

## ペン&ペーパーデバイスを用いた 試験システム

神山健太† 中川 正樹

本稿は、ペン&ペーパーデバイスを用いることで教師の試験採点の負担を軽減するシステムについて述べる。紙による試験は多くの学校で行われているが、その採点を正確かつ短期に終えて学生にフィードバックすることは教師にとって大きな負担になっている。本システムは効率的な採点方法を提供するとともに、デジタルインクの時系列的な情報から問題回答時の学生の回答過程を明らかにし、理解度の分析方法を提供する。本稿では、本システムの機能と実用性の評価実験について述べる。

### An Exam System Using Pen and Paper Device

Kenta Koyama Masaki Nakagawa

This paper presents an exam script marking system using pen and paper device. Paper exams are often employed in schools to assess students' learning, but marking them without mistakes in a short time and give quick feedback to students is hard for teachers. We propose an exam system using pen and paper devices to reduce the marking burden of teachers. Students can use the device without any teach. Teachers get exam script as digital ink. The teachers can efficiently mark exams using the system we propose. Moreover, the teachers can investigate the students' problem solving by analyzing answering process by the students recorded in digital ink. This paper describes the system and preliminary evaluation.

### 1. はじめに

学生の能力を測る方法としてさまざまなものがあるが、体育などの実技試験を除くとほとんどのテストは紙によって行われる。紙によるテストは単純だが、多くの教科で使用することができる。そして、学生の得点から個人もしくは全体の理解度を把握し、それを授業に反映させている。しかしながら、学生の解答を正確かつ迅速に採点し、学生にフィードバックするのは教師にとってとても大変な作業である。

これを軽減する方法の一つとしてマークシートが用いられている。ただ、マークシートでの試験は選択問題のみとなるうえ、答案の読み取りには大がかりな機械が必要となる。市販されているスキャナーを用いて読み取る研究もおこなわれているが、本稿では別のペンペーパーデバイスを用いたアプローチを示す[1]。

IT機器の進歩によって、我々はキーボードやマウス以外のインタフェースを使えるようになってきている[2][3]。特にペンは昔からなじみ深いものなので様々なデバイスが開発されている。中でもペンペーパーデバイスは、専用の紙とペンだけで筆記情報をデジタルデータとして取得・保存することができる。使用者は、特殊な装置を必要とせず、その操作法を覚える必要もない。まさに、普通に紙に書く感覚でよい。

本稿で述べる研究は、このペンペーパーデバイスを用いて教師が採点にかかる負担を軽減するシステムである。試験形式はほぼ今までの試験と同様に問題用紙とペンから構成される。デバイスはただのボールペンであるため、試験を受ける学生は本システムを使用するにあたって使い方を覚える必要がなく、従来通りにペンを手に持って試験を受ければよい。問題用紙はドットパターンが印刷されている以外は、通常の紙のように教師は問題を自由に設定できる。マークシートのように選択式の問題のみで構成する必要がなく、単語の問題やグラフ問題を使用することができる。解答結果がデジタルデータで取得できるので、これを用いることで教師が採点にかかる負担を大幅に減らすとすることができる。デジタルデータなので解答の保存や管理も容易である。

我々は、以前もペンデバイスを用いた採点支援システムの研究を行っている[4]。この Narcis らの研究は、文字認識による問題の自動採点と採点インタフェースの工夫によって負担軽減を図るものである。当研究でも自動採点と効率的な採点インタフェース機能はあるが、より拡張を行った。

本稿で述べる研究は、昨年度吉田らにより設計及び調査が行われている[5]。今年度はそれをもとに各機能を実装し、その過程・実験において判明した不足分を拡張したものである。さらに、研究の有用性を証明するための評価実験を行った。

