

論文

LMS 経由で手書きレポートを返却する Web サービス「かみレポ」の開発・評価

大平 茂輝^{1,a)} 清谷 竣也² 伊藤 瑠哉³ 岡本 康佑³ 谷川 右京³ 出口 大輔² 戸田 智基¹

受付日 2019年7月22日, 採録日 2019年11月13日

概要: 高等教育における学習支援システム (LMS: Learning Management System) の重要性は年々高まっております。授業改善や学習分析などさまざまな目的のために活用されています。一方で、数式の記述や作図を必要とする授業や演習、試験など、紙媒体を主体的に扱う教育・学習環境は依然として多く残っており、それらの活動を支援するシステムが強く求められています。そこで本研究では、LMS と連携して手書きレポートを返却する Web サービスの実現を目指し、2016 年度から「かみレポ」システムの開発を進めています。本稿では、半年間の試験運用時に実施した手書き数字の認識性能に関する評価と、運用開始後の 1 年 6 カ月間の運用評価をもとに、かみレポサービスの有効性と課題、今後の展望についてまとめる。

キーワード: 手書きレポート, LMS, 自動学生識別, OCR, Web サービス

Development and Evaluation of “KamiRepo” Web Service with Return of Handwritten Assignments via LMS

SHIGEKI OHIRA^{1,a)} SHUNYA SEIYA² RYUYA ITO³ KOSUKE OKAMOTO³ UKYO TANIKAWA³
DAISUKE DEGUCHI² TOMOKI TODA¹

Received: July 22, 2019, Accepted: November 13, 2019

Abstract: Learning management systems (LMSs) play an important role in higher education, and digital-education data in an LMS are used for class improvement and learning analytics. On the other hand, there are still many classes, exercises, and exams that handle paper media actively, such as writing mathematical formulas and drawing figures. Therefore, there is strong demand for supporting activities in these educational environments. We have been promoting the development of a web service called “KamiRepo” that returns handwritten assignments in cooperation with an LMS since April 2016. This paper describes the effectiveness of and issues with our service and its future prospects based on an evaluation on recognition performance of handwritten digit recognition conducted over a six-month period and the production operational evaluation conducted over a one-and-a-half-year period.

Keywords: handwritten assignment, LMS, automatic student identification, OCR, web service

1. はじめに

場所や時間の制約を受けずに個人に適した学習環境を提供するなど、従来の教育現場では実現困難であった課題を解決する可能性を持つ技術として、教育・学習環境への ICT (Information and Communication Technology) の導入・普及が進んでいる現在、次の段階として学習分析 (ラーニング・アナリティクス: Learning Analytics) に注目が集まっている。ラーニング・アナリティクスは、教育・学習活動の履歴を収集・分析することにより、教育者の授業改

¹ 名古屋大学情報基盤センター
Information Technology Center, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464-8603, Japan

² 名古屋大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464-8603, Japan

³ 名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University,
Nagoya, Aichi 464-8603, Japan

a) kami@media.nagoya-u.ac.jp

善や学習者の学びの質向上を目指しているが、多種多様な教育・学習環境から大量の活動履歴（教育ビッグデータ）を収集するためには、共通の ICT 基盤の整備が欠かせない。

ラーニング・アナリティクスにおける ICT 基盤としては、教育・学習環境をモニタリングするセンサツール群、学習履歴を蓄積する LRS (Learning Record Store) と分析ツール、無線 LAN 環境の整備や PC 必携化 (BYOD) などがあげられるが、それらと連携する学習支援システム (LMS: Learning Management System) の果たす役割は大きく重要性はますます高まっている。LMS は大学などの高等教育機関において整備が進んでおり、講義資料の配布や小テストの実施、出席確認やアナウンスなど、授業に関係するさまざまな目的のために活用されている。Web ブラウザを用いて誰もが簡単に情報へアクセスできることから汎用性は高いといえるが、電子的データ（ファイルやキーボードからの文字入力）をやりとりすることが前提となっており、電子ペーパーなど一部の先駆的な取り組み [1] を除いて手書きには対応していない。一方で、数式の記述や作図を必要とする授業や演習、試験など、紙媒体を主体的に扱う教育・学習環境は依然として多く残っており、それらの支援は十分ではないというのが現状である。そのため、紙媒体を扱う教育・学習活動を支援するシステムに対する需要は高いといえる。

そこで本研究では、LMS と連携して手書きレポートを返却する Web サービスの実現を目指す。我々は、2016 年より独自の名大版紙レポート連携システム「かみレポ」の開発 [2], [3] を行っており、2017 年度前期の試験運用を経て同年度後期より全学展開を通してシステムの課題整理と改良を進めてきた。本稿では、試験運用時に実施したシステムの精度評価と、運用開始後 1 年 6 カ月間の運用評価をもとに、かみレポサービスの有効性と課題、今後の展望について述べる。

2. 手書きレポートと LMS

2.1 従来技術

これまでに、手書きレポートを取り扱う研究がいくつか行われている。遠藤は、規定の用紙に学籍番号と科目コードを記入したものを OCR で読み取る方式の教育支援システムを 2001 年に導入している [4]。その後、学籍番号から生成したバーコードを読み取って e ポートフォリオシステム Mahara [5] と連携する「飛ぶノート」[6] を 2010 年から導入し、マークシート方式への変更 [7] を経て、2015 年からはシステム工房エム社と共同開発した「飛ぶノート出雲」[8] を運用している。

永井は、2001 年度より継続的に開発・運用を行っている、レポートの出題・採点・コメント付け・フィードバック作業を支援する授業支援システム (Web アプリ) に対して、科目番号・学籍番号・記入欄を表す QR コードの付加され

た演習用紙を効率的に取り込む機能を統合している [9]。

喜多らは、Moodle [10] のソースコードに機能追加を行い、印刷されたユーザ ID と課題番号を OCR で認識する「pdf2submission」[11] を開発している。その後、ユーザ ID と課題番号を埋め込んだ QR コードを認識することにより、識別不能率をほぼ 0 に改善した Moodle プラグインの開発 [12]、ユーザ ID の代わりに通し番号を埋め込んだ QR コードを発行してスマホなどでスキャンすることによりユーザ ID と通し番号を紐づける改良 [13] を行っている。

また、常盤らによる研究 [14], [15] では、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と、電子透かし、OCR、通信機能を組み合わせることにより、手書き文書を学生に返却するシステムを実現している。

Bloomfield らによる研究 [16] では、フッタ部分がマークシートになっている解答用紙をタブレットを用いて採点し返却する Web ベースシステム T-Pegs を開発している。マークシートには、所属・コース・試験科目・ページ・用紙デザインバージョンを識別するコードが埋め込まれており、学生は自分のユーザ ID を塗りつぶして提出する。

Singh ら [17] は、宿題や試験の手書き用紙をオンラインで採点する Web システム Gradescope を開発している。教員は、アップロードした解答用紙のテンプレートに対して、名前や回答を記述する欄を矩形選択し、設問名や部分点など課題のアウトラインを作成する。用紙には、マークシートや QR コードなどのマーカは印刷されず、スキャン後に Web ブラウザからページの分割・統合・入替や、認識された氏名との対応付けの修正を行う。

これらのシステムでは、既存 LMS とも連携しており、遠藤、喜多らのシステムは Moodle との連携が、常盤らのシステムは Sakai [18] との連携が行われている。各大学の環境やユーザの需要に基づいて最適なシステムが設計されているが、個別にみると、点数の読み取り機能がない、学生に個別のシートを配布しなければならない、紙媒体をスキャンする効率が悪い、読み取りに失敗した場合の確認・修正作業が同一アプリケーションとして提供されていないなど、サービスとしては不十分な点も残っている。

民生品としては、常盤らの研究に基づく富士ゼロックス社製の授業支援ボックス [19]、酪農学園大学とシステム工房エムが共同開発した飛ぶノート出雲 [20]、手書き認識と解答のカテゴリ化による採点の効率化や各種 LMS との連携機能を持たせた製品版 Gradescope [21] などのシステムが開発・販売されている。代表的な既存研究の最新の成果および民生品のシステムと提案システムの特徴をまとめたものを表 1 に示す。本学では 2016 年度に授業支援ボックスを試験的に運用した結果、1) 手書き数字認識に関しては実用に耐え得る認識精度が得られること、2) 採点済みの紙レポートを学生に返却する手間を省けること、3) 採点結果が自動的に LMS にアップロードされるため、採点結

表 1 代表的なシステムの特徴
Table 1 Features of representative systems.

