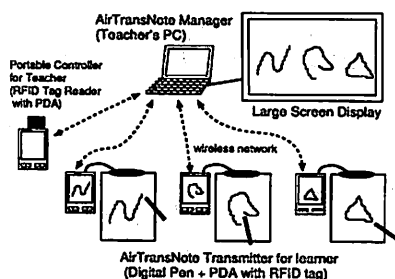


図 2: AirTransNote 全体構成図

## 2 実現可能な学習作用

PDA と紙による入力インタフェースを相補的に利用することにより、従来の AirTransNote が主として提供してきた「生徒から教師への筆記送信」に加えて、以下の 4 種類の作用・効果が期待できる。

### (1) 生徒自身のリフレクション作用

まず、紙入力と電子デバイスを相補的に利用することによって、生徒自身のリフレクションを喚起することが考えられる。丸山らは生徒用の電子デバイスを用いず、アノト方式のペン<sup>1</sup>のみを利用した英語授業を実施し、生徒が紙に筆記で記述した回答の集約や筆記体指導に応用し

ている [9]。アノト方式のペン自体は簡潔かつ小型であり使いやすい。しかし生徒は電子化された筆記の内容についてはその場で確認できないため、修正することができない。紙と電子デバイスを相補的に利用することによって、通常は書きやすい紙を利用し、確認や修正を行う場面で電子デバイスの画面を利用することが可能となる。生徒がこの「確認・修正」という段階を経ることにより、生徒自らが自分の書いた筆記を客観的に見たり、間違いに気付いたりする「リフレクション」の効果が期待できる。AirTransNote を用いた場合、紙ノートと電子化されたノートという質の違う 2 つの情報を知覚することになるため、紙または電子化されたノートのみを閲覧するのに比べ、リフレクションの効果が表れやすくなる可能性も多少考えられる。いずれにしても、筆記確認のプロセスは生徒にとって「何がどこまで送信されたのかわからない」ことによって生じる不安感を緩和するために重要であると考えられる。

### (2) システム-生徒の相互作用

PDA の持つ表示装置を活用することにより、システムが生徒の反応に応じて、生徒に個別のフィードバックを返すことができる。回答の自動採点という意味では従来の CAI と同様の機構であるが、入力として紙を用いることによる扱いやすさが長所として挙げられる。

### (3) 教師-生徒の相互作用

(2) が活性化することで、教師と生徒のあいだの相互作用も拡張できる。システムの支援(具体的には回答の集約や進捗度グラフなど)により、教師が生徒の様子ならびに状況をより詳細に理解することが可能となるため、適切な指導を、指導が必要な生徒に絞って行いやすくなると考えられる。またシステムを介して、教師が生徒の筆記に赤ペンで書き込みを行い、それを生徒用デバイスの画面に表示させることもできる。

### (4) 生徒間の相互作用

生徒用デバイスの画面を活用し、他の生徒とノートを交換して閲覧したり意見を出し合うといった行為は協調的な学習を促進するため効果が高いと考えられる。従来の学習でも席の近い

<sup>1</sup><http://www.anotofunctionality.com/navigate.asp>

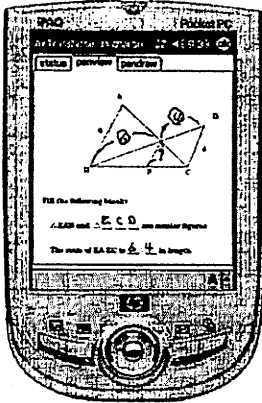


図 3: ATN Mediator: 生徒用の筆記確認画面

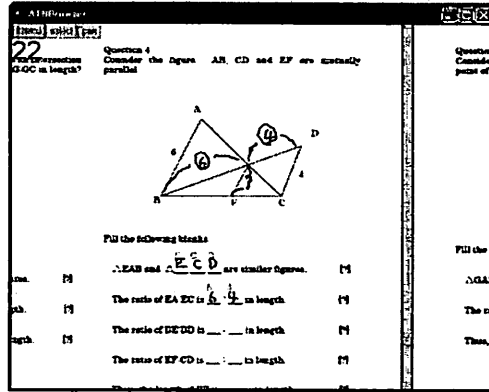


図 4: ATN Browser: 教師用・プロジェクト提示用の画面

生徒同士でノートを交換し閲覧することは可能であるが、相手のノートに直接書き込みながら議論するといったことは、現実的にはなかなか行いにくい。電子的な書き込みや生徒間評価の機能が実現されれば、生徒間の関与を深めることができるため学習効果が期待できる。

