

# 電子試験サーバを利用した 大学1年生向け情報系数学教育の実践

後藤 祐一<sup>1,a)</sup> 程 京徳<sup>1</sup>

概要：著者らは、2008年度から担当している大学1年生向け情報系数学科目の授業において、電子試験サーバを利用して出席確認、小テスト、期末試験を実施している。本稿では授業での電子試験サーバの利用した際の長所および短所について報告する。

## 1. はじめに

著者らは2008年度から担当している2つの授業において電子試験サーバを利用して出席確認、小テスト、期末試験を実施している。著者らの担当する「離散数学」(以下、講義)と「離散数学演習」(以下、演習)は、著者らの所属学科である情報システム工学科の1年生向け必修科目である。情報システム工学科では、必修科目については講義だけでなく、講義内容の理解を深めるために実際に手を動かして演習問題を解くことを目的とする演習も合わせて開講する方針になっている。このため、講義と演習は互いに深く連携して授業を進める必要があった。この際に問題になったのは、受講生の理解状況を講義担当者のみならず演習担当者も理解しなければならないという点であった。この問題を解決するために、まずは、授業の出席確認と小テストを電子試験サーバを利用して行うこととした。その後、著者らは出席確認と小テストだけでなく、期末試験も電子試験サーバで行うことにした。

本稿では授業での電子試験サーバを利用した際の長所および短所について報告する。2節では導入の背景について説明する。3節では、著者らが担当する授業について簡単に説明する。4節では、授業において電子試験サーバをどのように利用しているのかを説明し、5節で、著者らが開発している電子試験サーバを紹介する。そして、6節にて、授業で電子試験サーバを利用する際の長所と短所について報告し、電子試験サーバを用いた電子試験にて考慮しなければならない不正行為およびその防止策についても報告する。

## 2. 導入の背景

1節で述べたとおり、著者らが担当する2つの授業において受講生の理解度を簡単に共有するための方法として、著者らは電子試験サーバの利用を始めた。Drupal [3] や NetCommons [5] などの既存の E-Learning 支援ソフトウェアに付属している電子試験機能を利用しなかった理由は、著者らが担当する授業においてどのような機能が必要となるのかを授業開始前に明確にできなかったためである。一方で、当時、著者らは電子アンケートサーバの開発を行っていた [1]。そこで、電子試験サーバを漸進的に開発していくこととし、まずは、既存の電子アンケートサーバを利用して、授業中に小テストを実施することとした。

授業で電子試験サーバを利用するには、電子試験サーバによる電子試験の実施に利点があるかどうかだけでなく、受講生が解答用端末を持っているかどうか、解答用端末を用いて解答できる環境が整備されているかどうか、そして、受講生が電子試験の解答に十分なスキルを持っているかどうかも考慮しなければならない。著者らの授業はこれらの条件を満たしていた。

講義および演習の全受講生は解答用端末として無線 LAN 機能付きラップトップ PC を所持しており、かつ、無線 LAN 経由で学内ネットワークに自由にアクセスできていた。埼玉大学では、2005年度から全入学生が入学時に無線 LAN 機能を持ったラップトップ PC を購入することになっていた。このため、2008年度は、1年生から4年生までの全学生がラップトップ PC を持っているはずであった(経済的事情や故障などでラップトップ PC を持っていない学生も若干名いた)。また、2007年度初めに学内ネットワークの刷新が行われ、学内 80ヶ所に無線 LAN アクセスポイントが設置され、講義および演習が行われる教室にも

<sup>1</sup> 埼玉大学  
Saitama University

a) gotoh@aise.ics.saitama-u.ac.jp

無線 LAN アクセスポイントが設置された。この結果、学生は自由に自分のラップトップ PC を学内ネットワークにアクセスできるようになっていた。

また、講義および演習の受講生は、電子試験サーバを用いた電子試験を解答するのに必要な IT スキル（文字入力、Web ブラウジング、PDF ビューアの利用）を持っていると考えて良かった。このように考えることができた理由は、第一に、情報システム工学科は計算機科学系の学科であり、かつ、講義および演習の受講者の 9 割が当該学科の学生であったためである。ただし、受講生の 7 割から 8 割は計算機科学系学科の 1 年生であり全員が計算機に習熟しているわけではなかった。しかし、彼ら/彼女らは、計算機に対する忌避感を持っていなかった。第二の理由は、講義・演習と同じ学期に行われる一年生向け必修科目として Unix 環境導入授業があり、その授業を後藤が担当していたためである。当該授業において、期末試験が実施される 7 月末～8 月頭へ向けて、タッチタイピング技術、Web ブラウザの利用技術を向上させることが可能であった。

上述の背景の下で、著者らは電子試験サーバを授業で利用することとした。

### 3. 授業形態

講義と演習は、同じ曜日、同じ教室で開講されている。演習は講義の次のコマに開講されている。受講者数は、1 年生および再履修者を合わせて 70～100 名である。程が講義の担当であり、後藤が演習の担当である。各担当とも、授業資料の PDF ファイルを自身の Web サイトにて受講生に公開している。講義は、概念や理論の紹介を目的として実施されている。授業の途中（多くの場合は授業の最後）に、小テストを実施している。成績評価は、出席点（小テストの提出点）10 点、宿題（全 4 回）20 点、期末試験 70 点の計 100 点満点で行われる。演習は、授業中に演習問題の解答および模範解答の解説を行っている。成績評価は、出席点（授業中に解答した演習問題の解答用紙の提出点）30 点、および、レポート 70 点の計 100 点満点で行われる。