† 東京農工大学 工学府 情報工学専攻  
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

本稿では、システムの各機能の実装方法と行った評価実験とその結果と判明した問題点の考察について述べる。

## 2. システム

本システムを用いた採点までの流れを下図に示す (図 1)。

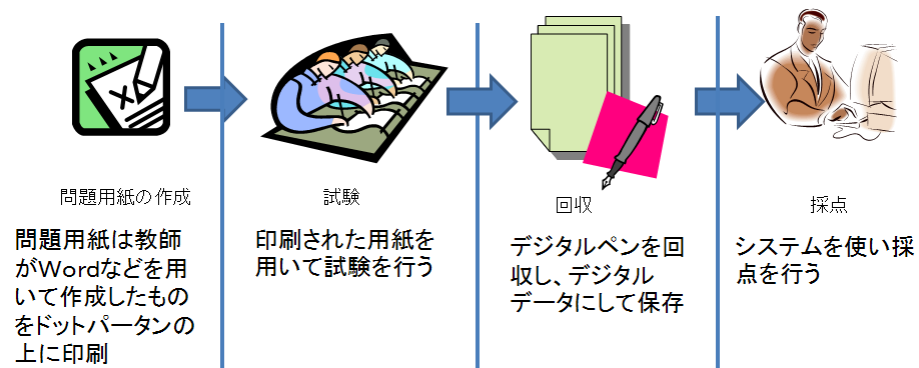


図 1 システムを使用した試験の流れ

本システムを使用して試験を行うに当たって、問題用紙作成から試験、採点までの流れは従来と大して変わらない。問題用紙を作成するに当たっては、特別なソフトウェアを必要とせず、Word などのワープロソフトを使用して作成できる。ただし、デジタルペンのためにドットパターンを付与するため PDF ファイルに出力する必要がある。また、採点システムに使用するため作成した問題用紙を画像ファイルに出力し、ドットパターンが付与された用紙を印刷する。

試験自体はドットパターンが印刷された問題用紙と特殊なペンを使用する以外は、従来と変わらない。試験を受ける学生に特別な操作方法を教える必要もなく、学生は普通に答案に解答するだけである。試験後、答案とともにペンも回収する。回収してから採点するまでの流れは、図 2 に示す。

学生よりペンを回収し、PC に接続する。この時に、ペンから筆記情報を読み取ってファイルに出力する (図 2-1)。これを作成した問題用紙の画像ファイルと一緒にシステムに読み込ませる (図 2-2)。ペンから読み込んだ筆跡データをもとに、問題領域の自動検出を行う (図 2-3)。問題の解答形式、配点などを入力した後、自動

検出された領域内にある筆跡データを解答として切り出す (図 2-4)。切り出された筆跡は、正解と比較して自動採点を行う (図 2-5)。認識エラーや採点ミスなどを修正するためには確認しながら手動で行う (図 2-6)。採点したものは、印刷できほか Excel ファイルとして出力できる。