### 3 相補的な学習のためのシステムの改良

上で述べた作用とその効果を引き出すために、AirTransNote システムの改良を行った。上記4項目に対応させながら、具体的な改良点について述べる。

#### 3.1 生徒自身のリフレクション作用

従来の生徒用 PDA で動作する ATN Transmitter は筆記情報を画面に表示する確認機能を備えていたが、紙プリントのイメージを表示できず、印刷情報と筆記情報の関係を認識することが困難であった。そこで紙プリントイメージを教師用計算機からダウンロードし、筆記と重ねて表示することができるようにシステム(ATN Mediator)を改良した(図3)。紙イメージを表示することにより、生徒が筆記のコンテキストを把握しやすくなり、また送信されるデータのイメージがとらえやすくなった。また、複数枚のプリントを生徒が切り替えて利用する場面を考慮し、紙イメージと筆記情報をページ単位としてまとめて管理するよう設計した。ただし、プリントを切り替えたことを ATN Media-

tor が自動認識することはできないので、生徒がボタンによってページ切り替えを行う必要がある。PDA の画面は狭く文字を確認するためには画面スクロールが必須であるが、生徒の手間を軽減するため、筆記を行うと自動的に画面が追従する機能を設けている。

#### 3.2 システム-生徒の相互作用

システム-生徒の相互作用については、我々はこれまでにチェックボックスの認識機能を実装してきた。しかし、システムによる生徒の状況を判断するうえでは、多様な回答手段に対応することが必要不可欠と考え、手書き文字認識エンジンを利用できるよう改良を行った。現在、東京農工大中川研究室で開発された手書き文字認識エンジン [10] と接続し、あらかじめ教師がプリントに指定しておいた範囲における筆記情報を認識し、照合結果によって生徒にフィードバックできるようになっている。認識結果は図4に示すように、教師用計算機の画面にも表示される。

システムに紙に書かれた情報を認識させるためには、あらかじめ教師が生徒の反応を組み込んだワークシートを準備しておく必要がある。この作業を容易にするため、我々は教師が生徒に返すフィードバックを記述するために使用するワークシートエディタを構築した。このワークシートエディタの画面を図5に示す。教師はまず、プリントの原稿をスキャンした画像を準備し、エディタ画面にドラッグ&ドロップする

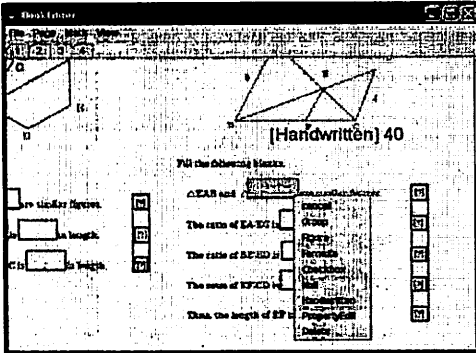


図 5: 教師が使用するワークシートエディタ

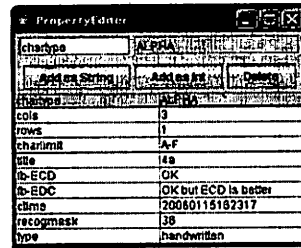


図 6: 認識モジュールのプロパティ

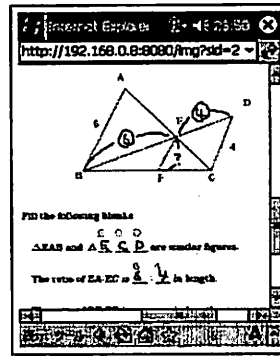
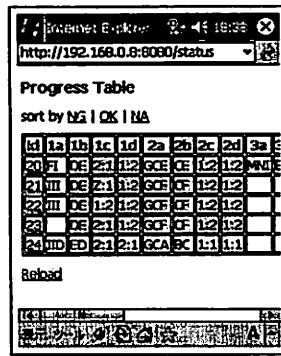


図 7: ATN Manager に組み込まれた Web サーバが生成した生徒の反応集約情報 (左) と筆記情報 (右). クライアントは教師用リモコン (PocketPC).