	飛ぶノート 出雲	永井の研究 [9]	pdf2submission [13]	授業支援ボックス	Gradescope [21]	かみレポ
読み取り方式	マークシート	QR コード	QR コード	MISTCODE QR コード OCR	OCR	QR コード OCR
認識対象	学籍番号	学籍番号 科目番号	通し番号 (※ 1)	学籍番号 点数	氏名 (※ 2) 解答文	学籍番号 点数
LMS/ePortfolio 連携	Moodle Mahara WebClass	独自システム	Moodle	Sakai Moodle WebClass, 他	Canvas Blackboard Sakai, Moodle, 他	Sakai

※ 1 学生が QR コードをスマホなどでスキャンして Moodle にログインすることにより紐づけ, ※ 2 学籍番号はオプション

果の入力といった手作業にともなう労力およびミスを低減できること, 4) 受講学生にとっても LMS 上での紙レポートの管理が可能となること, といった数多くの利点を確認した。その一方で, 1) 専用複合機を用いる必要があるため, 利用時には専用複合機が設置されている場所まで出向く必要があること, 2) 教員側が自動認識結果を確認する前に LMS 上へとデータがアップロードされるため, 確認・修正作業が煩雑となること, 3) 手書き数字認識に関しては, 再生紙利用時の認識精度改善の余地が残されていること, などの課題が明らかとなった。

2.2 求められる要件

そこで, 手書きレポートを対象とした LMS 連携を行うシステムの本学への導入にあたり, 重要と考えられる要件を整理した。環境面とシステム性能面の大きく 2 つの観点があり, 全部で 9 つの要件に分類された。

- (R1) 用紙の汎用性
- (R2) 用紙の編集の容易さ
- (R3) 用紙のスキャンの簡便さ
- (R4) 導入にかかる経済的コストの低さ
- (R5) 学籍番号や点数の読み取り精度の高さ
- (R6) 認識誤り修正の容易さ
- (R7) 手作業による点数入力に比した速度向上
- (R8) 返却の容易さ
- (R9) システム利用の手軽さ

「(R1) 用紙の汎用性」は, 用紙の種類やサイズへの対応の有無を表す。スキャン時の読み取りエラーを低くするには上質紙の利用が望ましいが, 本学では再生紙の利用が義務付けられており, 用紙に含まれるわずかなゴミなどによる誤検出に対応する必要がある。また, 紙レポートの利用用途は, 出席確認から通常のレポート, 定期試験などさまざまであり, 用途に応じて用紙のサイズを適宜変えることが想定される。そのため, 複数の用紙サイズに対応する必要がある。

「(R2) 用紙の編集の容易さ」は, 教員が授業名や日付,

問題文などの情報を用紙に追加しやすいか, そのための手段が提供されているかを表す。学籍番号や点数の読み取り性能を上げるために, 用紙上に編集不可の領域が存在することはやむを得ないが, それ以外の領域は自由に編集できるようにするべきである。また, レポートに紙媒体を使用する理由としてあげているように, 数式や化学式, 構造型を含む問題文の存在も想定される。そのため, 編集可能な用紙のフォーマットとして, PDF だけでなく Word や LaTeX に対応することが望まれる。

「(R3) 用紙のスキャンの簡便さ」は, 教員が回収したレポート用紙をスキャンする際の時間的・場所的制約の低さを表す。本学の場合, 約 50 の大学院・学部, 研究所, センターなどに約 2,500 人の教員が在籍しており, キャンパスも大きく 3 カ所に分かれている。レポートを回収した教室や, 各教員の自室でスキャンすることができれば, 利便性は非常に高いといえる。

「(R4) 導入にかかる経済的コストの低さ」は, システムの導入から教員の利用開始までにかかる経済的な初期導入コストの低さを表す。前述のとおり, 本学は分散したキャンパスに多数の教員と教室を抱えており, 大学の経営環境が厳しい昨今, すべての教員が利便性を損なわず安価にシステムを利用できるようにすることは重要な課題といえる。

「(R5) 学籍番号や点数の読み取り精度の高さ」は, システムの性能を表す指標の 1 つである。システムの読み取り後に教員が確認・修正できる状況を設けるとしても, 学生が手書きで記入した学籍番号と点数を精度高く読み取るとは, 教員の作業コストを下げるという点で望ましい。出席確認の目的で使用する場合と異なり, 試験のような成績に直結する点数である場合には, 教員の確認・修正作業にかかる心理的負担も大きくなり, また, (R1) で述べたように再生紙特有の誤検出も存在することから, 読み取り精度を少しでも高める工夫が必要である。

「(R6) 認識誤り修正の容易さ」もシステムの性能を表す指標の 1 つといえる。システムが読み取った学籍番号と点数は, 最終的に LMS 上で学生 1 人 1 人に返却される。

(R5)にしたがって読み取り精度を可能な限り高めたとしても、システムによる認識誤りが生じた場合を想定して、教員にそれを確認・修正してもらうことは欠かせないが、その認知的負荷や作業コストは最小限に抑えることが望ましい。

「(R7) 手作業による点数入力に比した速度向上」もシステムの性能を表す指標の1つである。システムを利用しない場合、教員は回収したレポート用紙を1枚ずつ読んで点数をExcelやLMS上から入力しなければならない。場合によっては、レポート用紙の表裏を直したり、学籍番号順にソートしたりするかもしれない。そのような手作業による点数入力と比べて、システムを利用する方が効率的であることが望ましい。

「(R8) 返却の容易さ」は、LMSと連携して紙レポートを返却する最大の特徴といってよい。通常、レポート用紙を返却する場合には、授業中にレポート用紙を回覧して学生に自分のレポートをとってもらるのが最も効率的と考えられる。しかし、レポート用紙の束から自分のレポートを探す間は学生は授業に集中できないし、事前に学籍番号順にソートしておく必要があるかもしれない。欠席した学生がいれば、教員はその分を持ち帰り翌週に再度返却しなければならない。LMS経由で電子的に返却すれば、そのような面倒さは解消される。また、学生だけでなく教員にも返却すれば、システムが認識誤りを起こした場合や、一部の学生の受講登録が済んでいないなど一時的なトラブルでレポートを自動返却できない場合にも、教員が該当学生のレポートのみを個別に返却できるようになる。LMSの信頼性にもよるが、レポート用紙を保存する必要性も少なくなると考えられる。

「(R9) システム利用の手軽さ」は、システムを利用する際に教員が準備しなければならないことや習熟の必要性の少なさを表す。本学では、2015年度からすべての学部講義がLMSに自動登録されており[22]、年々利用数は増加しているものの2018年度の利用率は4割弱にとどまっている。約2,500人の教員の中にはITリテラシーがそれほど高くない教員も存在することから、システムの利用に際して、アプリケーションのインストールや、日常的なPC利用以上の操作を要求することはなるべく避けたいと考えた。

手書きレポートを対象としたLMS連携については、前述したように従来研究でも行われており、民生品の利用も可能であるが、大学などの高等教育機関における利用を想定した場合、これらすべての要件を満たすシステムは存在しないことが分かった。

3. かもレポシステム

以下では、上記9要件を高い水準で満たすことを目指した、名大版紙レポート連携システム「かもレポ」の開発について詳細に述べる。

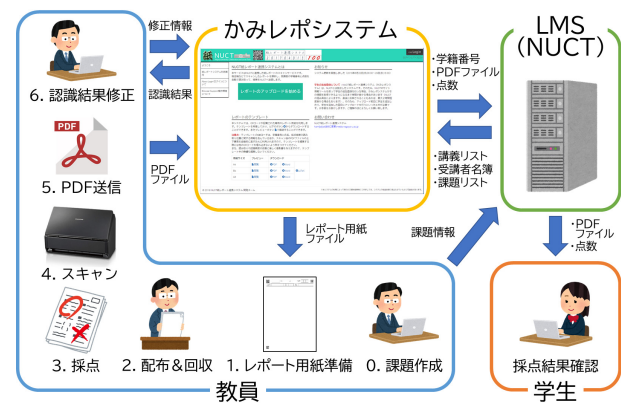


図1 サービス利用の流れ

Fig. 1 Flow of KamiRepo service.