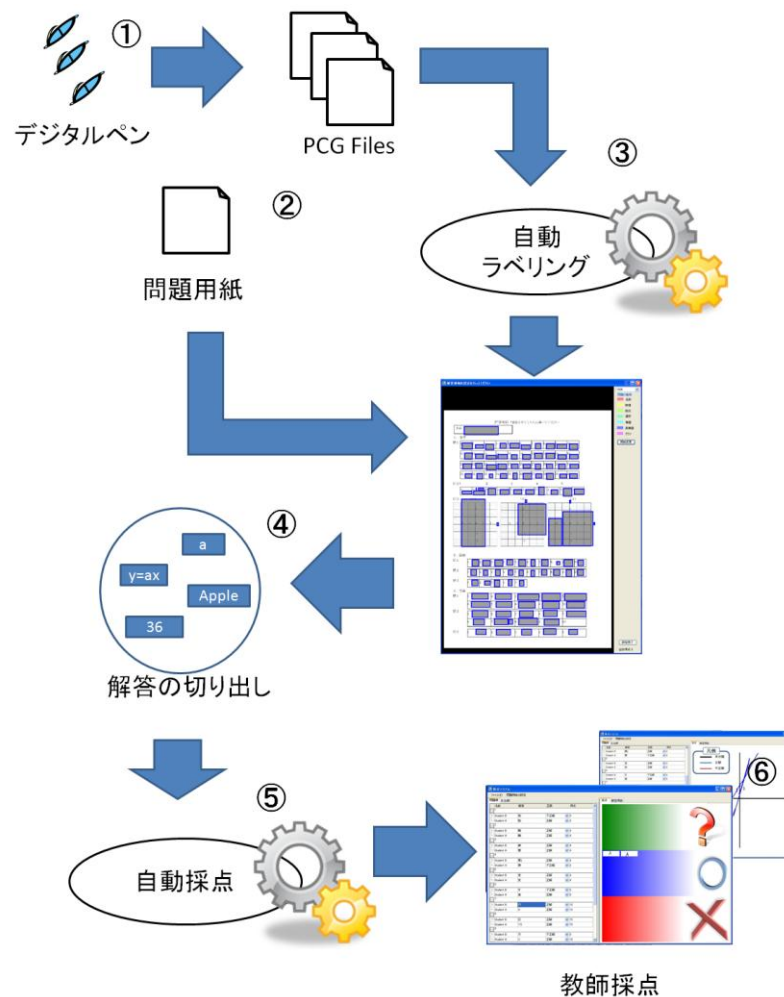


図 2 ペン回収後の採点の流れ

## 2.1 自動ラベリング

採点するにあたって、システムに問題用紙の設定を行う必要がある。具体的には解答の位置・領域の設定と、自動採点するための正答の入力、各問題の配点の設定である。以前はこれを全て手動で行っていたが、時間がかかり過ぎたためできるだけ自動で行えるようにした。

問題領域の設定は、デジタルインクの筆記情報をもとに生成する。解答用紙画像の枠から自動検出する方法も考えられたが、筆跡から生成することで精密な領域設定が可能になる。解答領域となる矩形の生成方法は、以下のとおりである(図3)。

ストロークを覆う矩形を生成する。全学生の全てのストロークにこれを行い、重なった矩形通しを統合していく。これを重なる矩形がなくなるまで繰り返す。

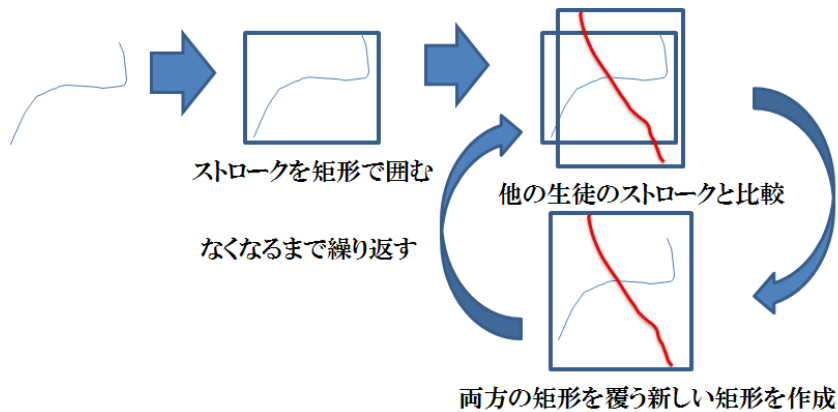


図3 問題領域自動生成の方法

図4は、この方法で自動的に領域の設定をしたものである。一部、分類しきれていないものがあるが、大部分はこの方法で分類出来ている。この画面で、間違っただけで統合されてしまったものや、うまく統合されなかった矩形は、ユーザが分割・統合することができるので問題はないと考える。続いて、各問題の解答形式の設定、配点の入力を行う。解答形式は次に述べる自動採点の文字認識率を上げるためのもので、表1に示される7種類から選択する。これらは効率的に行えるように、複数の問題をいっせいで設定できる。