ことにより読み込ませ、新しいページを作成する。その後、教師は領域をマウスで選択し、その領域内に書かれた筆記を処理するためのモジュールをメニューから選択する。モジュールにはチェックボックスと文字認識が利用できる。モジュールを選択後、モジュールのプロパティ画面 (図 6) から、認識文字種や反応を記述する。

### 3.3 教師-生徒の相互作用

教師は、教師用リモコン (PDA) の画面もしくは教師用計算機から、生徒の回答を集約した情報を閲覧することができる。教師用リモコンから閲覧できることは、教室のどこからでも情報を参照するために重要な要素である。しかし、各デバイス用の閲覧・制御システムを構築するのは再利用性が低く実装の効率も悪い。そこで我々は、Web サーバを教師用システム (ATN Manager) と統合することにより、閲覧・制御す

るインタフェースを構築した。教師は、リモコン PDA もしくは教師用 PC から Web ブラウザを利用して集約情報を参照したり、設定を変更することが可能となる。教師用システムと統合し、連携動作する Web サーバとして、OOWeb HTTP Server<sup>2</sup> を利用した。図 7 に、集約した生徒の回答を表にした画面と、生徒の筆記をページ画像とともに PNG 形式で出力した画面を示す。これらの情報は教師用システムが蓄積している最新の生徒情報に基づき生成され、左の表における生徒番号をクリックすることによって、対応する生徒の筆記を右画面のように取得できる。教師はこれらの表示機能を利用しながら、生徒の回答における、空白や不正解の傾向を参照しながら、実際の生徒への指導に役立てることができる。

<sup>2</sup><http://ooweb.sourceforge.net/>

### 3.4 生徒間の相互作用

協調学習を行う場面で、生徒が互いに筆記を参照しあう機能についても、教師用リモコンと同様に PDA の Web ブラウザを用いることによって実現できる。また、教師は生徒用システムに対して指定した URL を開かせることができる。これらの機能を活用することにより、生徒相互がノートを交換しながら意見交換するといった利用が考えられる。

## 4 運用実験

AirTransNote が備える個別フィードバックに関するコメントを収集するために行ったフィジビリティテストについて述べる。20 名の大学院生に 2 種類の課題（図形の比を求める幾何の問題／論理的思考力を必要とする問題）に取り組んでもらった。問題はすべて 4-6 個の選択肢の中からチェックボックス 1 つを選ぶ選択式で、正解を選択すると直ちに生徒用 PDA の画面に「正解」と表示され、正解を表す効果音が再生される。それぞれ 15 分程度の回答時間を設けた後、リモコンにより生徒の筆記内容を提示しながら説明してもらった。運用実験授業の様子を図 8 に示す。

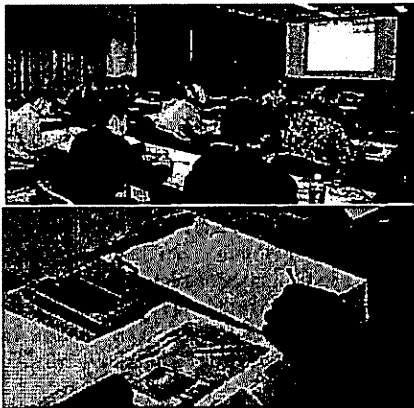


図 8: 運用実験授業の様子

### 結果

図 9 に、被験者がテスト後に回答したアンケートの結果を示す。回答選択の結果が即座にフィードバックされる機能に関する項目 (Q1) については、75% の被験者が必要性があると回答していた。筆記をスクリーンに表示するこ

とによる公開・共有機能に関しては 80% の被験者が必要性があると回答していた。また、本テストでは効果音による正解フィードバックを行なったが、55% の被験者が音によるフィードバックは必要と回答した。我々が以前行った実験（筆記共有あり、回答へのフィードバックなし）と比べて、回答へのフィードバックがあった今回の実験におけるアンケートの自由回答欄への不安感に関する記述が少なかった。不安感を増加、もしくは軽減する要因として (1) 問題の難易度、(2) 回答領域の広さ（書き直しが可能かどうか）、(3) 筆記公開前の正解フィードバックなどが考えられる。過度の不安感は学習効果に悪影響を及ぼす可能性があるため、フィードバックを随時返すことによって不安感を調整していく必要があると考えられる。しかし、今回のテストで、正解フィードバックの音量が大きかったり、頻繁に発生すると集中力が途切れることもあることがアンケート結果から示唆された。そのため、画面表示によるフィードバックと組み合わせながら、適切な情報提示を設計することが効果的な授業を行ううえで求められる。