講義と演習で扱う内容は、集合論の初歩（集合演算、二項関係、半束・束、関数、可算集合・無限集合）、グラフ論（文献 [4] で扱っている範囲）、組み合わせ論の一部（再帰関係、母関数、Ramsey の定理）の大きくわけて 3 つである。講義の授業全 15 回のうち、1 回をガイダンス、5～6 回を集合論、6～7 回をグラフ論、2 回を組み合わせ論に割り当てている。演習も、講義とほぼ同じ割合で講義内容の復習を行っている。

### 4. 授業における利用方法

電子試験サーバは、講義の毎授業ごとに行われる小テスト、4 回実施される宿題、期末試験のための練習として行われる理解度確認テスト、そして、期末試験で利用されて

質問 1	今日の講義内容について、あなたがどれほど理解しているか？（択一選択） (1) 0%から 20% (2) 21%から 40% (3) 41%から 60% (4) 61%から 80% (5) 81%から 100%
質問 2	今回の授業の予習に費やした時間を教えてください。（択一選択） (1) 0分（予習していない） (2) 1分から 30分 (3) 31分から 60分 (4) 61分から 90分 (5) 91分以上
質問 3	今日の講義内容について、あなたにとって理解が難しかった部分は何か？難しいと思う原因は何か？（テキストエリア）
質問 4	提示された問題にしたがって解答してください（テキストエリア）
質問 5	提示された問題にしたがって解答してください（テキストエリア）
質問 6	その他質問・意見があればどうぞ。（テキストエリア）

図 1 小テストの例

Fig. 1 An example of a quiz.

いる。

小テストは、講義の出席確認および理解状況の確認のために行っている。小テストは、学生の理解状況を尋ねるアンケート部分とその講義で教えたことを利用した演習問題の 2 つから成り立っている。図 1 は、2013 年度の小テストの内容である。小テストの内容を再利用するため、また、授業の進度に応じて小テストに出す演習問題を変更できるようにするために、演習問題自体を小テストに記載せず別に提示している。この演習問題の別表示は、授業に参加していないのにも関わらず小テストを解答する行為への防止策でもある。会場外解答の防止策については 6.3 節で詳しく報告する。講義担当者と演習担当者は、電子試験サーバを通して小テスト結果を共有している。

講義では、受講生に宿題を 4 回課している。各回の宿題では、講義担当教員が教科書に掲載されている演習問題を 10～20 問程度指定し、学生はその演習問題の解答をテキスト形式の電子ファイルで提出する。2009 年度までは、提出方法として電子メールを使用していたが、提出の有無を確認する手間がかかったため、2010 年度からは電子試験サーバを利用している。

期末試験の予行練習として、演習の授業時間に期末試験と同じ形式の理解度確認テストを 1～2 回行っている。小テストおよび宿題の提出の際にも電子試験サーバを使用するが、小テスト・宿題と期末試験では、使用する解答形式に違いがあるため、それらの解答形式に慣れてもらうための練習の機会を設けている。

期末試験は教科書および資料の持ち込み可能なオープンテスト形式で行っている。電子試験サーバを用いた電子試験ではあるため、Web を利用できる任意の場所から解答することができるが、現在は試験会場を指定している。試験中は試験監督（2～3 名）が教室内を巡回し、不正行為を防いでいる。不正行為の防止策については 6.3 節で報告する。

以上のように、講義の成績判定に関わるデータ（出席、

表 1 運用環境  
Table 1 Environment.

ハードウェア	Intel Xeon 2.80GHz 4 コア, 主記憶要領 4GB
ネットワーク	学内ネットワーク (100Mbps)
OS	Debian GNU/Linux
プログラミング言語	Ruby
Web App 開発フレームワーク	Ruby on Rails
HTTP サーバ	Apache
データベース管理システム	PostgreSQL
SMTP サーバ	Postfix