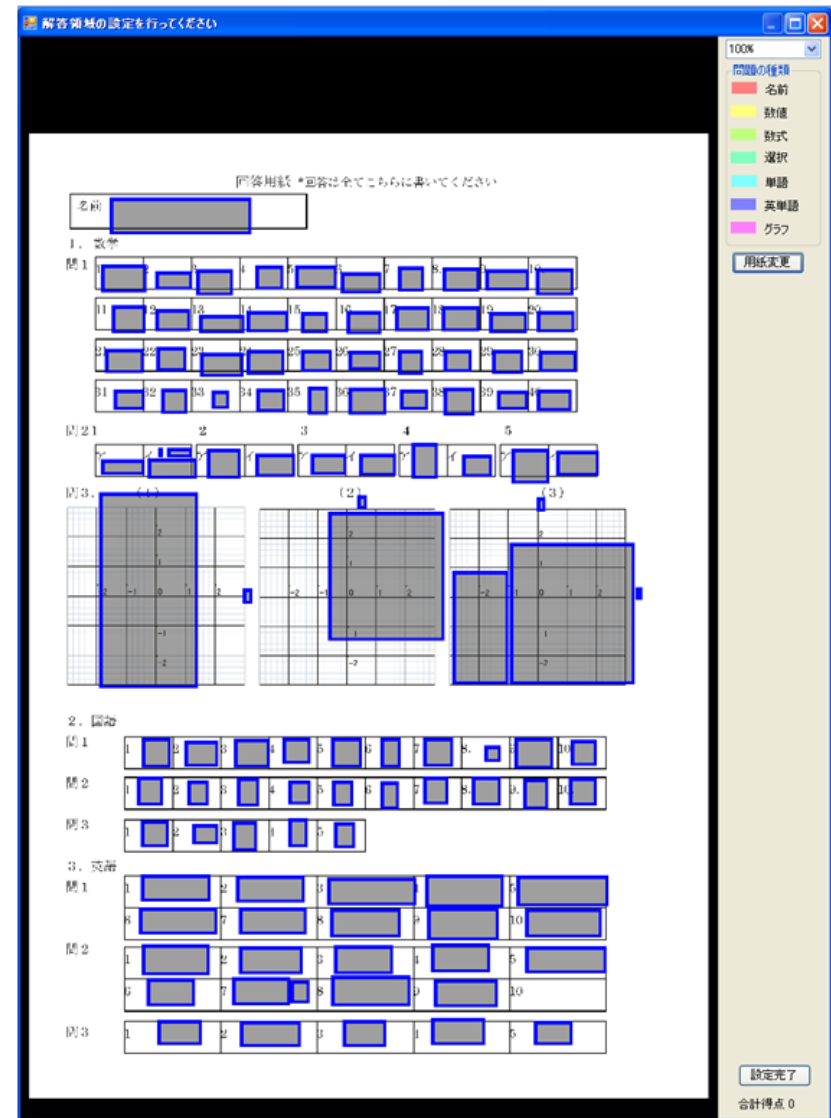


図4 自動生成された領域

表 1 解答領域の意味

解答形式	意味	文字認識
名前	学生の名前が書かれている領域	する
数値	数字, 小数点, ±で解答される領域	する
数式	分数, ルートなどテキストとしてあらわすことができない数式	しない
選択	ABC やアイウなどの選択肢から一字選んで解答する領域	する
単語	文になっていない単語	する
英単語	アルファベットのみで構成される単語	する
グラフ	グラフによる解答	しない

