

## 電子透かしを活用した手書き文書と Sakai の連携

常盤 祐司<sup>†1</sup> 宮崎 誠<sup>†2</sup> 山田 勇樹<sup>†3</sup> 佐藤 悦志<sup>†4</sup>

†1 法政大学 情報メディア教育研究センター (yuji.tokiwa.dc@hosei.ac.jp)

†2 法政大学 情報メディア教育研究センター (makoto.miyazaki.dc@hosei.ac.jp)

†3 兼松エレクトロニクス株式会社 (y-yamada@kel.co.jp)

†4 富士ゼロックス株式会社 (Etsushi.Sato@fujixerox.co.jp)

**概要**：多人数クラスにてテストを実施する場合、収集したテストのソート、成績の記録、学生への返却等で教員に多くの負担がかかる。それらを解決するために教員がテストを採点后、複合機でスキャンすることによって教員には学生番号順にソートされた一式の PDF ファイルが送られるとともに、学生には授業支援システム(Sakai CLE)を通じて採点後のテストが返却されるシステムを構築した。ここで利用される主たる技術は授業情報および用紙方向情報などをテスト用紙に埋め込む電子透かしである。この用紙に書かれた手書きの学生番号および教員の採点情報を複合機の OCR 機能にて文字情報として読み取り、それらの情報を複合機から授業支援システムに Web サービスを用いてデータを転送するものである。これにより教員の負担が削減されるとともに、従来は ePortfolio のデータとして利用できなかった手書き文書の活用が可能となることが期待される。

### 1 はじめに

米国の大学に比べ IT を活用した教育の展開が遅れていた日本の大学でも IT の活用が進みつつあり、Moodle, BlackBoard, Sakai などの授業支援システムを例にとると 2010 年度には 2,699 ある学部研究科の 40%にあたる 1,084 の機関が授業支援システムを導入しており 2009 年度から 2010 年度にかけて 4.5%も増加している[1]。法政大学においても 2002 年度に一部の学科に授業支援システムが導入された後、学部、キャンパスへと年々範囲が広がり 2007 年度からは全学で利用できるようになるとともに 2011 年度にはオープンソースソフトウェア(以下、OSS)の Sakai CLE に移行し現在に至っている。しかしながら 2007 年度の全学展開以降年々増加の一途をたどっていた教員の利用率が 2010 年度以降減速し、その利用率は専任教員の 50%程度にとどまっている。一方、昨今では ePortfolio を取り入れた教育方法が注目されてきており、学習成果が蓄積される授業支援システムの利用率向上が望まれている。

筆者らは授業支援システムの利用が進まない理由として授業支援システムへの移行が困難な教育方法あるいは授業支援システムに移行しないほうが良い教育方法があると考えた。前者は理工系授業に多い数式を取り扱うテストであり、後者は授業の終わりに実施する出席を兼ねた小テストなどがある。これらのケースいずれも紙メディアに

フリーハンドで手書きするケースであり、教員および学生にとって簡便に実施できる特性を持つ。手書きが必要となる場面の IT 化として米国では Tablet PC をすべての学生および教員に配布して対応している事例[2][3]がある。また日本では Tablet PC ではなくデジタルペンを活用した事例[4][5]として報告されている。しかしながら Tablet PC あるいはデジタルペンなどのシステムが前提となると本学のような大規模大学では設備的な観点から全学的な展開が困難である。そのため授業では従来通り紙メディアを利用して、手書き情報をデジタル化することが望まれる。このアプローチによる研究として二次元コードを演習用紙に印刷して授業支援システムと連携させた事例を永井が報告している[6]。この研究では学生に配布する用紙にあらかじめ科目番号、学生番号、氏名といった分類情報を二次元コードとして印刷し、授業後に記入済用紙をスキャンし二次元コードの情報をもとにしてデータを授業支援システムの適切な場所に配置するシステムが報告されている。このシステムの利用上の制約として、学生番号を二次元コードとして印刷するので、その用紙を決められた学生に配布する必要がある。ただし、この研究は手書きメディアとして紙を利用しており現状の授業への適用が最も容易な方法だと考えられる。