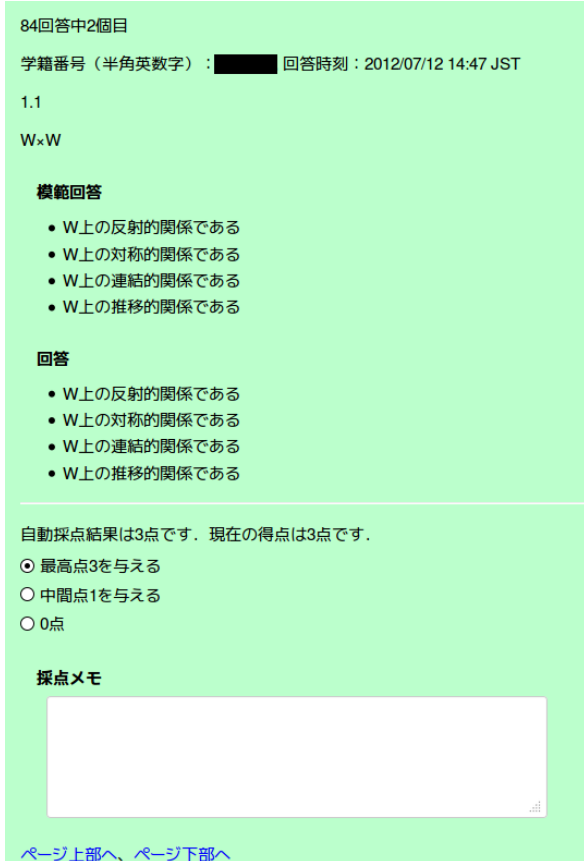


図 2 自動採点機能および問題別採点機能  
Fig. 2 Automated marking function.

宿題, 期末試験) はすべて電子試験サーバで収集している。

## 5. 電子試験サーバ

電子試験サーバ [6] は, 著者らの所属研究室に Linux マシンを用意し, その上で運用している。電子試験サーバの運用環境は, 表 1 のとおりである。

一般的に, 教員は複数の授業を担当し, 各授業ごとに複数の小テストや定期試験を行う。電子試験サーバも, この教員モデルに合うように構成されている。電子試験サーバの利用者は, 複数個のプロジェクトを生成できる。プロジェクトは, 複数個の試験およびアンケートから成り立っている。試験とアンケートの違いは, 解答結果に対して採

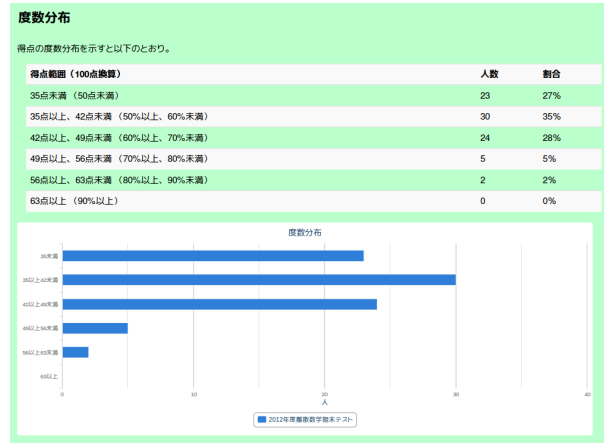


図 3 総得点の度数分布のグラフ  
Fig. 3 Histogram of scores.

点が行われるかどうかの違いである。試験・アンケートは, 複数のページから構成されており, ページは, 複数個の配置要素を持つ。

配置要素は 15 種類ある。質問 + 入力欄がセットになっている配置要素は 11 種類あり, 具体的には, 択一選択, 多肢選択, テキストフィールド (単語や改行のなしの文を入力できる), テキストエリア (改行ありの文章を入力できる), 複数欄テキストフィールド (任意個のテキストフィールドを入力欄として持っている), 行列版の択一選択, 多肢選択, 自由記述 (行列の要素がテキストフィールド), ファイルアップロード (入力としてファイルをアップロードする), 画像アップロード (入力として画像ファイルをアップロードする), そして, ソースコードアップロード (入力としてソースコードをアップロードする) がある。入力欄を持たない配置要素は 4 種類あり, 具体的には説明文 (文章のみを表示), 画像 (画像のみを表示), 添付ファイル (電子試験サーバにアップロードしたファイルのリンクのみを表示), ソースコード例 (ソースコードを行番号付きで表示) がある。

電子試験サーバの主な機能を以下に説明する。

**解答制限機能:** 試験の解答権の付与方法は, 制限なし, パスワードによる制限, 解答可能者リストによる制限の 3 つの方法がある。制限なしの場合は, 電子試験サーバの利用者ならば誰でもその試験に解答できる。パスワードによる制限では, 試験の実施者が設定したパスワードを入力した電子試験サーバの利用者のみが試験に解答できる。解答可能者リストによる制限では, 試験の実施者があらかじめ登録した電子試験サーバの利用者のみが試験に解答できる。

**集計機能:** 電子試験サーバは, 一般的な電子アンケートサーバと同じような集計機能を提供している。授業で小テストを行う際には, 演習問題と同時に授業の理解度を調べる質問や授業への質問・意見を一緒に回答させることも多い。このため, 試験であっても解答をアンケートの回答と

## 問題1

問題名	回答者数	正答率	配点	平均点	中間値	最高点	最低点	標準偏差
1.1	84	98.8%	3	2.96	3	3	0	0.33
1.2	84	53.6%	3	1.61	3	3	0	1.50
1.3	84	86.9%	3	2.61	3	3	0	1.01
1.4	84	85.7%	3	2.57	3	3	0	1.05
1.5	84	89.3%	3	2.68	3	3	0	0.93