名古屋大学では、LMSとしてSakaiを利用しており、2010年度からNUCT (Nagoya University Collaboration and course Tools) として運用している[23]。

かもレポシステムは、NUCTと連携するWebサービスとして実現されている。本サービスは、専用のレポート用紙の配布、レポート回収後にスキャンしたPDFファイルの受信および学籍番号と点数の認識、教員による確認・修正ののちNUCTを通じた各学生へのファイルと点数の返却という仕組みを提供する。

3.1 サービス利用の流れ

LMS (NUCT) は教員と学生の双方が利用できるが、かもレポシステムの利用は教員に限っている。正確には、NUCT上でInstructor権限の与えられたメンバのみに制限されている。したがって、TAにInstructor権限を付与することにより、教員の代理としてかもレポシステムを使わせることは可能である。本サービスの利用の流れを図1に示す。

0. 課題作成

本システムを利用する事前準備として、紙レポートのPDFファイルと採点結果を返却するために、NUCTの講義サイトで課題を作成する。NUCTの場合は、課題名、課題の種類(非電子的)、最高点、課題の公開時期、成績簿との連携の有無を設定する。実際には、「5. PDF送信」の直前までに実施すればよい。

1. レポート用紙準備

本システムのトップページで公開されている専用のレポート用紙をダウンロードする。レポート用紙は表裏1枚構成であり、図2のようにテンプレートエリアと自由記述エリアに分かれている。テンプレートエリアには科目名・日付欄と学籍番号・氏名・点数欄が存在し、科目名と日付の内容は編集可能である。また、用紙の表3カ所と裏1カ所にはQRコードが存在し、学籍番号・氏名・点数欄の枠線の位置情報などが埋め込

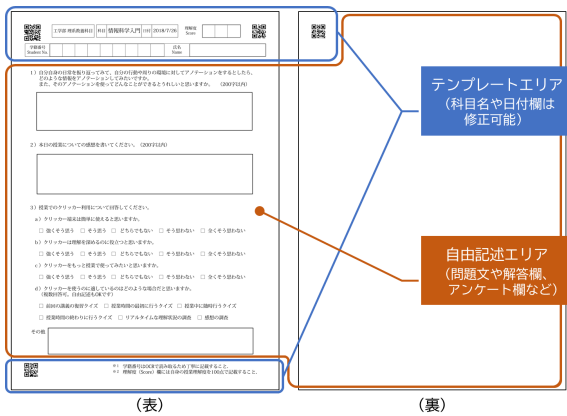


図 2 レポート用紙の例

Fig. 2 Example of handwritten assignment template.

まれている。自由記述エリアには、問題文や解答欄、アンケート欄などを自由に記述して構わない。

2. 配布&回収

作成したレポート用紙を両面印刷し、授業中に配布する。学生は、所定の欄に学籍番号と氏名を記入し、課題を解いて提出する。レポート用紙の回収時期は必ずしも授業中でなくても問題ないが、時間が経つほど字の擦れや QR コードの汚損につながるため早めの回収が望ましい。

3. 採点

回収したレポート用紙を採点し、結果を点数欄に記入する。点数欄に学生の授業の理解度を記入させたり、出席確認を目的として事前準備の際に同じ点数を記入しておいた場合には、採点の必要はない。

4. スキャン

採点後のレポート用紙を汎用スキャナや複合機を用いてスキャンし、PDF ファイルとして保存する。回収後のレポート用紙の向きがバラバラになっている可能性があるが、順番や向きによらず複数枚のレポート用紙をまとめてスキャンし、単一の PDF ファイルとして保存すればよい。なお、汎用スキャナ製品の 1 つである ScanSnap [24] を使用する場合、スーパーファイン画質 (300 dpi)、グレースケール、両面読み取り、その他の補正なし、という設定を推奨しているが、赤字でコメントを入れることもあるためカラーモードについては実質的な制限はない。

5. PDF 送信

かみレポシステムは Web サービスであるため、Web ブラウザで本システムのトップページを開き、名古屋大学 ID を利用したシングルサインオンの仕組みによりログインしたのち、スキャンした PDF ファイルをアップロードする。この際に、講義リスト、受講者名簿、課題リストを NUCT から取得する。

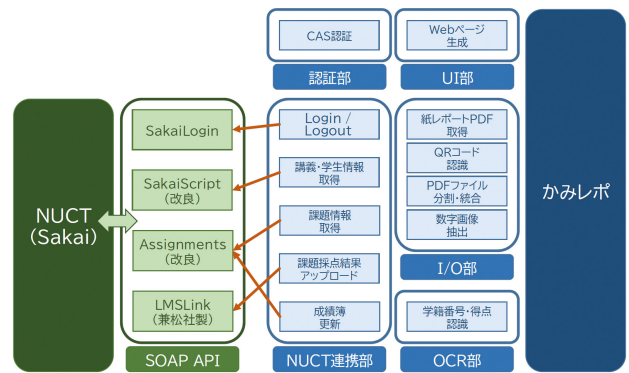


図 3 システムの全体構成

Fig. 3 Overall system configuration.

6. 認識結果修正

アップロードされた PDF ファイルは、QR コード認識により学籍番号、氏名、点数部分の画像が抽出され、OCR 技術により手書き数字の認識が行われる。Web ブラウザ上に表示される認識結果の一覧に対して、教員は確認と修正を行い、問題がなければ NUCT 経由で PDF ファイルと点数を学生に返却する。

3.2 システム概要

前述のとおり、本サービスは、かみレポシステムと LMS としての NUCT とが連携することによって実現されている。システムの全体構成を図 3 に示す。かみレポシステムは、認証部、UI 部、I/O 部、OCR 部、NUCT 連携部からなる。認証部では、CAS [25] を用いてユーザ認証を行い、UI 部ではフロントエンドとして Web ページを生成し、本サービスを利用する教員に対して、レポート用紙のダウンロードや PDF ファイルのアップロード、認識結果の確認・修正などを支援する。I/O 部では、アップロードされた PDF ファイルを用紙上の QR コードに基づいて 1 枚ずつの PDF ファイルに分割したのち、QR コードに埋め込まれた情報に基づいて認識対象となる学籍番号と点数部分の画像データの切り出しを行う。OCR 部では、I/O 部で取得した画像データに対して手書き数字の認識を行う。NUCT 連携部では、Sakai が提供している SOAP API [26], [27] を利用して NUCT と通信し、ログインした教員が担当している講義サイトに関する情報の取得や、課題の返却を行う。

かみレポシステムのハードウェア構成とソフトウェア構成を表 2 と表 3 に示す。

3.3 I/O 部

I/O 部では、教員によってアップロードされた紙レポート PDF ファイルの取得、QR コードの認識、PDF ファイルの分割・統合、数字画像の抽出処理を主に行う。表 3 に示したように、これらの実装には C++14 と外部ライブラリを用いた。

表 2 システムのハードウェア構成
Table 2 System hardware configuration.

CPU	Intel(R) Core(TM) i7-6950X 3.00 GHz (10 コア, 20 スレッド)
Memory	128 GiB
Graphics Board	GeForce GTX TITAN X (CUDA コア数: 3,072, GPU メモリ: 12 GiB)
SSD	894 GiB
HDD	SATA600 2.73 TiB

表 3 システムのソフトウェア構成
Table 3 System software configuration.

OS	Ubuntu 16.04 LTS
HTTP Server	Apache/2.4
Database	MariaDB 10.0
開発言語	PHP 5.6 (フロントエンド) Python 2.7 (数字認識) C++14 (QR コード認識ほか)
PHP フレームワーク	Laravel 5.3
GPGPU プラットフォーム	CUDA 8.0
機械学習ライブラリ	TensorFlow 1.0
画像処理ライブラリ	OpenCV 3.2, scikit-image 0.13
数値計算・解析ライブラリ	NumPy 1.12, SciPy 0.19
その他外部ライブラリ	boost, png, qrencode, ZBar

3.3.1 PDF ファイルの分割

PDF ファイルを受信すると、レポート用紙の隅に埋め込まれた QR コードを検出し、認識した QR コードから用紙の表裏を識別し、それが重複するまでの区間を同一レポートとして 1 枚ずつの PDF ファイルと各ページのレポート画像に分割する。QR コードの検出・認識には、ZBar [28] を使用している。用紙のスキャン時に生じたノイズが原因となり認識に失敗することが考えられるため、Sauvola が提案した文書向けの手法 [29] を用いて、QR コード領域の 2 値化を行った。なお、QR コードの認識に失敗した場合には、当該ページを空白ページとして出力する。

スキャナで読み取る際のトラブルにより紙の束の途中からスキャンを再開するような場合、2 つの PDF ファイルに同一学生の用紙がそれぞれ含まれることや、1 つの PDF ファイルに同一学生が複数回含まれるということが起こりうる。前者については、当該学生に同一レポートが 2 回返却され、後者については、返却対象から除外 (3.5.3 項にて後述) する処理によって対応する。

次に、QR コードの情報に基づき、スキャン時に生じ得るレポート画像の回転や拡大縮小などのひずみの補正を行う。各 QR コードには、画像に対するその QR コード自身の四隅の座標情報が含まれている。そこで、各 QR コードの本来の座標群と実際の座標群から Helmert 変換行列 [30], [31] を推定し、レポート画像のひずみを補正する。



(a) 分割後 (b) 切り出し後 (c) 正規化後

図 4 数字画像抽出処理の例

Fig. 4 Examples of pre-processing for digit image.