しかしながら本学では 100 人を超える授業があり、学生ごとに決められた用紙を授業中に学生に

配布する手間が課題となると容易に想像がつく。

先に述べたように本学では Sakai CLE を全学的に展開しており、Sakai CLE を基盤として活用し多人数授業の利用にも耐えるシステムを検討していたところ、スキャナ、プリンタ、FAX、コピー機能を有するデジタル複合機(以下、MFP; Multi Functional Peripheral)と、それに付属する電子透かし、OCR、通信機能を組み合わせることにより手書き文書を Sakai CLE に取り込みことができる提案を受けた。そのため Feasibility Study としてこれらのテクノロジーを活用した実験的なシステムをアジャイル手法で構築し、全学展開については実験結果を踏まえて検討することとした。

本報告では構築したシステムの概要を説明するとともに実証実験で得られた知見を報告する。

## 2 テクノロジー適用シナリオ

授業において手書きが発生するユースケースとして多くの大学でも馴染みのある小テストを兼ねた出席票を例にとって今回用いるテクノロジーの適用について述べる。

小テストを兼ねた出席票はしばしば授業終了時にその授業回の振り返りのために利用される。本学では A5 用紙を用いた出席票が利用されており、上段に科目、教員、学科、月日時限、学生証番号<sup>1</sup>、氏名、フリガナ、評価などを記載する欄がある。この欄の下部には紙面の 70~80%を占めるフリースペースがある。この出席票の利用は教員によって必ずしも同じではないが概ね次のようになる。

授業前に立ち寄る講師室に用意されている出席票を学生数分受け取り教室に向かう。教室にて授業を行い授業終了 15 分位前に用意した出席票を学生全員に配布し、教員が課題を与える。学生は学生証番号および氏名など自身の属性を記載した後フリーハンドで出席票のフリースペースに回答を記述し、授業終了直前に教員は出席票を回収する。その後教員は研究室等に戻り、赤ボールペン等にてコメントを記載する。必要に応じ採点を行い、成績管理表に出席および点数を記載する。学生への返却は翌週の授業にて行う。

以上が小テストを兼ねた出席票の利用概要で

<sup>1</sup> 法政大学では一般的に学生番号と言われている学生に付与された固有の番号を学生証番号としている。

あるがこのプロセスに対して MFP および授業支援システムで提供できるテクノロジーの適用シナリオを以下に示す。適用する特長的なテクノロジーについては下線で明記する。

- 当日配布する出席票を MFP で印刷する。この際、授業コード情報および用紙の天地方向を電子透かしとして印刷する。
- 学生が手書きし、かつ教員が採点した出席票を MFP にてスキャンし、出力される PDF を MFP に一時的に保存する。
- 学生が手書きした学生証番号および教員が採点欄に手書きした点数を OCR にて数値化し MFP に一時的に保存する。
- Sakai CLE と MFP に Axis フレームワーク を用いた Web サービス を実装し、MFP から授業支援システムに PDF および点数を転送する。この際、授業コードおよび学生証番号をキーにしてそれぞれの学生の課題領域に PDF および点数を割り付ける。課題名はタイムスタンプを利用する。
- 学生は授業支援システムにアクセスして PDF 化された採点済出席票に記載された教員のコメントおよび点数を確認する。

以上、テクノロジーの適用について述べたが、「1 はじめに」で述べた永井の研究との違いを整理すると次の 3 点となる。

- 二次元コードの代わりに電子透かしを利用する。
- 学生証番号は用紙に印刷せず学生が手書きした学生証番号を OCR にて読み取る。
- 授業支援システムと MFP は Web サービスにて連携する。

## 3 電子透かし

本研究の特長的なテクノロジーの一つは電子透かしである。これまで電子透かしは DRM (Digital Rights Management) 等で利用されていたが、IT を活用した教育に適用されたことはなかったと思われる。ここでは電子透かしの概要を述べ、その中で本研究における適用方法を示す。

### 3.1 概要

本研究では富士ゼロックスが開発した電子透かしを利用する。これは図 1 に示すようにプリント出力文書の背景に人間の目には見えにくい微細な点を描画することで情報を埋め込む技術である。