図 4 問題ごとの解答状況

Fig. 4 Analysis of answers

類似度は88.51%です。一致している部分が色付けされています。

類似度を採点メモに記録する

この解答者の答案を比較する

回答時刻：2012/07/12 17:46 JST

回答時刻：2012/07/12 17:29 JST

これらの硬貨を使って構成できる金額は

$$\begin{aligned} & \{exp(x,10)+exp(x,20)\}\{exp(x,50)+exp(x,100)+exp(x,150)\}\{exp(x,0)+exp(x,100)+exp(x,200)\} \\ & =exp(x,60)+exp(x,70)+exp(x,110)+exp(x,120) \\ & +2exp(x,160)+2exp(x,170)+exp(x,210)+exp(x,220) \\ & +2exp(x,260)+2exp(x,270)+exp(x,310)+exp(x,320) \end{aligned}$$

10円硬貨を{exp(n,10),exp(n,20)}

50円硬貨を{exp(n,50),exp(n,100),exp(n,150)}

100円硬貨を{exp(n,0),exp(n,100),exp(n,200)}と表すと、

これらの硬貨の構成は

$$\begin{aligned} & \{exp(n,10)+exp(n,20)\}\{exp(n,50)+exp(n,100)+exp(n,150)\}\{exp(n,0)+exp(n,100)+exp(n,200)\} \\ & =exp(n,60)+exp(n,70)+exp(n,110)+exp(n,120)+2exp(n,160)+2exp(n,170)+exp(n,210)+exp(n,220)+2exp(n,260) \\ & +2exp(n,270)+exp(n,310)+exp(n,320) \end{aligned}$$

となるので  
構成できる金額は60,70,110,120,160,170,210,220,260,270,310,320,360,370円である。

図 5 類似度判定結果の例

Fig. 5 An example of similarity check.

同様に集計できるようにしている。

採点支援機能：試験の採点を支援する機能として、自動採点機能と問題別採点機能がある。自動採点機能は、択一選択、多肢選択、テキストフィールド、複数欄テキストフィールド、行列版の択一選択、多肢選択、自由記述の解答形式で使うことができる。なお、テキストフィールド、複数欄テキストフィールド、行列版自由記述については、自動採点と手動採点のどちらかを選択できる。採点を行うとき、答案ごとに採点するよりも、ある問題の解答のみを連続で採点した方が効率が良いときがある。問題別採点機能は、ある問題の解答だけをまとめて表示し、連続で採点できるようにする機能である。図 2 は、自動採点可能な択一問題を問題別に表示した画面である。このように、各解答ごとに解答者、問題、模範解答、解答、採点結果（手動採点の場合は得点入力欄）、採点メモ入力欄が表示される。自動採点可能な問題の場合は、問題別表示を行った際に自動的に採点が行われる。

採点者任命機能：この機能では、任意の電子試験サーバの利用者を、ある試験の採点者として任命し、任命された採点者がその試験の採点を行えるようにする。採点者は当該試験の採点しか行うことができない。この機能により、ティーチングアシスタント（TA）に小テストや宿題・レポートを採点してもらうことができる。

分析機能：試験ごとの総得点の度数分布のグラフ（100点満点換算で50点未満、50点以上60点未満、60点以上70点未満、70点以上80点未満、80点以上90点未満、90点以上）および、各問題ごとの正答率、平均獲得点数、中央値、最高点、最低点、標準偏差を求めて表示する。度数分布のグラフは、図 3 のように、各問題ごとの解答状況は、図 4 のように分析分析として表示される。

エクスポート機能：プロジェクトごと、あるいは、試験ごとに採点済み答案、集計結果、分析結果を HTML ファイルとしてダウンロードできる。また、試験ごとの解答者の一覧、および、問題ごとの解答一覧を CSV ファイルとしてダウンロードできる。

フィードバック機能：試験の実施者が望めば、解答者に自身の答案、採点済み答案（模範回答あり、模範回答なし）、集計結果、分析結果を閲覧させることができる。

類似度判定機能：テキストエリア、ファイルアップロード、および、ソースコードアップロード解答形式において、任意の二者間の解答（1問分）あるいは答案（すべての解答）の類似度を判定することができる。類似度は、二つの解答間の最長共通部分列 (Longest Common Subsequence) [2] を求めた上で以下の式で求めている。

$$\text{類似度} = \frac{(\text{最長共通部分列の総文字数}) \times 2}{\text{二つの解答の総文字数}} \times 100$$

表 2 機能追加の経緯

Table 2 Improvement of facilities

	2008	2009	2010	2011
ユーザ認証			✓	✓
解答制限			✓	✓
アンケート	✓	✓	✓	✓
作問			✓	✓
採点		✓	✓	✓
採点支援			✓	✓
分析			✓	✓
HTML 出力			✓	✓
解答出力			✓	✓
採点者任命				✓
エクスポート			✓	✓
フィードバック			✓	✓
類似度判定				✓

表 3 問題表示機能追加の経緯

Table 3 Snippet types

	2008	2009	2010	2011
択一選択	✓	✓	✓	✓
多肢選択	✓	✓	✓	✓
テキストフィールド	✓	✓	✓	✓
テキストエリア	✓	✓	✓	✓
複数欄テキストフィールド		✓	✓	✓
行列 (択一選択)		✓	✓	✓
行列 (多肢選択)		✓	✓	✓
行列 (任意入力)		✓	✓	✓
ファイルアップロード			✓	✓
画像アップロード			✓	✓
ソースコードアップロード				✓
説明文		✓	✓	✓
画像		✓	✓	✓
添付ファイル			✓	✓
ソースコード例				✓