## 2.2 自動採点

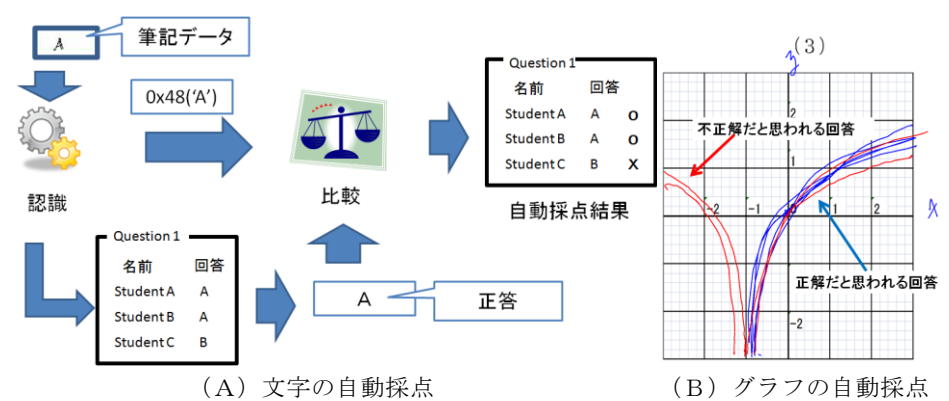
教師の負荷を減らすにあたって, 自動で採点する機能があると望ましい. マークシートはその一つの実現例であるが, 本システムでは, 採点対象を選択問題から記述問題にも拡張した. 本システムでは筆跡データが取得できるので, より高度な採点が可能となる. まず, 問題の種類を文字認識ができるものと出来ないものに分類する(表 1).

文字認識ができるものは, 文字認識によって解答を文字コードに変換し, それを単純に比較するだけで自動採点が可能となる. 対象となる問題の種類は, 単純な A, B, C の選択肢から選ばせる選択問題以外にも, apple や tree などの単語を記述させる問題でも自動的に採点することが可能となる. ただし, 長文による解答は文字認識がうまくいかないことや, 後述する採点インタフェースを開発していないことから, 本システムでは対応していない.

以前は, 学生の解答と正答を照らし合わせていた. しかし, 正答の入力時間がかかり過ぎたためこれを省略し, 自動検出することにした. その方法は, 認識結果から多かった解答を仮の正答とするもので, これによって必ず正しい解答が正答と判断されないかもしれないが, 自動採点機能は, あくまで教師の負荷軽減の一環であると考えているので, これで十分であると考えた. 間違っていた場合は最後の教師採点の段階で修正を行う(図 5-A).

グラフによる解答の場合, 文字認識を行うことができないので, 別の採点方法が必要となる. グラフの場合も類似する解答が多いものを仮の正解とする. ある学生の解答を他の学生のグラフと重ね, 重複する点が一定上存在する場合を正解とする

(図 5-B).



(A) 文字の自動採点  
図 5 自動採点

## 2.3 採点インタフェース

学生の解答を採点するにあたって, 学生ごとの答案を一枚一枚順に採点する方法と, 問題別に採点する方法がある. 後者は解答を共通の正解と比較するだけなので効率がよいが, 答案を問題ごとにめくらないといけない手間がある. これは, 紙という物理的媒体の問題であると考えられる. そこで, 本システムではこの手法をサポートし, 設問ごとに学生の解答を並び替えて表示するインタフェースを備えた(図 6). これによって, 教師は一つの問題とその解答に集中すればよく, 効率的な採点が可能となる. この機能は既に以前に Narcis らの研究で実装・評価されており, これにより 40%採点速度が速くなることが確認されている.

我々は, この手法をさらに拡張することにした. 採点にかかる時間をより短くできるように, ある解答を正解・不正解に採点した時, それと認識結果が同じ解答を同時に正解・不正解に分類する. さらに, インタフェースを一つにまとめたので, 空いたスペースに他の採点インタフェースや問題用紙を表示することができる. 問題番号だけでなく問題用紙を見ながら採点することで, 今どの問題を採点しているのかわかりやすくなる.