3.3.2 数字画像の抽出

QR コードに含まれる情報に基づいて、分割処理および補正処理が施された各レポート画像から、学籍番号と点数が記入される領域を切り出し、数字 1 文字ごとの画像を作成する。切り出し処理では、スキャン時のずれの影響により、しばしば画像内に数字を記入するための枠が残る (図 4(a))。本システムでは、画像の周辺 20% に黒画素が集中している領域が存在した場合、それを枠と見なして除去する。最後に、枠を除去した画像を 64 × 64 にリサイズし、処理の都合により白黒を反転して出力する (図 4(b))。

数字の大きさや形状、画像上の位置には個人差がある。それらをあらかじめ正規化することで、認識処理の頑健性の向上が期待される。本システムでは、山田らが提案した線密度を均一にする非線形正規化法 [32] を用いて数字の正規化を行う。なお、この正規化法は 2 値化された入力画像を対象とする。そこで、数字画像の大部分は背景領域でありヒストグラムが単峰性の分布となる傾向があることを考慮して、Rosin らの Unimodal thresholding [33] を用いて、前もって 2 値化を行う。正規化後の数字画像の例を図 4(c) に示す。

3.4 OCR 部

OCR 部では、学籍番号と点数の画像データに対する手書き数字認識および空白認識と、認識された数字系列からの学籍番号の絞り込み処理を行う。実装は Python 2.7 で行い、機械学習ライブラリである TensorFlow [34] をはじめとする各種ライブラリを使用した (表 3)。

3.4.1 数字認識

数字認識処理として、I/O 部で抽出された手書き数字画像データに対して、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) [35] を用いて 1 文字単位の数字認識を行う。本システムで用いた CNN の構造を図 5 に示す。VGG モデル [36] と同様の構造であり、CNN の入力画素値ベクトル、出力は各数字の事後確率である。

CNN の学習には、MNIST [37] の学習用データセットを利用した。また、汎化性能を高めるため、正規化を施す前の画像に対して移動や回転、拡大縮小、ノイズの追加をランダムに施すことで、学習データの拡張を行った [38]。学習条件を表 4 に示す。

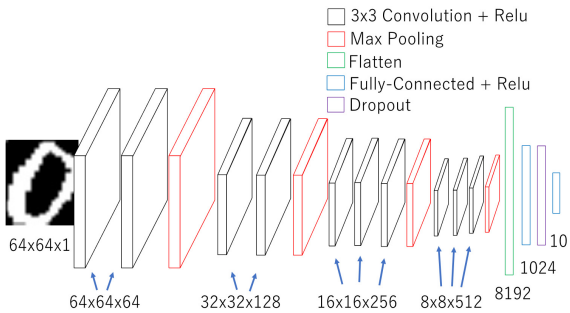


図 5 学籍番号および点数の認識に用いた CNN の構成

Fig. 5 Structure of CNN used for recognition of student ID and score.

表 4 CNN の学習条件

Table 4 Parameter settings for CNN training.

学習率	0.0001
学習最適化	Adam
回転最大角	20 deg
拡大縮小率	0.1 倍
上下左右への最大移動範囲	0.2 倍

3.4.2 学籍番号に対する数字列照合

一般に、 L 桁の数字列で表される学籍番号に対する1文字単位の認識処理では、10クラス識別問題を L 回実施するため、結果として 10^L クラス識別問題を解くことに相当する。しかし、本システムではLMS連携により、当該レポート課題の出された授業を受講する N 名の学生の学籍番号リストを取得することができるため、 N クラス識別問題として取り扱うことが可能となり、認識精度の大幅な改善が期待される。

本システムでは、1文字単位の手書き数字認識処理の後に、NUCTから取得した受講学生の学籍番号リストに対して数字列照合を行うことで認識精度を向上させる。手書き数字列中の個々の数字画像に対して、3.4.1項で述べたCNNを用いることで、0から9までのすべての数字に対する事後確率が算出される。これらを用いて学籍番号リスト中に含まれる数字列に対する事後確率を算出し、最も高くなる数字列を選択する。なお、異なるレポートが同一の受講者に割り振られる可能性があるため、数字列に対する事後確率が高い方の割り振りを優先している。

3.4.3 点数画像に対する空白認識

点数のように桁数が増える場合、I/O部で抽出された画像データのなかには、しばしば空白画像が含まれる。3.4.1項で述べたCNNは空白出力を仮定していないため、空白画像か否かの2クラス識別を別途行う。識別には、画像全体から計算した輝度値ヒストグラムを特徴量として用いる。このとき、ヒストグラムのビン数は16とし、L2ノルムが1となるように正規化する。識別器として線形カーネル関数に基づくSupport Vector Machine [39]を用いて2

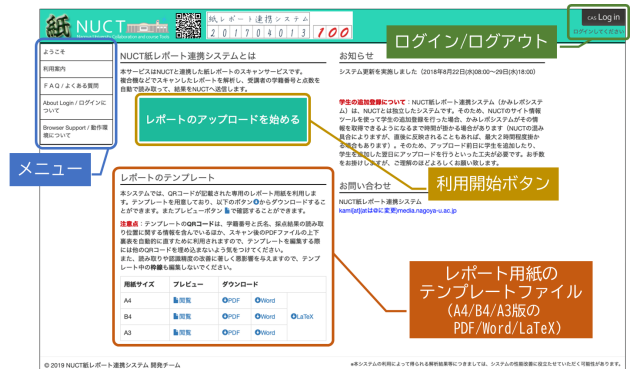


図 6 かみレポシステムのトップページ

Fig. 6 Top page of Kamirepo system.

クラス識別を行い、空白と認識された際にはCNNの結果によらず空白として取り扱う。

3.5 ユーザインタフェース部

ユーザインタフェース (UI) 部では、本サービスを利用する教員に対する支援を行う各種 Web ページの生成を行う。表 3 に示したとおり、PHP フレームワークのLaravelを用いて実装している。

3.5.1 利用案内と専用レポート用紙の配布

かみレポシステムのトップページを図 6 に示す。本サービスを利用する教員は、このページから専用のレポート用紙 (テンプレートファイルと呼ぶ) をダウンロードすることが可能であり、また、サービスの利用方法について簡単な説明を閲覧することができる。テンプレートファイルは、学内で一般的に利用されている A4/B4/A3 判に対応しており、それぞれ PDF/Word/LaTeX 版が用意されている。

レポート用紙をスキャンして PDF ファイルを作成したあと、教員はトップページの右上にあるログインボタンを押して名古屋大学 ID を利用した CAS 認証によるシングルサインオンを行う。正常にログインしたのち「レポートのアップロードを始める」ボタンを押すことで講義と課題の選択ページへ遷移する。

3.5.2 講義と課題の選択

本システムはNUCTと連携しているため、ログインした教員が担当している講義と課題に関する情報を取得することができる。講義と課題の選択を行うインタフェースを図 7 に示す。

まず、自身が担当している講義サイトの一覧が表示され、その中から対象の講義を選択するとNUCT上で作成した課題の一覧が表示される。次に、紙レポートを返却する課題を選択し、スキャンしたPDFファイルを選択してから送信ボタンを押すと、システムは3.3節で述べたI/O部の処理を実行する。I/O部の処理時にPDFファイルを適切に分割できなかった場合には、分割に失敗したページの画像が一覧表示され、これらのページを無視してOCR部



図 7 講義および課題の選択インターフェース

Fig. 7 Interface for selecting course and assignment.

氏名	学籍番号	学籍番号結果	学籍番号結果	学籍番号結果	学籍番号結果
情報処理 学	010800031	修正済	100	修正済	
名古屋 太郎	350900023	修正済	077	修正済	
名大 元子	350900023	修正済	090	修正済	

図 8 認識結果の修正画面の例

Fig. 8 Example of recognition results.

表 5 認識結果に対する修正の優先度と背景色の対応

Table 5 Correspondence of correction priority and background color.

優先度	背景色	説明
高	赤	修正が必要な可能性がある
中	黄	注意が必要
低	白	問題なし

の処理に進むか否かを確認するダイアログが表示される。すべてのページが問題なく分割された場合には、自動的に 3.4 節で述べた OCR 部の処理に移行する。I/O 部と OCR 部の処理中はプログレスバーが表示されるため、利用者は処理の進捗具合を容易に把握することができる。OCR 処理が完了すると、認識結果の確認・修正ページに遷移する。

3.5.3 認識結果の確認・修正

OCR 部による認識結果を確認・修正する画面例を図 8 に示す。認識結果はテーブルを用いて表示され、テーブルの 1 行が受講学生 1 名に対する認識結果を表す。各行には以下の項目が含まれる。

- 氏名の画像
- 学籍番号の認識結果に対応する学生の氏名
- 学籍番号の画像
- 学籍番号の認識結果
- 点数の画像
- 点数の認識結果
- 返却対象から除外するチェックボックス

学籍番号および点数の認識結果については、OCR 部で算出される事後確率に基づいて修正の優先度が求められ、背景色を変えることで利用者に提示する。認識結果に対する修正の優先度と背景色の対応を表 5 に示す。これにより、利用者はどの部分を重点的に確認すればよいかを把握することが可能となり、修正作業の効率化が期待できる。

学籍番号と点数の認識結果の隣に表示される修正ボタン



図 9 修正ダイアログの例 (左:学籍番号, 右:点数)

Fig. 9 Dialog to correct recognition result.



図 10 LMS への送信完了ダイアログ

Fig. 10 Upload complete dialog.