また、問題によっては、コピーをしていなくても解答同士が似通うことがあるので、比較した解答および答案群における解答間の類似度から偏差値を求め、著しく類似している解答を探しやすくしている。図 5 は、類似度判定結果の例である。左右に解答を表示し、共通文字列に色付けして表示している。採点者が目視で類似していると確認した場合には、採点メモとして類似度を採点結果に記録しておくことができる。

著者らは、電子試験サーバーの機能を 2008 年度から漸進的に拡張してきた。表 2 は、主な機能の年度ごとの追加状況を表しており、表 3 は、配置要素の年度ごとの追加状況を表している。

## 6. 電子試験サーバ利用の長所と短所

### 6.1 長所

実際に 5 年間授業を実施したところ以下の点で電子試験

サーバの便利さを実感した。

- (1) 小テストの結果の共有を簡単に行える
- (2) 過去の小テスト結果の閲覧が簡単に行える
- (3) 出席管理が簡単に行える
- (4) 宿題の提出状況管理が簡単に行える (2011 年度以降)
- (5) 答案用紙を持ち歩かなくて良い
- (6) 問題別採点機能および自動採点機能により採点の効率上がる (2010 年度以降)
- (7) 学生への素早いフィードバックを行える
- (8) 小テストおよび期末試験の問題票の変更を容易に行える

便利な点の (1) から (5) までは、電子試験サーバを用いることにより、答案の収集、電子化、集計を手で行わなくても良くなったことに由来している。電子試験サーバを用いることで、ミニツツペーパー [7] (著者らの授業では小テスト) の利用が簡単になる。(6) の「採点支援機能」は電子試験ならではの利点である。この (1) から (6) の結果、(7) の「学生への素早いフィードバック」が実現できた。具体的には、直前の授業の小テストで得られた学生の理解度に基づき、演習で復習する内容を休み時間の間に変更したり、採点が終わり次第、次の授業を待たずに採点済み答案の返却を行うことができた。

(8) の「容易な問題票の変更」は、紙を用いない電子試験の利点である。紙の答案を用いた電子試験としてマークシートを用いた方法があるが、印刷のコストを考えなければならない。このため、授業ごと、あるいは、小テスト・定期試験ごとに異なるマークシートを用意するのは難しい。しかし、紙を一切用いない電子試験サーバならば、自由に小テストや期末試験の問題票を変更することができる。

### 6.2 短所

一方で、電子試験サーバを利用する際の短所は以下のとおりであった。

- (1) 全受講生が解答用端末を持っていないなければならない
- (2) 全受講生の解答用端末がネットワークに接続できなければならない
- (3) 全受講生の解答用端末をつなぐ電源がなければならない
- (4) 全受講生が電子試験サーバを利用して解答できる IT スキルを持っていないなければならない
- (5) 授業で利用しやすい電子試験サーバソフトウェアを準備しなければならない
- (6) 電子試験サーバを動かすために十分な性能をもつハードウェアを用意しなければならない
- (7) 解答用端末やネットワークのトラブルに対応しなければならない
- (8) 出題できる問題が制限される
- (9) 自動採点機能にひきづられ採点基準が変わる

(10) 過去問や類似問題の解答を丸写しする受験生が増える  
(11) 紙ベースの試験では存在しない新たな不正行為への対応が必要となる

(1) から (6) をまとめると「授業に電子試験サーバを導入するコストが高い」といえる。成績評価に関わる試験は、受講生全員が公平な条件で受験できなければならない。このため、(1) から (6) の条件のどれか 1 つでも欠けていたら、電子試験サーバを授業で利用するのは難しくなる。

著者らの授業では、2 節で述べたように (1) から (4) の条件は満たしていた。しかし、電子試験サーバの利用環境が整っていても、環境や電子試験サーバの利用法について受講者に説明する必要がある。たとえば、2008 年度と 2009 年度は、新入生が持っているラップトップ PC を学内無線 LAN に接続するための講習会が全学規模では行われていなかった。このため、著者らの担当授業中に無線 LAN アクセスポイントへの接続の仕方の説明を行う必要があった。この時の説明には 1 コマ分 (90 分) の時間が必要であった。また、現在でも電子試験サーバに慣れる練習 (理解度確認テスト) を 1 から 2 コマ分使っている。

また、著者らは実際に使いながら漸進的に機能の追加を行った。このため、(5) と (6) の条件も満たすことができた。しかし、授業担当教員が全員、Web アプリケーションの開発を行える技術や時間を持っているわけではない。一方で、電子試験サーバを使う前に自分の授業に必要な機能を列挙するのは難しい。また、電子試験サーバを動かすハードウェアの確保も多くの授業担当教員にとって簡単ではない。