図 1 電子透かし技術

これにより、既存の原稿レイアウトのまま、画質を損なうことなく情報を埋め込むことができる。本技術は元々プリント出力文書に追跡情報を埋め込むことによる紙文書による情報漏洩抑止のために研究開発されたが、本研究では追跡情報の代わりに授業支援システムとの連携に必要な情報を埋め込むことで紙文書入出力業務の効率化と学習効果の向上に応用した。

同種の技術として二次元コードを印刷することで、情報を埋め込む技術が一般化している。本研究で利用した電子透かしと二次元コードの比較を表 1 に示す。

表 1 電子透かしと二次元コードの比較

項目	電子透かし	二次元コード
画質劣化	わかる程度	
原稿レイアウト自由度	既存原稿を使用可能	印刷位置の確保必要
情報削除の困難性	困難	容易
情報容量	数十バイト	数百バイト

### 3.2 適用方法

本研究で利用した電子透かし技術は、原理的には数十バイトのデータを符号化し印刷することができる。しかし、データ量が増加すれば、それだけ多くの点描が必要となる。本技術は紙文書の追跡技術として開発された経緯もあり、現時点では汎用一意識別子である UUID (RFC 4122) と同じく 16 バイト数値情報を埋め込むことができる。しかし、システムを稼働するためには Sakai CLE と連携するための授業コードや教員の情報や集計処理が完了したことを通知するためのメールアドレスなどの情報が必要となる。

本システムを利用する教員は MFP に装備された操作パネル上に作成された専用のユーザインターフェース(以下、UD)から自分の名前と授業を選択し出席票の出力部数を入力するとプリント処理を行う。この際 MFP 制御システムではその後の処理に必要な情報として一意のセッション ID を生成し授業コード属性などとともにデータベースに格納する。この処理の後、その ID を電子透かしとして出席票の画像に重ね合わせて印刷処理を行う。教員は印刷された出席票を授業で使用し、採点を行った後に MFP の操作パネルにてスキャン指示を行う。MFP からスキャンされたデータが MFP 制御システム側に送信されると印刷時に付与した一意の ID が電子透かしから復号され、その ID をデータベースに問合せることでプリント時に格納した授業コードなどの Sakai CLE との連携に必要な情報、OCR にて文字認識するフォームの特定、集計処理完了後の通知先の特定を行う。

## 4 システム概要

### 4.1 システム構成

本研究で構築したシステム構成を図 2 に示す。MFP は富士ゼロックス社ネットワーク対応 MFP ApeosPort-IV C2275 とし、OCR 機能を提供するスキャン機能拡張キット、および授業コードなどの入力に備え大型カラー操作パネルを追加した。この MFP は製品版であり本研究で開発する機能を追加しにくいためフロントエンドとして MFP 制御システムを設置している。授業支援システムは CentOS 6.2 上に法政大学版にカスタマイズした Sakai CLE 2.7.1 を導入した。

### 4.2 MFP 側アプリケーション

MFP には基幹システムと連携するために XML/SOAP によるインタフェース拡張機能、JavaScript/Ajax、Web UI 外部アクセス機能など

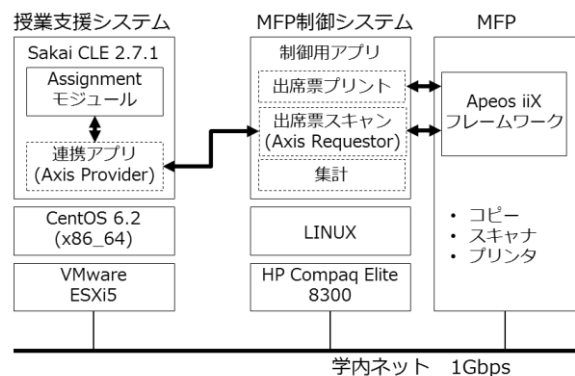


図 2 システム構成図

をサポートする Apeos iiX フレームワーク [7] が搭載されている。本研究ではこの Apeos iiX フレームワークを利用し MFP 制御システムと MFP を連携動作させており、以下のような機能を持つアプリケーションを MFP 制御システムに実装した。

- 出席票プリントアプリケーション

MFP の操作パネルには Web ブラウザが組み込まれているため UI を JavaScript で記述した。ブラウザに表示される教員データは Ajax により制御システム側と連携動作する。教員がブラウザに表示されるスタートボタンを押下すると選択された情報が SOAP メッセージとして制御システムに通知される。MFP 制御システムは通知された授業コード、教員データをデータベースに格納し ID を生成する。この ID を基に電子透かしの画像を生成し出席票原稿の画像と合成し MFP にプリント指示を行う。