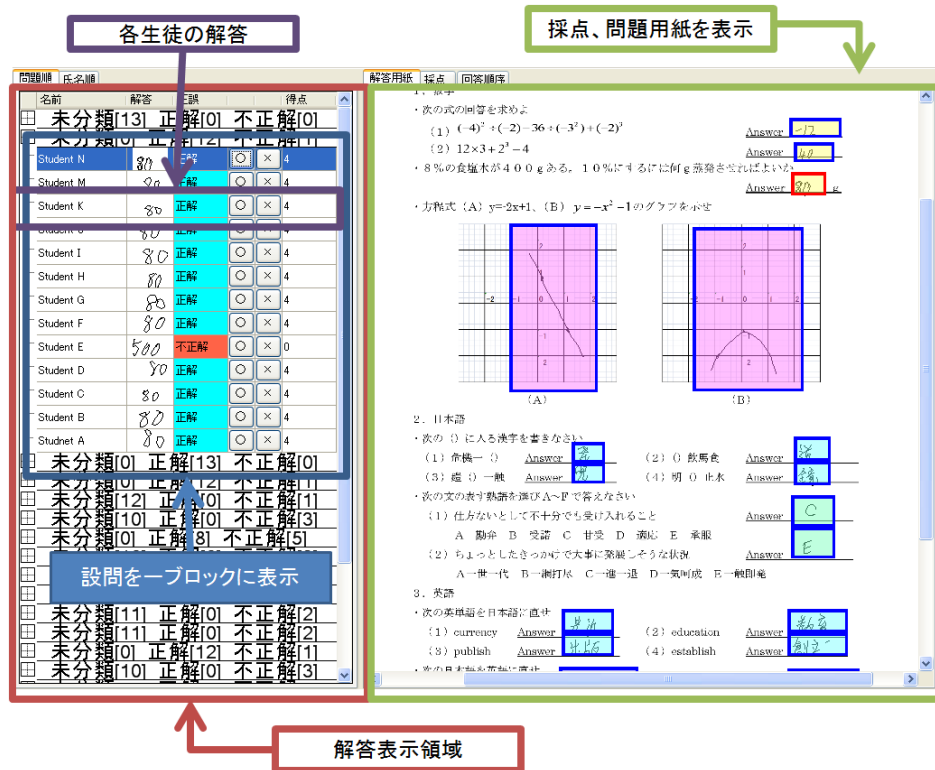


図 6 解答の表示方法

誤認識などのミスにより正しく自動採点されない場合や、正答が複数ある場合など、人間による手動での採点を行う必要がある。この手動採点をサポートする機能について述べる。図 6 の採点画面の左側に表示されているリストの○×ボタンから採点することもできるが、図 7 に示すように、テキスト解答用のインターフェースを使用することもできる。このインターフェースでの採点はドラッグ&ドロップだけで採点ができ、さらに、ひとつの解答を採点すると認識結果が同じ解答をすべて同時に採点することもできる。

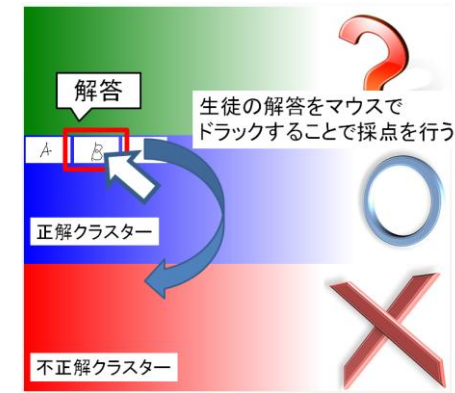


図 7 採点インターフェース

次に、解答形式がグラフの場合の採点方法について述べる。多くの数学の問題に解答にグラフとして曲線を描かせるものがある。この場合、学生が描くグラフは正解していれば必ず同じ形になる。つまり、各学生の解答を重ね合わせると、正解している解答はちょうど重なり、不正解の解答が外れる。教師は、正解の解答を一つ選ぶと、システムがそれと類似する解答を全て正解とみなす。これにより一気に採点することが可能である。

#### 2.4 試験分析インターフェース

システムは、採点支援以外にも学生の理解度を把握する手助けをする機能を提供する。従来の単純な学生の得点一覧だけでなく、より多くの学生の状況を理解するヒントが得られる。これは、解答過程の時系列的な筆跡という新しい情報が取得できるからである。この情報をもとに、図 8 では学生がどのような順序で問題を解いていったのか、一問にどのくらい時間をかけたのか、見直しをしたのかを把握することができる。これ以外にも、前のストロークから一定時間が経過したものを強調することで、学生のペンが止まった場所が分かり、どこで悩んだかわかるようになる。