を押すと、図 9 に示すような修正ダイアログが表示され、認識結果の誤り箇所を正しい数字に修正・保存することで修正結果が記録される。本修正処理により、認識誤りが生じた手書き数字画像データに対して正解数字ラベルが付与される。すなわち、システムの運用を通じて手書き数字認識の精度改善に有効なデータを収集することが可能となる。

認識結果の確認・修正作業が完了して確認終了ボタンを押すと、学籍番号の重複チェックが行われ、重複がある場合には該当する行の背景色を灰色に変えて再確認を促すメッセージが表示される。学籍番号の重複がない場合には、レポートの PDF ファイルと点数が NUCT を通じて各学生に返却される。なお、該当講義の受講者名簿に登録されていない学生が提出したレポートなどは LMS 経由での返却ができないため、返却対象から除外するようチェックを入れてから送信する。

送信処理が正常に完了すると、図 10 に示すダイアログが表示される。I/O 部での分割処理が正しく行われなかったり、返却対象から除外した PDF ファイルが存在する場合には、このダイアログからダウンロード可能となっている。また、本システムを利用した教員には、アップロードしたオリジナルの PDF ファイルと返却できなかった学生ごとの PDF ファイルが NUCT の課題ツールを通じて返却される。そのため、受講者名簿が更新されたタイミングで返却できなかった差分ファイルのみを再度アップロードすることが可能である。

3.6 NUCT 連携部

NUCT 連携部では、Sakai が提供している SOAP API を利用して、本サービスが必要とする情報の取得や課題の返却処理などを行う。Sakai は Java で実装されており、標準 API を改良したものと他社製の API を利用している。

まず、かみレポシステムにログインした教員が担当している講義リストと各講義を受講している学生の学籍番号リ

ストを NUCT から取得するために, Sakai の標準 API である SakaiScript を改良した. 具体的には, 受講者名簿としてログイン ID (名古屋大学 ID) と氏名に加えて学籍番号を取得できるよう修正した.

次に, かみレポシステムにログインした教員が選択した講義に含まれる課題情報を NUCT から取得するために, Sakai の課題ツールに対する標準 API である Assignments を改良して, レポートの最高得点を取得するようにした. 採点結果の送信には, 兼松社製の API である LMSLink を使用している. また, NUCT の課題ツールで作成した個々の課題において, 採点結果を成績簿と関連付けることが可能であるため, Assignments API を改良して, 課題の返却と同時に NUCT の成績簿を更新するようにした.

4. かみレポシステムの評価・分析

2017 年度前期から半年間の試験運用時にシステムの精度評価を実施し, 2017 年度後期に開始した全学運用 1 年 6 カ月間の運用データに対して分析を行った. この間のユーザからの問合せと対応についてもあわせて述べる.

4.1 手書き数字の認識性能に関する評価

4.1.1 実験条件

主にシステムの事前検証を行うために, 評価用の手書き数字画像データとして, MNIST [37] の評価用データセット, ETL データセット 1 とデータセット 6 [40] の数字画像データ, 本システムの専用レポート用紙に対して名古屋大学情報学研究所の学生が数字を記入することで作成したデータセット (NU test 1~4: 4 研究室の学生が記入) を使用した. また, 実環境下におけるシステムの性能評価を実施するために, 試験運用を通して得られた手書き数字画像データから運用データセットを作成した. なお, 試験運用を実施した講義における受講学生数は, 30~40 名程度であった.

OCR 部における認識精度を評価するために, 3.4.1 項で述べた CNN (ベースラインシステム) を用いて, 1 文字ごとの手書き数字画像認識実験を行った. また, 数字列照合の効果を確認するために, 運用データセット中の 1,761 人分の学籍番号データを評価データとして実験を行った.

4.1.2 ベースラインシステムによる実験結果

1 文字ごとの手書き数字画像認識実験の結果として, 事前検証用に作成した評価データに対する数字認識精度を表 6 の「初期版」の欄に示し, 運用データに対する数字認識精度を表 7 の「初期版」の欄に示す. MNIST の学習データセットを用いて構築した CNN を用いることで, どの評価データセットに対しても 97% 以上の認識精度が得られることが分かる.

一方で, 学籍番号データに対して実施した数字列認識実験の結果を表 8 に示す. この実験では, 9 桁からなる学籍

表 6 各種評価データセットに対する数字認識精度

Table 6 Handwritten digit recognition accuracy.

データ	初期版 [%]	更新版 [%]
MNIST test	99.50	96.98
ETL 1	99.02	99.04
ETL 6	99.46	99.50
NU test 1	97.72	98.11
NU test 2	99.12	98.99
NU test 3	97.29	98.91
NU test 4	98.93	99.07

表 7 運用データセットに対する数字認識精度

Table 7 Evaluation using real data.

モデル	正解率 [%]
初期版	97.84
更新版	99.35

表 8 学籍番号に対する数字列認識精度

Table 8 Effectiveness of consistency check using student ID list.

	認識成功	認識失敗	認識率 [%]
照合なし	1,546	215	87.8
照合あり	1,756	5	99.7

番号のうち, 1 つでも認識誤りがある際には認識失敗と判定される点に注意する. 数字列照合を行わない場合, 一文字単位の認識精度は 97% 以上であっても, 数字列単位の認識精度は 87.8% まで劣化する. 一方で, 数字列照合を用いることで, その認識精度は大幅に改善し, 99.7% の認識率が得られることが分かる. このことから, 本システムにおける数字列照合処理の有効性が確認できる.

4.1.3 運用データを活用した性能改善効果

本システムは, 運用を通して収集される手書き数字画像データおよび正解数字ラベルを活用することで, 実環境下で得られる手書き数字の特徴をより詳細に捉えた OCR 部を構築することが可能となるため, その認識精度の改善が期待できる. この機能の有効性を調査するために, ベースラインシステムの CNN に対して運用データを用いた再学習を行い, その認識精度を評価した. 運用データのうち, 学籍番号部分 21,505 文字を対象とし, 20:2:1 の割合で学習データ, 開発データ, 評価データとする交差検定を実施した. なお, 再学習の際にも, 3.4.1 項と同様にデータ拡張を実施した.

実験結果を表 7 の「更新版」の欄に示す. 認識精度が, 97.84% から 99.35% まで上昇しており, 大幅な改善効果が確認できる. また, 参考までに, 他の評価データセットに対する実験結果を表 6 の「更新版」の欄に示す. 一部のデータセットを除いておおむね高い認識精度を維持していることが分かる.

次に, 運用データの交差検定において, 再学習に用いる

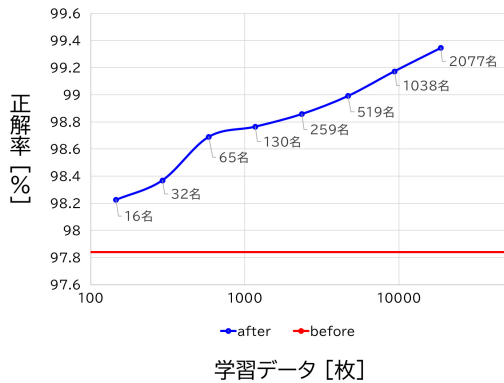


図 11 再学習に用いるデータ量と認識精度の関係

Fig. 11 Relationship between the amount of training data and recognition accuracy.

データ量を 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128 に減らした際の認識精度を図 11 に示す。1/128 のデータ (約 146 枚の数字画像であり、学籍番号 16~17 人分相当) を用いた場合においても、再学習の改善効果が確認できる。このことから、本システムは、ある講義の受講生に対して仮に十分な認識精度を得られないという状況が生じた場合においても、迅速に認識精度を改善できると期待される。

4.2 運用データに基づくシステム利用に関する分析

2017 年 10 月より名古屋大学において全学サービスを開始し、講習会、広報レターの作成、Web 版システム利用の手引きの作成、などを進めた。本節では、全学運用開始後 1 年 6 カ月間の運用データに対して行った分析について述べる。運用データには、システムの利用履歴、ページ遷移時刻、手書き数字認識結果の修正作業によって得られる正解数字ラベルが含まれる。また、被験者実験による利用時間の計測と注視行動の分析も実施した。

4.2.1 利用履歴の分析

2019 年 2 月末時点でのシステムの総利用回数は 1,104 回であり、ユニークユーザ数は 58 名であった。2017 年 10 月から 2019 年 2 月までの月別の累計利用回数と累計ユニークユーザ数を表すグラフを図 12 に示す。冬季休業期間の 3 月と夏季休業期間の 8~9 月を除いて徐々にユーザが増加していることが分かる。

また、所属部局別のユーザ数のグラフを図 13 に示す。現在のところ理系部局での利用が中心であるが、文系から理系まで多数の授業での利用の機会を得た。

利用回数の階級幅を 5 とした場合のユーザ数に関するヒストグラムを図 14 に示す。平均利用回数は 17.3 回であり、月間アクティブユーザ数 (MAU: Monthly Active Users) の平均は 13 名であった。1 年以上継続利用しているユーザは 9 名存在し、最終利用から 1 年以上経過している現職ユーザは 0 名である (離職したユーザは 7 名存在する)。

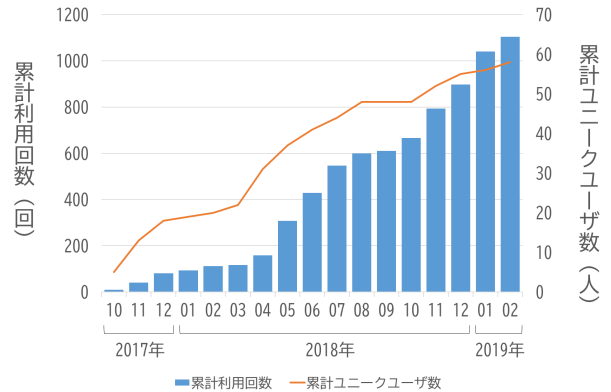


図 12 月別の累計利用回数とユニークユーザ数

Fig. 12 Total number of uses and unique users by month.