- 出席票スキャンアプリケーション

プリントアプリケーションと同様に集計専用の UI を JavaScript により実装した。教員は自動給紙装置に集計したい出席票を置き MFP の操作パネル上のスタートキーを押すだけで集計処理を行うことができる。スキャン処理が開始されると MFP 制御システムに画像が転送され不可視コードの復号結果から、学生証番号と点数の OCR 処理、Sakai への課題登録が行われる。全画像に対する登録処理が完了すると、次に教員が点数を確認するための CSV ファイルと学生証番号順にソートされた全出席票の PDF ファイルが作成され教員に対して処理完了の電子メールが送信される。電子メールには CSV および PDF ファイルに対して WebDAV でアクセスするための URL を記載した。

- 集計アプリケーション

電子メールで完了が通知されると教員はメールに記載された URL から WebDAV によりソートされた出席票 PDF と CSV ファイルにアクセスすることができる。実際には、CSV ファイルだけではなく OCR した画像を切り出し CSV と画像を ZIP ファイルにより圧縮したものが公開される。また教員の手間を軽減するために、この ZIP ファイルを Microsoft® Excel® により表示するためのソフトウェアを作成した。

### 4.3 Sakai CLE 側アプリケーション

本研究では Sakai CLE の課題機能との連携を行ったが、Sakai CLE には以下の機能が標準で備わっている。

- 教員が学生に対して課題を出題する。
- 学生がレポートを提出する。
- 教員が学生のレポートを添削し点数を付ける。
- 教員が添削結果を、添付ファイルとして学生へ返却する。
- 教員が学生へ返却する際に、学生へメールで通知する。
- 学生が、点数や添削結果を参照する。
- 教員が課題の種類として「非電子的」を設定できる。これにより、Sakai CLE 以外で提出されたレポートも扱うことができる。

更に Sakai CLE には外部システムと連携するための標準的なインタフェースの一つとして Axis フレームワークを用いた Web サービス機能がある。既に国内外において Web サービスを用いて独自のアプリケーションを実装することにより Sakai CLE と外部システムとの様々な連携が実現されている [8]。本研究においても MFP と連携する独自のアプリケーションを Web サービスとして実装することで Sakai CLE の他のモジュールへは一切手を加えることなく連携を実現した。

実装したアプリケーションへは以下の情報が MFP から転送される。

- セッション ID

Sakai CLE の Web サービス機能において、必須の情報である。MFP からアクセスされたことを識別し、それ以外の不正アクセスを制御するのに用いている。

- 学生証番号

学生が手書きし MFP 制御システムにて OCR 認識したものである。法政大学版の Sakai CLE ではユーザ ID として学生証番号を用いているため、この情報により Sakai CLE 上の学生ユーザとの紐付けができる。

- 授業コード

学生が手書きし MFP 制御システムにて OCR 認識したものである。法政大学版の Sakai CLE には授業コードの属性を追加してカスタマイズしてあるため、この情報により Sakai CLE 上での科目単位である「サイト」と、実際の授業で使用される授業コードとの

紐付けができる。

- 課題名  
課題名は MFP にてスキャンした際のタイムスタンプとした。授業コードに紐付く「サイト」に、この名前で新たな課題を作成し、課題の種類として「非電子的」を設定している。Sakai CLE には課題を制御する内部インタフェースが標準で存在するため、既存の課題モジュールに一切手を加えることなく課題の作成が実現できた。
- 点数  
教員が採点し MFP 制御システムにて OCR 認識したものである。Sakai CLE 上の点数として、その値を設定している。
- PDF ファイル名、及びデータ  
教員が採点し MFP にてスキャンして生成された PDF のファイル名とそのデータである。データは MFP 制御システムにて Base64 ヘンコードされるため、それをデコードして、添付ファイルとして学生へ返却している。その際、学生へのメール通知も行っている。