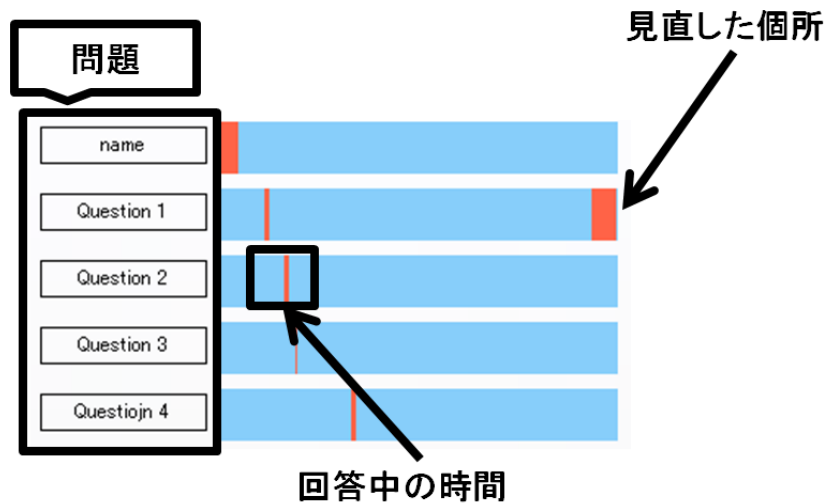


図 8 試験分析インターフェース

## 2.5 採点結果の出力

本システムで採点を行うと、自動的に集計してエクセルファイルに出力できるほか、学生へ返却用に用紙を印刷することができる。従来通り手で採点すると学生毎に得点を計算しなくてはならないうえ、平均点などを算出しなければならない。そして、その結果をエクセルなどの表計算ソフトへ入力する。これが教師にとって負荷の一つになっている。本システムでの採点は最初から最後まで PC 上で行われるので、こういった集計作業は容易になる。

しかし、システム上で採点すると集計は容易になるが、すべて PC 上で完結してしまうため、学生に結果を通知する方法がなくなってしまう。Narcis らの研究では電子メールで結果を学生に通知しているが、我々は図 9 の返却用の用紙を印刷できるようにした。これによって PC を所持していない学生でも結果を知ることができ、自分の解答を見直すことができるようになる。教師が採点ミスしていた場合も返却された答案用紙を確認することで、指摘することができる。



図 9 返却用用紙

## 3. 評価実験

### 3.1 実験方法

本システムは、教師の負荷軽減が目的である。負荷軽減にかかわる要素は多々あるが、この実験では客観的な基準として採点にかかる時間を評価する。前述した、採点結果の集計の手間を考えると本システムの優位性はさらに向上すると思われるが、あえて中心部分だけを評価する。また、学生及び、教師の使い勝手の感想や、試験自体は評価の対象としない。

大学レベルの問題（数学、国語、英語）を二種類（A、B）作成する。それを 1

3人の大学生に試験を行う。回収した答案を二通りの方法で採点を行う。一つは、従来通り紙媒体で採点を行い、もう一方は、本システムで採点を行う。教師はXとYの二人で採点しXはAを手動で採点し、Bを本システムで採点する。YはAをシステムで、Bを手動で採点し、採点にかかる時間差を測定する。表2に実験方法を要約する。

表2 実験方法

		試験	
		A	B
教師	X	手動	System
	Y	System	手動

### 3.2 実験結果

測定した採点時間を表3に示す。システムでの採点時は、設定にかかった時間と、採点まで含めて要した時間を測った。

教師XとYで結果が異なった。教師Xはシステムでの採点のほうが早く、Yは手動での採点が高いという結果だった。ただ、Xのシステム採点が高いといってもわずかに一分程度の違いであった。

表3 実験結果

教師	手動採点	システム採点	
		設定時間	総合
X	15:50	3:08	14:00
Y	11:55	5:45	16:05

### 3.3 考察

評価実験の結果は、Xはシステムのほうが早く、Yは手動のほうが早かった。なぜこのように教師によって結果が異なったか考えられる原因としては、教師Yがシステムに慣れておらず機能がうまく生かされなかったこと一つ上げられが、一番は学生の数の少なさにあると思われる。前にも述べたとおり用紙設定に時間がかか