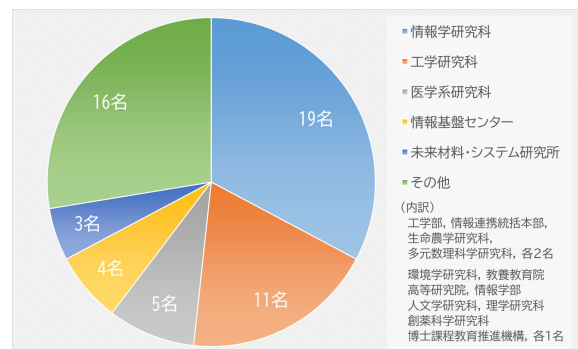


図 13 ユーザの所属部局

Fig. 13 User affiliation.

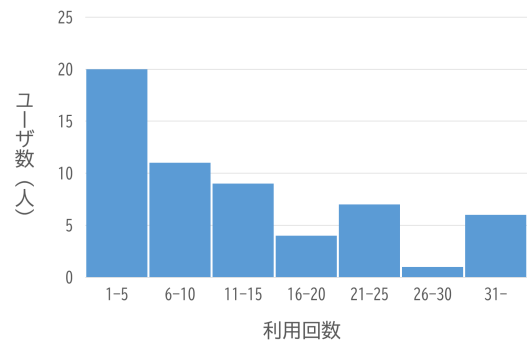


図 14 利用回数に関するユーザ数ヒストグラム

Fig. 14 Histogram of users binned by usage count.

システムを 1 回利用する際にかかった時間や修正回数などの平均値を表 9 に示す。時間については、システムログに記録されたページ遷移時刻に基づいて算出している。講義・課題選択時間と修正時間の 2 つはユーザの作業時間であり、Web ブラウザの操作途中で離席するなどの状況を正確に把握することは困難であるため参考値である。ログイン開始から結果送信完了までにかかる時間は約 6 分であり、平均的な 40 名程度の受講生がいるクラスを対象とした場合、1 桁単位での学籍番号の修正回数は 0.7 回、スコアの修正回数は 3.1 回であった。

表 9 1 回のシステム利用にかかる時間や修正回数などの平均値

Table 9 Average of several measurements in one use.

講義・課題選択時間 [秒]	61.5
PDF アップロード・認識時間 [秒]	68.2
修正時間 [秒]	205.6
得点・PDF 返却時間 [秒]	22.5
学籍番号修正回数 [回]	0.7
スコア修正回数 [回]	3.1

4.2.2 所要時間と操作回数の分析

2018 年 12 月から 2019 年 1 月にかけて、30 代から 50 代の名古屋大学職員 6 名（男性 1 名，女性 5 名）を被験者として、レポート用紙に記載された点数を成績簿に転記入力するのに要する時間の計測実験を行った。本システムと比較するツールとして、Microsoft 社製表計算ソフトウェア Excel を利用した。各被験者が使用した PC は、ふだん業務で使用している使い慣れたものである。

対象となるのは 66 名の受講学生がいる実際の講義で回収された 63 名分のレポート用紙である。本システムを使う場合は、事前にレポート用紙をスキャンしておき、被験者の手元に PDF ファイルが存在する状態から実験を開始し、3.1 節で述べたサービス利用の流れの 5~6 を実施してもらった。Excel を使う場合は、被験者の手元に回収した直後の状態のレポート用紙を準備しておき、受講者名簿の Excel ファイルに点数を入力してもらった。

被験者に渡される PDF ファイルとレポート用紙の状態（用紙の表裏上下方向，出現する学籍番号の順番）はすべての試行で同一にしてある。本実験では、用紙の表裏上下方向はすべて整っており、学籍番号の順番はバブルソートを用いた場合に 914 回，クイックソートを用いた場合に 86 回のスワップが発生する程度のランダム性を有している。Excel ファイルへの入力については、用紙のソートの有無に分けて計測を行った。実験は、ソートをとまなう Excel 入力，ソートを行わない Excel 入力，かみレポ利用の順番で行った。

点数入力にかかる時間の計測結果を比較したグラフを図 15 に示す。レポート用紙を学籍番号順にソートすることで，Excel ファイルへの入力時間は短くなるが，全体の所要時間は約 18 分と最も長くなった。また，レポート用紙をソートしない場合は，ソートした場合の 2 倍以上となる約 11 分の入力時間を要した。一方，かみレポを用いた場合は，全体の所要時間が 5.5 分と最も短くなり，ユーザ自身が作業を行う講義・課題選択と認識結果修正のみに限定すると，3.7 分と非常に低い時間コストであることが分かった。

次に，情報工学を専攻している学部 4 年生 1 名を被験者として，Excel と本システムの操作回数に関する実験を行った。操作回数については紙媒体であるか否かの影響は

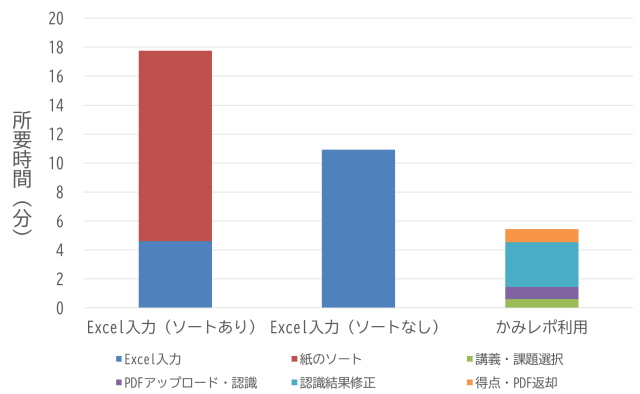


図 15 所要時間の比較

Fig. 15 Comparison of required time.

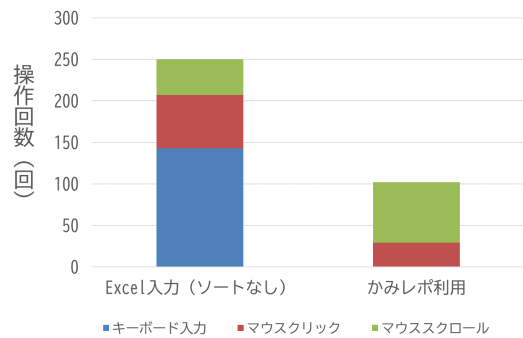


図 16 操作回数の比較

Fig. 16 Comparison of the number of operations.

少ないと考え，回収したレポート用紙そのものは使わず，Excel ファイルへの入力と本システム利用の双方で，時間計測時に用いたものと同じ PDF ファイルを使用した。操作回数については，キーボード入力とマウスクリック，マウススクロールの各回数を OS 標準のステップ記録ツールと Web ブラウザアドオンの Wildfire を組み合わせて計測した。比較したグラフを図 16 に示す。本システムを利用した場合のマウスクリックとマウススクロールの全操作回数は，Excel ファイル入力時の全操作の 4 割に抑えられている。本システムの特徴はすべての操作をマウスのみで行える点であり，キーボードとマウス間の手の移動が発生する Excel に比べて作業負担も小さいと考えられる。

4.2.3 修正作業結果の分析

2017 年 10 月から 2019 年 2 月までの期間に 1,104 回アップロードされた全 42,327 名（異なり学生数は 3,364 名）分のレポート用紙に対して行われた修正作業について分析を行った。

まず，学籍番号（9 桁）と点数（3 桁）の各桁ごとの正解率と平均を表 10 に示す。学籍番号については，NUCT から取得した学籍番号リストとの数字列照合による効果で全体的に高い精度が得られているが，所属学科や入学年度など同一クラス内ではほとんど違いの表れない上位の桁に比べて，学生個人を区別する下位の桁では若干精度が落ち

表 10 1桁単位での学籍番号と点数の正解率

Table 10 Accuracy rate of student ID and score in 1-digit units.