MFP と Sakai CLE の連携を単なるファイル転送ではなく Web サービスで実装したことにより相互連携が実現した。即ち、学生が手書きした学生証番号や授業コードが誤っていた場合には、実装したアプリケーションから MFP へ適切なエラーコードを返すことにより教員に通知できる。

このように Sakai CLE 側は標準機能や法政大学版にカスタマイズした機能が十分に揃っているため今回開発した出席票アプリケーションを実装するための Sakai CLE の改修はなかった。

#### 4.4 システム利用モデル

構築したシステムの利用モデルを図 3 に示す。すでに「2 テクノロジ適用シナリオ」にて概要を述べたが、図 3 には教員が結果を一覧できる機能が追加されている。それは「Microsoft® Excel® 用に作成された学生別点数一覧データ」と「学生証番号順に並び替え、1 ファイルの PDF を生成した出席票データ」を生成する機能である。これらは MFP に付属した制御システムに格納され、メールにて教員に通知される URL アドレスを用いて WebDAV にてアクセスできる。

### 5 OCR 認識率に注目した実証実験

#### 5.1 目的

本研究では学生ごとに特定の用紙を配布するのではなく、汎用的な用紙に学生が手書きした学生証番号を OCR にて読取り、その学生証番号をキーにして様々な処理を行う。そのため学生証番号はできる限り 100%に近い認識率が望まれる。本研究ではシステム開発に着手する前に、教員から特別に指示することなく学生が任意に手書きした文字データに対する認識率を確認するための予備実験を行った。

#### 5.2 方法

筆者のひとりが担当する次の科目の 2012 年度前期末試験における試験用紙に記載される手書き文字を対象とした。

- ネットワークアプリケーション設計論（理工学部 3 年 65 名）
- マルチメディアコンテンツ（理工学部 4 年 18 名）

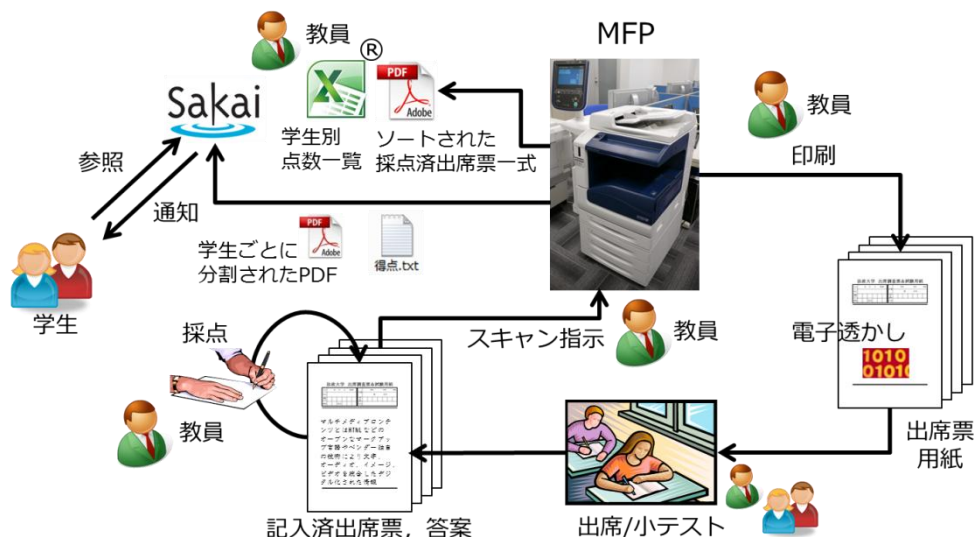


図 3 出席票におけるシステム利用形態

法政大学においては期末試験の用紙形式に標準的な形式はあるものの教員の希望によりある程度の変更ができる。そのため学生証番号欄については OCR で認識しやすいように次の変更を行った。

- 学生証番号記述欄は区切りのない一つの空白欄であったが、7桁の学生証番号の一文字ごとに区切って記述するように7つの空白欄とした。
- 学生証番号記入欄の高さを広げた。

期末試験は専従の職員により事務的に実施されるため、試験開始時に教員が学生に指示をすることができない。そのため、試験用紙に鉛筆もしくはシャープペンシルで記入される手書き文字は学生が普段通りに記載したものと考えられる。実際に学生によって記述された試験用紙のヘッダー事例を図4に示す。学生証番号欄および氏名欄は個人情報保護の観点から個人を特定できないように黒帯を施した。図中左上の24および右下の18は教員が手書きした採点結果である。