っており、学生一人当たりの採点に使った時間は短い。つまり、今回は13人と少数であったが、実際の学校での1クラス分30人以上の採点を行った場合、手動より早くなるのが予想される(図10 大人数での予測)。さらに、一学年200人クラスの大人数になれば十分な結果が得られると思われる。

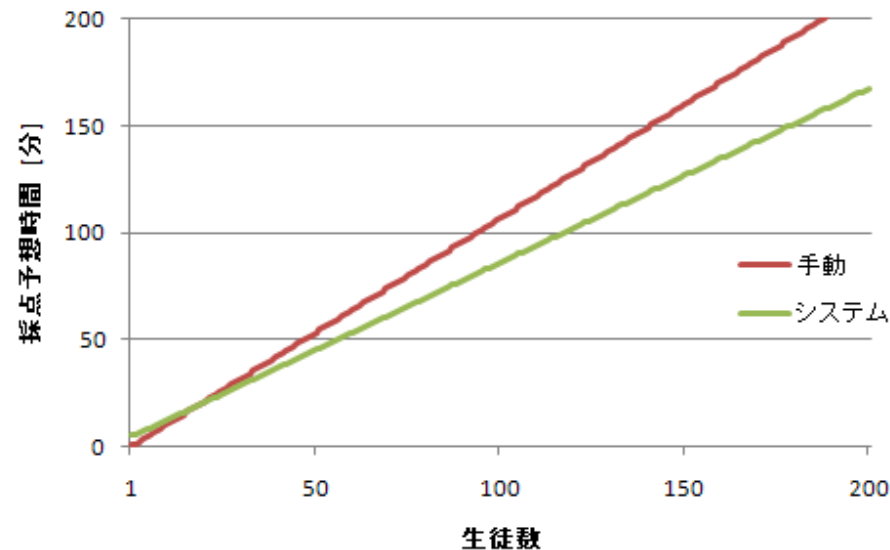


図10 大人数での予測

学生数以外にも、今回の実験で使用した試験が不利に作用してしまった。問題の解答記入欄が、他の問題と近すぎたため自動ラベリングでかなりの問題が誤って連結されてしまった。設定時に、このくっついてしまった問題の分離作業に多くの時間が取られてしまった。本システムの利点として問題の自由な作成法があるが、システムの機能が不十分だと、試験問題の作り方によってはシステムが不利になることが実験から分かった。

#### 4. おわりに

教師が試験採点時にかかる負荷を軽減することを目的として、デジタルデバイスを用いた採点システムを実装・評価を行った。教師が入力する負荷を軽減するために、できる限りの自動化を図った。今回行った評価実験では、従来の採点方法のほうが採点にかかる時間は少ないという結果が出た。しかし、一人当たりの採点時間はシステムのほうが短く、より現実的な学校の学生数で考えた場合、十分な利点が得られる。

今後は、機能の改善、不十分な自動化の改良、そして、より多人数での評価実験が必要である。

**謝辞** 本研究は、文部科学省特別教育研究経費共生情報工学研究推進経費の一部補助による。手書き認識技術は、朱碧蘭助教他の認識班の研究成果による。

#### 参考文献

- 1 Gorgevik D., Mihajlov D. and Grceviski N., (2000), "A simple System for Automatic Exam Scoring using
- 2 Anoto Group AB website. Available , <http://www.anoto.com/>
- 3 KAIREN website. Available at <http://www.kairen.co.jp/index.html>
- 4 L. Narcis, M. Nakagawa, (2006.11), "An Exam Scoring Application Running on Paper Architecture",. Proceedings of IEICE Technical Report PRMU2006-145.
- 5 Yoshida N., Koyama K., Kal Ng, Tsukahara W. Nakagawa M.; New Features for a Pen and Paper-based Exam Scripts Marking System, E-LEARN2009, Vancouver, Canada(2009.10).