(7) の「解答用端末やネットワークのトラブル」については、試験の公平性を保つためにも対応しなければならない。実際に起こったトラブルは以下のとおりである。a) OS のセキュリティパッチの適用やウイルス定義ファイルの更新が自動的に行われ、数分～数十分間ラップトップ PC が使用できなくなった。b) 無線 LAN アクセスポイントで処理できる量を越えたアクセスがあり、無線 LAN に接続できなくなった。c) 試験終了間際にアクセスが急増し電子試験サーバが応答しなくなった。a) については紙媒体を用いた試験における筆記用具の準備の不備と考え、事前に十分に注意喚起した上で、基本的に対応しなかった。しかし、2010 年度から 2 段階締切り制 (詳細は 6.3 節で述べる) を導入したため、救済措置は整っている。b) については、大学の担当部署と相談し、無線 LAN アクセスポイントを増やした。c) については、ハードウェアおよびソフトウェアを改善するとともに、試験の終了時間を数分延ばすことで対応している。

(8) の「出題できる問題の制限」が発生する理由は、現在の電子試験サーバの実装では、数学記号や図形を含んだ解答を行うのが難しいためである。Web ブラウザ上で数式を記述する方法はいくつかあるが、習得には、ある程度の

学習が必要である。このため、記法の理解度で試験の出来に差ができてしまう。また、図形による解答を行うためには、図形描画ソフトウェアを使用しなければならない。数式の記法と同様に図形描画ソフトウェアの使用知識・経験の有無でも試験の出来に差ができてしまう。数式の記法や図形描画ソフトウェアの知識で試験の出来に差ができないようにするには、数式や図を極力使わない問題を考えなければならない。この結果、出題できる問題の種類が制限されてしまう。著者らの授業の場合、解答に必要な数学記号が複雑ではないため、どの記号をどう表現するのかを解答者自身に定義させた上で、ASCII 文字を使った任意の記号で解答させている。また、グラフを答えさせる問題についても、隣接行列および接続行列の形式で解答させているため、図形を用いた解答を行う必要はない。

(9) については、自動採点機能を導入することで、採点基準が厳しくなってしまった。現在の自動採点機能では、部分点を自動的につけられない。このため、自動採点機能の利点を享受しようとする部分点をつけないことになり、採点基準が厳しくなってしまった。部分点も自動で与えられれば良いのだが、多様な部分点付与シナリオに対応した自動採点機能を実現するのは難しい。たとえば、配点 3 点で、5 つの選択肢  $A, B, C, D, E$  がある多肢選択問題において、正解の選択肢  $A, C, D$  であったとする。このとき、解答が  $A, C, D$  のどれかであった場合は、1 点が部分点として与えられるのは多くの人にとって異論がないと思われる。しかし、解答が  $A, B, C, D, E$  であったとき、2 つ多く選んでいるので部分点 1 点とするか、余計なものを選んでしまっているため 0 点とするかは採点者の考えによる。また、配点が 4 点だった場合、どのように部分点を計算するのも難しくなる。

(10) について、ある年度の期末試験において、ネット上の掲示板にかかれた過去問の解答を丸コピーする受験生が大量に発生した。図 6 は、当該問題、その解答例として、丸コピーされた解答 (以下、コピペ解答) である。この問題は前年度にも出されていたため、前年度終了時に受験者が Web 上の掲示板に問題と自分の解答を記述していた。それを、当該年度の受験者が期末試験前に見つけ、資料として持ち込んでいたようである。受験者 100 人中 14 人がこの解答を利用していた。問題の答えが分からないとしても、このコピペ解答は、a) 反例が何に対しての反例なのかの説明がない b) 用語の使い方がおかしい (「関係は定義域に必ず存在する必要がある」など)。もし、コピペ解答をちゃんと読み、意味を理解しようと試みるならば、この解答をそのまま使うはずはない。しかし、多くの学生はコピペ解答をそのまま解答とした。ワードプロセッサを利用して作成するレポートと同様に、コピーする対象を吟味することなく、コピーする行為は電子試験でも行われやすい。さらに、電子試験は試験問題も電子化されているため、過

**命題**  
有限集合  $A$  から有限集合  $B$  (ただし,  $|A| > |B|$  とする) への任意の写像  $f$  に対して,  $f(a_1, b)$  (すなわち  $f(a_1) = b$ ) かつ  $f(a_2, b)$  (すなわち  $f(a_2) = b$ ) となるような  $a_1, a_2 \in A$  が必ず存在する

**問題**  
上記の命題中にある写像  $f$  を関係  $R$  で書き換えると, 書き換えられた命題は成立するか? なぜ成立するか, あるいは, なぜ成立しないのかの理由を明確に述べよ.

**解答例**  
成立しない. 集合  $A$  のどの元にも集合  $B$  の元がただ 1 つだけ対応しているとき, その対応のことを集合  $A$  から  $B$  の写像という. 一方で, 集合  $A$  から  $B$  の関係  $R$  は,  $R \subseteq A \times B$  である. このため,  $A$  の元である  $a$  に対応する  $B$  の要素が存在しない関係  $R$  が存在し得る. よって,  $|A| > |B|$  であっても,  $R'(a_1, b)$  かつ  $R'(a_2, b)$  となるような  $a_1, a_2 \in A$  が存在しない関係  $R'$  が  $A$  から  $B$  の関係として必ず存在する. 以上より, 命題は成立しない.