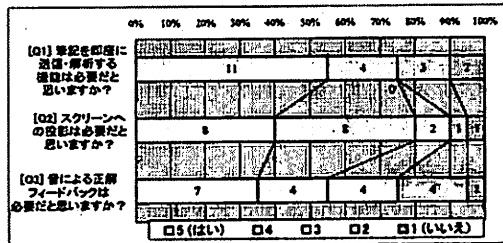


図 9: アンケート結果

## 5 まとめと今後の課題

AirTransNote が採用してきた紙中心インタフェースは生徒のユーザビリティを向上させるという点や、ユビキタスコンピューティング（デバイスが隠れ、ユーザが意識せずに恩恵を受ける）の具現化という点では重要である。しかし紙のみにこだわると、生徒にフィードバックを与えるという点で制約が生じる。理想的には、小型プロジェクトを使って生徒の紙に個別フィードバック情報を重畳表示することが考えられ、技術的にも可能であることが示されてい

る [1] が, そのような環境が教室に導入されるようになるのは現実にはもう何年か後になると考えられる。

このような状況下で, 紙メディアだけに固執せず, 電子メディアと相補的な関係を模索することは, 教育の情報化を推進するという点で意義があると考えられる。本報告では, 紙と電子デバイスの相補的利用により, 活性化される作用の種類について述べた。また, それぞれの作用を実現するために AirTransNote システムの改良を行った。

本報告ではシステムの技術的な点を中心に報告したが, 提案する環境が有効に利用されるようになるには, 機材を運用する上での問題を除いても, 依然として多くの壁が残されている。実際の授業においては, 生徒の自発的参加を引き出したり, 協調的な学習への導入を行う点で教師の力量に負う部分が大きく, システムを導入すべしとまくいくというわけではない。今後この環境を有効に利用するための授業方策やカリキュラムを構築していく予定である。

#### 謝辞

手書き文字認識機能を接続するにあたり, ソフトウェアならびに技術情報を提供していただいた東京農工大学の中川正樹先生と織田英人氏に感謝いたします。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(課題番号 17011028)の支援によるものです。

#### 参考文献

- [1] Jeremy Roschelle and Roy Pea. A walk on the WILD side: How wireless handhelds may change CSCL. In *Proc. of CSCL 2002*, pp. 51-60, January 2002.
- [2] Richard C. Davis, James A. Landay, Victor Chen, Jonathan Huang, Rebecca B. Lee, Francis Li, James Lin, Charles B. Morrey III, Ben Schleimer, Morgan N. Price, and Bill N. Schilit. NotePals: Lightweight Note Sharing by the Group, for the Group. In *Proc. of CHI '99*, pp. 338-345, May 1999.
- [3] Takashi Yoshino and Jun Munemori. SEGODON: Learning Support System that can be Applied to Various Forms. In Claude Ghaoui, editor, *E-Education Applications: Human Factors and Innovative Approaches*, pp. 132-152. Information Science Publishing, February 2004.
- [4] Richard J. Anderson, Crystal Hoyer, Steven A. Wolfman, and Ruth Anderson. A Study of Digital Ink in Lecture Presentation. In *Proc. of CHI 2004*, pp. 567-574, April 2004.
- [5] Matthew Kam, Jingtao Wang, Alastair Iles, Eric Tse, Jane Chiu, Daniel Glaser, Orna Tarshish, and John Canny. Livenotes: A System for Cooperative and Augmented Note-Taking in Lectures. In *Proc. of CHI 2005*, pp. 531-540, April 2005.
- [6] Motoki Miura, Susumu Kunifuji, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Augmented Classroom: A Paper-Centric Approach for Collaborative Learning System. In *Proc. of 2nd Int. Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS2004)*, LNCS 3598, pp. pp.104-116, November 2004.
- [7] 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, September 2005.
- [8] Chi Wei Huang, Jen Kei Liang, and Hsu Yie Wang. EduClick: A Computer-Supported Formative Evaluation System with Wireless Devices in Ordinary Classroom. In *Proc. of Int. Conference on Computers in Education*, pp. 1462-1469, 2001.
- [9] 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—, March 2004. <http://www.cec.or.jp/e2a/other/04PDF/b1.pdf>.
- [10] Masaki Nakagawa, Katsuhiko Akiyama, Le Van Tu, Akitsugu Homma, and Takao Higashiyama. Robust and Highly Customizable Recognition of On-Line Handwritten Japanese Characters. In *Proc. of the 13th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR'96)*, Vol. 3, pp. 269-273, August 1996.
- [11] Johnny C. Lee, Scott E. Hudson, Jay W. Summer, and Paul H. Dietz. Moveable Interactive Projected Displays Using Projector Based Tracking. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 63-72, October 2005.