	桁	正解率
学籍番号	9	99.91
	8	99.76
	7	99.93
	6	99.72
	5	99.75
	4	99.83
	3	98.54
	2	98.03
	1	98.13
	平均	99.29
点数	3	98.56
	2	97.08
	1	95.76
	平均	97.13

表 11 学籍番号と点数の正解率

Table 11 Accuracy rate of student ID and score.

	正解率
学籍番号	97.51
点数	93.34

ていることが分かる。また、点数については、単純に手書き数字認識の精度が表れており、学籍番号に比べて2%程度精度が低く、下位にいくほど精度が落ちている。この原因として、上位の桁は下位に比べて空白になることが多く、3.4.3 項で述べた空白認識が機能しているものと考えられる。

表 11 は学籍番号と点数の数字列単位での正解率を示している。試験運用時の性能評価(表 8)に比べると精度は若干下がっているが、学習時には得られなかった非常に多くの学生の多様性に富んだ手書き数字が入力された影響であるといえ、モデルの再学習に活用したいと考えている。

確認・修正作業時に入力された正解数字ラベルの履歴に基づいて、数字の認識結果と正解ラベルの対応マトリクスを学籍番号と点数のそれぞれについて作成した(図 17, 図 18)。マトリクス内の数値は誤認識率であり、学籍番号については0~1%の範囲で、点数については0~5%の範囲でグラデーション化した。学籍番号については、形状的に似ている9を4と間違えるケースが最も多いが、誤認識率は0.37%と非常に小さい。点数については、形状的に似ている2を7と間違えるケースが最も多く、続いて学籍番号と同様に9を4、2を0と間違えるケースが多い。表 12 より、枠をはみ出したり、文字を崩したり、書き直したりすることによって、誤認識を起こしたと考えられる。

4.2.4 注視行動の分析

ユーザがどの部分を見ているかを把握することは、イン

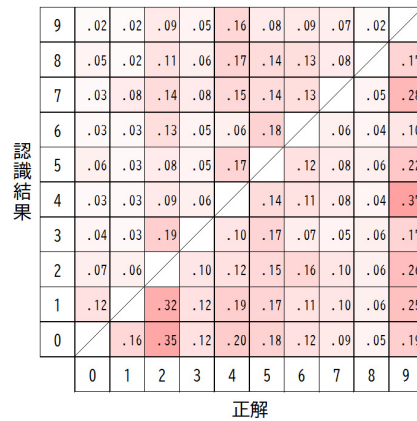


図 17 学籍番号に含まれる数字の認識結果と正解ラベルの対応(単位:%、0~1%でグラデーション)

Fig. 17 Correspondence matrix between recognition results of digits representing student ID and correct labels.

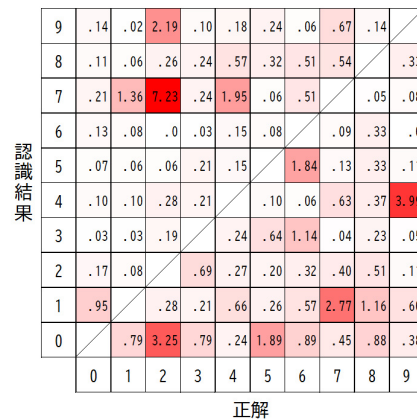


図 18 点数に含まれる数字の認識結果と正解ラベルの対応(単位:%、0~5%でグラデーション)

Fig. 18 Correspondence matrix between recognition results of digits representing score and correct labels.

表 12 点数の手書き数字認識誤り上位3個の実画像

Table 12 Top 3 real images of handwritten digit recognition errors for scores.



タフェースの適切さを確認するうえで有益な情報であることから、本項では操作回数に関する実験と同様、情報工学を専攻している学部4年生1名を被験者として注視行動の分析を行った。なお、視線の定量的な分析は多大な時間を要するもの[41]であり、本項はその点について言及するものではない。注視行動を取得するためのアイトラッキングシステムとして、トビー・テクノロジー社製の Tobii Pro

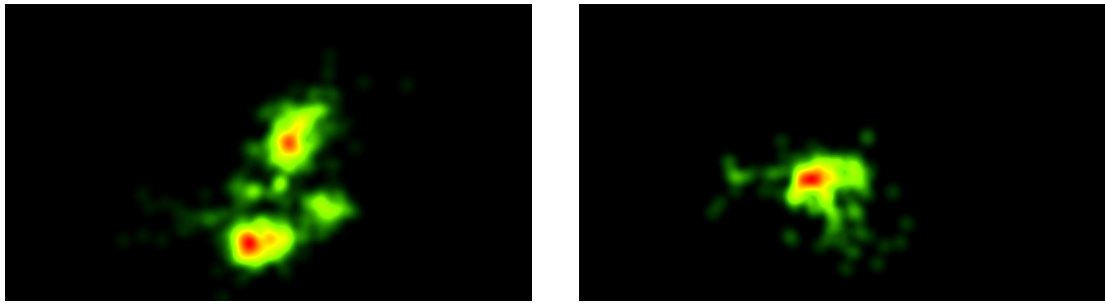


図 19 アイトラッキングシステムで取得されたヒートマップ (左: Excel 入力, 右: かみレポシステム)

Fig. 19 Heatmap acquired by eye tracking system.

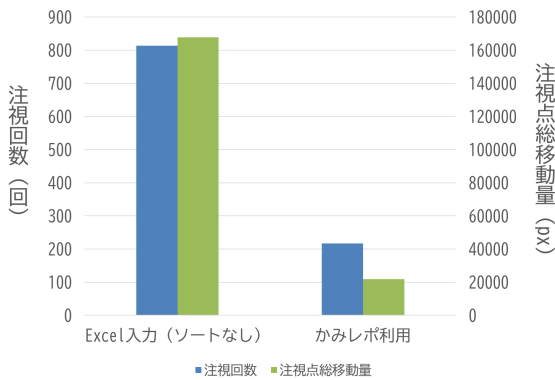


図 20 注視回数と注視点移動距離

Fig. 20 Number and movement distance of fixation points.

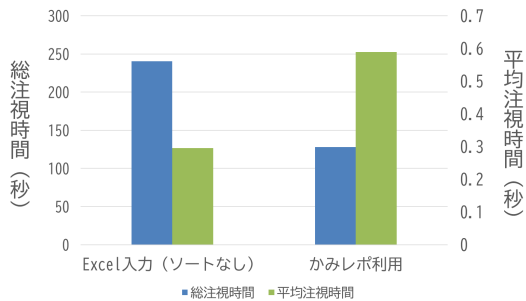


図 21 注視時間

Fig. 21 Fixation duration.

グラス 2 を使用した。所要時間の計測時と同様に、Excel ファイル入力時には回収された状態のレポート用紙を使い、かみレポシステム利用にはスキャン済みの PDF ファイルを使用した。

アイトラッキングシステムによって取得された Excel ファイル入力時と本システム利用時の注視点ヒートマップを図 19 に示す。Excel 入力時には、用紙と画面間の視線の遷移が頻繁に起こっていることが注視点ヒートマップからも確認できる。一方、本システム利用時には、画面の中央付近を常に見ており視線の遷移は少ないことが分かる。

注視回数と注視点の移動距離を比較したグラフを図 20、注視時間を比較したグラフを図 21 に示す。図 20 より、注視回数と注視点移動距離ともに本システム利用時の方

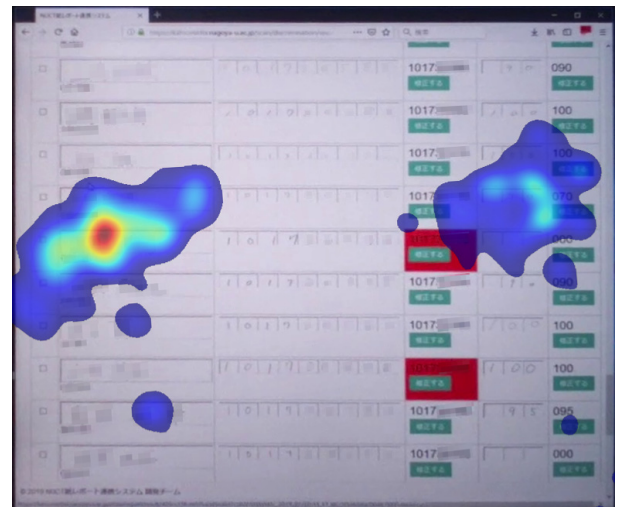


図 22 かみレポシステム上の注視点ヒートマップ

Fig. 22 Fixation heatmap on kamirepo system.