**コピー解答**  
成立しない. なぜなら, 以下の反例があるから. 反例:  $\{(a_1, b), \{\emptyset\}\}$ . 理由: 関係は定義域に必ず存在する必要があるが, 写像はその必要がない. よって, 定義域は  $\emptyset$  だろうが,  $\{a_2, b\}$  がなかろうが「関係」の条件は満たす. しかし, 定義域が  $\emptyset$  という場合や,  $a_1$  しか存在しない場合ならば, 与式の前提条件を満たさないで, 成立しない

図 6 コピー解答例

Fig. 6 An example of copied answer.

去問としてコピーしやすくなる.

不正行為は, 電子試験サーバを用いることで, より行いやすくなった不正行為と新たに考慮する必要がでてきた不正行為がある. 前者は答案の覗き見, 他者との相談, そして, なりすまし・代理解答である. 後者は, 試験会場外での解答である. 不正行為については 6.3 節で述べる.

### 6.3 不正行為の防止

電子試験サーバを用いることでより行いやすくなった不正行為と新たに考慮する必要がでてきた不正行為は以下の 4 つである.

**答案の覗き見:** ラップトップ PC を用いて解答を行う場合は, 画面を解答者の視線に対して 90 度前後になるようにする. このため, 解答者の前方および横の席からは答案の覗き見が難しくなるが, 解答者の後方列の席からの答案の覗き見はしやすくなる.

**他者との相談:** 電子試験サーバを用いるため, 各自の解答端末はインターネットに接続されている. また, 動画, 音声, テキスト, 画像など各種データをやりとりできるソフトウェアも数多く存在する. このため, 試験監督の目を盗み, データのやりとりを他者で行うのは従来に比べて簡単になっている.

**なりすまし・代理解答:** 答案用紙を用いた試験よりも, 電子試験サーバによる試験の方が答案と解答者本人を結びつけるのが難しいため, なりすましや代理解答を防ぐのが難しくなっている. 特に, 電子試験サーバは, Web 経由で「試験会場外での解答」を行うことができるため, 代理解答を防ぐのがより難しくなっている.

表 4 不正行為と防止策の対応

Table 4 Cheating and prevention measures.

	覗き見	相談	代理解答	会場外解答
別表示				✓
試験監督	✓	✓		✓
追加問題		✓		
2段階締切	✓	✓	✓	✓
異なる問題	✓	✓		
オフライン		✓	✓	✓
類似度判定	✓	✓		

試験会場外での解答: 従来は, 問題の配布および答案の回収が試験会場のみで行われていたため, 試験会場外での解答を考える必要はなかった. しかし, 電子試験サーバを用いた試験では, 問題の配布および答案の回収は Web 経由で行うため, 試験会場外でも問題の取得および答案の提出を行うことができる.

上述の 4 つの不正行為を防止するため, 一時的および恒常的な防止策をいくつか実施した. 防止策は電子試験の実施方法に属するものと, 電子試験システムに属するものに分けられる. 電子試験の実施方法の工夫による防止策は, アクセスパスワードと問題の別表示 (2008 年度 ~), 試験監督の増員 (2008 年度 ~), 追加問題の導入 (2008, 2009 年度), 2 段階締切り制の導入 (2010 年度 ~) の 4 つである. 電子試験システムの変更による防止策は, 受験者ごとに異なる試験問題を出題 (2008 年年度), USB フラッシュメモリを使用したオフライン電子試験の実施 (2009 年年度), 類似度判定の導入 (2012 年度 ~) の 3 つである. 不正行為と防止策の対応は表 4 のようになっている. 電子試験の実施方法による不正行為の防止に比べて, 電子試験システムの変更および機能追加による不正行為の防止は開発および試行の手間がかかるため実施が難しかった.

電子試験の実施方法の工夫による防止策について説明する. 小テストの試験会場外解答を防ぐために, 小テストに解答するために必要なパスワードと小テストで答える演習問題を別表示した (小テストの内容については図 1 を参照のこと). しかし, この防止策は不十分であり, 友達にパスワードと問題だけをメールで送ってもらい試験会場外解答を行っていた学生も何名かいた. そこで, 期末試験の際には試験監督が受験者を学生証を用いて確認し, 試験会場外受験が行われていないかを確認するようにした.

また, 期末試験の試験監督を 1 名増やした. 試験監督は巡回して使用が許可されたソフトウェア (Web ブラウザ, テキストエディタ, PDF ビューア) のみを使用していることを確認する. また, 問題用紙を用いた試験と同様に覗き見, 相談, なりすましの防止を行う. しかし, 目視では許可していないソフトウェアの使用を完全に防止するのは難しい.