### 5.3 実験結果

記入済期末試験用紙を本システムで利用するMFPを用いてスキャンし、次の条件にてOCRによる文字認識を行った。

- 数字部分は「数字限定」、英字部分は「英大文字限定」指定した。
- 全面ではなく必要部分を元画像から切り出した画像を使用した。

また表2に示す次の5文字は予め取り除いた。

- 文字訂正のため枠内に複数文字が存在する。
- 文字の上に別の文字が上書きされている。
- 枠から文字の半分以上がはみ出している。

表2 OCR対象から外した画像

種別	画像
文字訂正	
重ね書き	
はみ出し	

OCRによる認識結果を表3に示す。学生は83人、教員は1名の教員が手書きしたデータを対象としている。なお、学生の画像数は7桁の学生証番号を分解して学生1人あたり7画像となっている。

表3 OCR認識結果

カテゴリ	画像数	正認識数	誤認識数	認識率(%)
全体	1091	1097	4	99.6
教員	510	507	3	99.4
学生	581	580	1	99.8

表3において誤認識だと判定された文字事例を表4に示す。0を6として認識した事例が2件、6を8、5を3として認識した事例がそれぞれ1件ずつであった。

表4 OCRにて誤認識した文字事例

ユーザ	教員			学生
文字形状				
認識	8	6	6	3
正解	6	0	0	5

図4 期末試験用紙ヘッダー事例

## 6 システム機能に注目した実証実験

### 6.1 目的および方法

開発したシステムを実際の授業に適用して機能要件を確認するとともに、使い勝手および処理時間などの非機能要件を確認する。

実証実験は次の2科目にて実施した。いずれも理系科目である。

- コンピュータ・サイエンス論 (デザイン工学 研究科修士1年 5名)
- 水力学 X (理工学部 3年 70名)

### 6.2 実験結果

#### (1) 機能要件および非機能要件

次に挙げる機能が正常に機能することを確認できた。

- 電子透かしを入れた出席票用紙の印刷
- 採点済出席票の学生配布用 PDF ファイル生成
- 学生証番号と点数の OCR による数値化
- 天地逆でスキャンした出席票の 180 度回転
- 教員用学生別点数一覧とソートされた出席票 PDF ファイルの生成
- 学生配布用 PDF ファイルと点数の授業支援システムへの転送
- 授業支援システムの所定の位置への PDF ファイルと点数の配置

永井の報告では二次元コードを付した用紙の印刷に1時間程度の時間を要していた。そのため非機能要件の確認としては時間に注目した。履修人数が多い水力学 X にて64名分の A5 出席票の印刷時間および採点済出席票のスキャン開始から Sakai CLE への PDF 転送が完了するまでの処理時間を次に示す。

- 用紙印刷時間： 3分23秒
- 採点済出席票処理時間：3分59秒  
処理時間内訳は、スキャン時間：59秒、OCR 処理：1分11秒、Sakai CLE への PDF 転送：1分49秒である。



図 5 採点済出席票が添付された学生画面事例

#### (2) 学生への結果配布

図 5 に Sakai CLE にて学生に配布された採点済出席票の表示事例を示す。点数は画面中央の「成績」に 1.0 として表示されている。また採点済出席票 PDF ファイルは画面下 PDF アイコンの右側に添付されていることがわかる。

#### (3) 教員への結果配布

教員に提供される学生別点数一覧を表示した事例を図 6 に示す。実装では左から、シーケンシャル番号、OCR で認識した学生証番号、スキャナで読み取ったイメージ形式の学生証番号、イメージ形式の氏名、OCR で認識した点数、イメージ形式の点数が表示される。この事例では 2 行目の学生の点数が教員の手書きでは 10 点であったにもかかわらず、OCR で読み取った値が 19 点となっていることがわかる。このように OCR の読取り精度は必ずしも 100%にならないことを前提として教員が OCR の対象となるイメージと OCR の認識結果を隣り合った列で表示するレイアウトは目視で確認しやすい形式であった。

NO.	ID	ID(Image)	NAME(Image)	SCORE	SCORE(Image)
1	3102	1203102	山田 太郎	18	18
2	3106	1203106	田中 花子	19	10
3	3109	1203109	佐藤 一郎	15	15
4	3112	1203112	鈴木 一郎	10	10

図 6 学生別点数一覧データ事例

## 7 考察

### 7.1 OCR 読み取り精度

本システムでは出席票において学生が手書きした学生証番号と教員が評価した点数をそれぞれ OCR で処理する。前者は Web サービスによる授業支援システムへの転送の際のパラメータとして、後者は学生評価に利用されるため OCR の読み取り精度は 100%に近いことが望まれる。5章で示した OCR 認識率に注目した実験では 99.8%の認識率となっているが、200 人の学生を対象とした場合 2.8 文字が誤認識となる可能性がある。これを 200 人の授業でも誤認識のない運用となる 0.5 文字の誤認識に抑えるための認識率は 99.96%程度であり、さらなる実験データの検証が必要となる。

### 7.2 想定すべきエラーへの対応

OCR の読み取り精度が 100 %であっても、学生自身が学生証番号を誤って記載することがある。また教員の採点についても訂正がある場合には取り消し線を引き、正しい点数を記載することがある。このような場合には正しいデータが得られないためプロセスが正常に完了しない。そのためすべてのプロセスを自動化してブラックボックス化するのではなく、結果を目視で確認するプロセスは省くことができないと考えている。その事例として図 6 で示したような一覧表を教員に対して提示する機能は全学的な展開になった場合でも必要となる。

## 8 おわりに

手書き文書をデジタル化して Sakai CLE と連携させることを MFP と電子透かしを用いて実現した。実証実験を行った 2 科目の授業にて開発した機能は問題なく機能し、パフォーマンスの観点からも実用に供することができることを確認した。

本報告では対象を出席票にとどめたがこれらのテクノロジーの適用対象としてはレポート課題あるいはテストなどが考えられる。またテストについては選択式であれば自動採点もできる可能性がある。特に 100 人を超える授業にて紙メディアでテストを実施している教員からは採点、成績表への転記などの作業軽減が望まれている。また、対象範囲の拡大だけでなく数千人の教員で 10,000 を超える科目を分担している本学への適用についても検討すべき課題は多い。

今後大学教育において紙メディアの利用がなくなることはないと考えられるが、ePortfolio などのアーティファクトとして手書き情報も重要になろう。本研究の成果を踏まえ出席票だけでなくレポートあるいはテストなどにも適用領域を拡大し、最終的には全学展開を目指し、その成果を OSS として公開していきたい。

## 参考文献

- [1] ICT 活用教育の推進に関する調査研究 業務委託報告書, 放送大学学園, pp188-189 (2011).
- [2] Huettel, L. G., Forbes, J., Franzoni, L., Malkin, R., Nadeau, J., Nightingale, K., Ybarra, G. A.: "Transcending the Traditional: Using Tablet PCs to Enhance Engineering and Computer Science Instruction", ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference (2007).
- [3] Romney, C. A.: "Tablet PC Use in Freshman Mathematics Classes Promotes STEM Retention", ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference (2011).
- [4] 今井純一, 山本大輔, 小松川浩: "デジタルペンを活用したリメディアル教育での授業デザイン", メディア教育研究 第 5 巻 第 1 号, (2008).
- [5] 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 46(9), pp2300-2310, 2005-09-15 (2005).
- [6] 永井孝幸: "QR コードを用いた演習用紙の効率的な電子コンテンツ化", 第 3 回 CMS 研究会, 2006-CMS-03, pp.77-84 (2006).
- [7] 富士ゼロックステクニカルレポート No.16 2006 年, "Apeos iiX", [http://www.fujixerox.co.jp/company/technical/tr/2006/p\\_01.html](http://www.fujixerox.co.jp/company/technical/tr/2006/p_01.html) (2006).
- [8] 宮崎誠, 喜多敏博, 小山田誠, 根本淳子, 中野裕司, 鈴木克明: "コンピテンシーの基づくカリキュラムに対応した e ポートフォリオシステム", 情報処理学会シンポジウムシリーズ IPSJ Symposium Series Vol.2012, No.4, 情報教育シンポジウム論文集 pp.147-154 (2012).