2008 年度と 2009 年度は, 任意に解答できる問題を追加

出題した。追加問題は正解した分だけその得点が試験の総得点に加えられる（間違えても点数は減らされない）。この試みは、得点をとれないから不正行為を行う気になると考え、正当な手段で得点をとる機会を提供し、不正行為を行う動機を削ぐのが目的であった。しかし、追加問題に挑戦する学生が少なかったこと、また、採点コストが高かったことから、2010年からは別の防止策を行うことにした。

2010年度からは、期末試験を2段階の締切りで実施した。試験時間は2コマ分180分で実施した。最初の90分は試験監督あり、解答場所の制限あり、相談は禁止という通常の期末試験と同様に実施した。後半90分は、試験監督なし、試験の解答場所の制限なし、相談可能という条件で実施した。ただし、後半90分に解答した場合は、総得点から減点することとした（2010年度は31点、2011年度から21点を減点した。減点して負の値になった場合は0点とする）。これも正当な手段で得点を獲得できる手段があるならば、不正行為はしないであろうという考えに依っている。

電子試験システムの変更による防止策について説明する。2008年度に覗き見防止のため、受験者ごとに異なる試験問題を出題するようにした。具体的には、受験者の学籍番号に応じて、1) 大問の順番が異なる 2) 一部の小問において、集合の要素、および、グラフの節、辺・弧に割り振られているラベルとして使われているアルファベットが異なるというものである（例えば、「集合  $A = \{a, b, c, d\}$ 」において以下の問いに答えよ」という問題があったときに、解答者ごとに「集合  $B = \{s, t, u, v\}$ 」や「集合  $C = \{w, x, y, z\}$ 」と問題が表示される）。紙ベースの場合、この方法では出題も採点も大変であり実用的ではない。一方、電子試験ならば、元となる問題のパターンを用意すれば出題も採点も簡単である。しかし、この防止策をさまざまな授業の電子試験に使用できる汎用電子試験サーバの機能として実現するのは難しかったため、2009年度以降の電子試験サーバの作り直しの際に採用しなかった。

2009年度は、他者との相談、なりすまし・代理解答、試験会場外での解答を防ぐために、USBフラッシュメモリを使用したオフライン電子試験の実施を試みた。具体的には、USBフラッシュメモリ上に1CD Linuxを配置し、その1CD Linux上で電子試験サーバの解答部分のみを動かようにした。これにより、同一OS、同一ソフトウェア、かつ、オフラインという環境を実現できた。しかし、この電子試験システムを用いて予行練習を行ったところ、88名中15名しか解答を行えなかった。解答できなかった主な理由は、ハードウェア的にUSBフラッシュメモリからOSの起動ができなかったことと、画面の解像度が適合していないことであった。これは、受講生が持っているラップトップPCの種類がバラバラであったためである。また、BIOSでOS起動のためのデバイスの読み込み順序を変更すると

いう操作を教えることだけでも、30分～40分の時間が必要となってしまった。このことから、USBフラッシュメモリを使用したオフライン電子試験は授業で実施するには難しいと判断し、以後は行わなかった。

2012年度は、答案の覗き見や他者との相談による解答の検出および抑止力のために類似度判定機能を導入した。類似度判定機能の詳しい説明は5節にある。

答案の覗き見や他者との相談をより簡単にするハードウェア（たとえば、Bluetoothによるワイアレス機器）やソフトウェア（IP電話サービスやリアルタイム動画配信サービスなど）が登場していることから、実施方法による不正行為の防止策は徐々に効果が薄くなると考えられる。このため、機能の追加は大変ではあるが、解答者ごとに問題を変更する機能やUSBフラッシュメモリを用いたオフライン電子試験などの電子試験システムの変更による不正行為の防止策を恒常的なものにしていくつもりである。

## 7. おわりに

本稿では2008年から大学1年生向け情報系数学科目の授業に導入した電子試験サーバによる電子試験について報告した。電子試験サーバの利用により、導入当初の目的の授業担当者間での学生の理解度の共有は簡単に行えるようになり、ミニツツペーパーを利用した授業を負荷なく実現できている。また、著者らの担当授業での要求に合わせて電子試験サーバの機能を拡充していったため、宿題の提出や期末試験の実施も問題なく行えている。

一方で、電子的に保存しておいた資料の丸コピーや答案の覗き見、他者との相談、なりすまし・代理解答、そして、試験会場外での解答の防止については、今後も課題として取り組む必要がある。

## 参考文献

- [1] Cheng, J., et al: ENQUETE-BAISE: A General-Purpose E-Questionnaire Server for Ubiquitous Questionnaire, *Proc. the 2nd IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC '07)*, Tsukuba, Japan, IEEE Computer Society Press, pp. 187–194 (2007).
- [2] Cormen, T.H., et al: *Introduction to Algorithms, 2nd Ed.*, chapter 15.4, pp. 350–356, The MIT Press, second edition(2001).
- [3] Drupal.org Projects: Drupal, available from <http://drupal.org/> (2013.05.31).
- [4] R. J. ウィルソン: *グラフ理論入門* 原書第4版, 近代科学社 (2001).
- [5] 国立情報学研究所: NetCommons, 入手先 <http://www.netcommons.org/> (2013.05.31).
- [6] 先端情報システム工学研究室: ENQUETE-BAISE, 入手先 <http://www.aise.ics.saitama-u.ac.jp/enquete/> (2013.05.31).
- [7] B. G. デイビス, R. ウィルソン, L. ウッド: *授業をどうする! カリフォルニア大学バークレー校の授業改善のためのアイデア集*, 東海大学出版会 (2002).