が少なく、注視回数は Excel 入力時の約 1/4、注視点移動距離は Excel 入力時の約 1/8 であることが分かる。また、図 21 より、本システム利用時の総注視時間は Excel 入力時の約半分と短いですが、平均注視時間は Excel 入力時の約 2 倍であり、本システムの自動処理による誤りがそのまま反映されないよう、学籍番号と点数 1 つ 1 つの確認をより入念に行っていることがうかがえる。

本実験で使用したアイトラッキングシステムは頭部装着型であるため、記録される映像は自由視点であり、画面上の注視点は単一画像として記録されない。そこで、映像中の Web ブラウザの四隅の点を用いて注視点の座標変換を行い単一画像を作成した、かみレポシステム上の注視点ヒートマップを図 22 に示す。なお、氏名および学籍番号の一部については、個人情報保護の観点から個人を特定できないようモザイク処理を施してある。アイトラッキングシステムによって取得される注視点ヒートマップ (図 19) では、本システムの注視点は画面中央に集中していたが、実際には画面中央の左右 2 カ所、すなわち、認識結果一覧画面の氏名部分と点数部分に視線が集中していることが分かる。本システムでは、図 8 に示したように、氏名の読取画像と学籍番号の認識結果から選択された氏名とが縦方向に

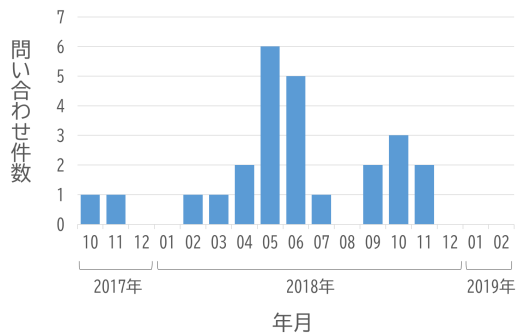


図 23 月別の問合せ件数
Fig. 23 Number of inquiries by month.

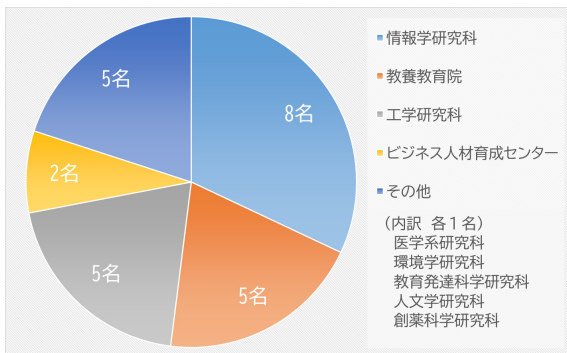


図 24 所属部局別の問合せ件数
Fig. 24 Number of inquiries by department.

並べて表示される。認識結果に対する修正の優先度によるハイライト表示機能(表 5)を提供しているが、より正確・安心な方法として 2 つの氏名が同一であるかスクロールしながら確認作業をしていると考えられる。赤色ハイライト箇所のみを確認して修正という理想的な利用には至っておらず、本システムに対する信頼度の向上が必要と考える。

4.3 ユーザからの問い合わせと対応

2017 年 10 月から 2019 年 2 月末までの月別の問合せ件数のグラフを図 23 に、所属部局別の問合せ件数のグラフを図 24 に示す。問合せの総数は 25 件であり、17 名のユーザ(教員 13 名、職員 3 名、TA 1 名)からメールで問合せを受けた。文系部局については、ユーザ数の少なさに比べて問合せ件数が多いことから、分かりやすい利用の手引きやトラブル発生時のマニュアルなどの整備が必要と考えられる。

本システムのトップページには、運用開始当初から簡単な利用案内ページが用意されているが、2018 年 4 月に、かみレポシステムの解説動画を以下の 6 項目について作成し公開した。

- (1) 「かみレポ」のメリット
- (2) 解答用紙の作成・配布
- (3) NUCT の該当講義へ「課題」を設定
- (4) レポートのスキャン

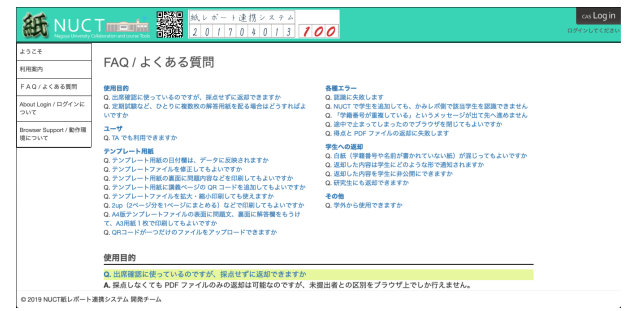


図 25 FAQ ページ
Fig. 25 FAQ page.

表 13 かみレポシステムと 9 要件の関係
Table 13 Pros and cons of kamirepo system in 9 requirements.

	かみレポ
環境面	
(R1) 用紙の汎用性	△
(R2) 用紙の編集の容易さ	○
(R3) 用紙のスキャンの簡便さ	○
(R4) 導入にかかる経済的コストの低さ	○
システム性能面	
(R5) 学籍番号や点数の読み取り精度の高さ	○
(R6) 認識誤り修正の容易さ	○
(R7) 手作業による点数入力に比した速度向上	○
(R8) 返却の容易さ	○
(R9) システム利用の手軽さ	○

- (5) かみレポからのアップロード
- (6) 名大版紙連携レポートでの修正

また、2019 年 4 月にはすべての問合せを、使用目的、ユーザ、テンプレート用紙、各種エラー、学生への返却、その他の 6 つの種類に分けて FAQ ページを作成した(図 25)。

問合せで最も多かったのは定期試験時の利用方法であり、複数枚の解答用紙を配布する場合や、採点結果のみ通知して解答用紙は返却しない方法についての質問であった。種類別では、テンプレート用紙に関する問い合わせが 8 件と最も多かった。学籍番号と点数の読み取りに QR コードが使われていることは理解していても、具体的な処理までは分からないため、用紙の拡大・縮小によるトラブルが多く発生した結果によるものである。

5. 9 要件に関する考察

本システムにおける 9 要件の達成度を表 13 に示す。

本稿で述べたすべての実験は、学内で利用される再生紙を用いて行われており、4.1 節で述べた手書き数字の認識性能に関する評価ならびに 4.2.3 項で述べた修正作業結果の分析より、スキャン時の読み取りエラーは低く、わずかなゴミなどによる誤検出に対しても空白認識機能が有効に働いていることが分かる。また、学内で標準的に使用されている A3/B4/A4 サイズのレポート用紙にも対応している。しかし、複数枚利用が多い定期試験などの用途におい

ては複数回のスキャンを行うといった運用で回避しているため不十分である。以上より「(R1) 用紙の汎用性」については十分に達成したとはいえない。

本システムでは、PDF/Word/LaTeX フォーマットのテンプレートファイルを用意し、サービストップページよりダウンロード可能にしている。多様なフォーマットに対応している既存研究や民生品は存在しないため、「(R2) 用紙の編集の容易さ」については、十分に達成しているといえる。ただし、Word フォーマットに関しては、一部のサードパーティ製 Office ソフトウェアならびにクラウド系アプリケーションにおいて、ヘッダ部分のレイアウト崩れが確認されていることから、頑健性を高める改良を加えたいと考えている。

「(R3) 用紙のスキャンの簡便さ」については、複合機だけでなく汎用スキャナに対応しており、各教員の自宅でスキャンした PDF ファイルを利用可能であることから、十分に達成しているといえる。また、汎用スキャナは数万円で購入可能であることから「(R4) 導入にかかる経済的コストの低さ」も十分に達成している。

「(R5) 学籍番号や点数の読み取り精度の高さ」については、100%の精度を得られることが望ましいが、標準的な40名程度のクラスにおいて、学籍番号の修正は1名未満、点数の修正は3名未満であり、訂正線を書いたうえで修正後の添え書きをするような状況を含んでいることから、実用性は十分であると考えられる。

「(R6) 認識誤り修正の容易さ」については、被験者実験の結果、63名分の確認・修正作業に要する時間は約3分であり、マウス操作のみであることから作業コストは小さいといえる。また、4.2.4項で述べた注視行動の分析結果(図20, 図21)より、認知的負荷も低いことから、要件を十分に満たしているといえる。

「(R7) 手作業による点数入力に比した速度向上」については、4.2.2項で述べた所要時間と操作回数の分析結果(図15, 図16)より、本システムを利用した方が時間コストも作業負担も小さく効率的であることから十分達成しているといえる。

LMS (NUCT) 経由でレポート用紙と点数を返却する仕組みを採用している時点で「(R8) 返却の容易さ」は必然的に高いといえる。それに加えて本サービスでは、受講登録の済んでいない一部の学生のレポートや部分的な読み取りエラーを起こすレポートなどは、アップロードされたオリジナルの PDF ファイルと分けて教員に返却される。これにより、受講登録完了後に該当学生のレポートのみを選択的に返却するといったことが可能になるため、より利便性は高く十分に要件を達成しているといえる。

また、Web ブラウザ^{*1}が動作する PC があれば本サービ

スの利用が可能であることから、「(R9) システム利用の手軽さ」についても十分達成しているといえる。

以上より、本学での導入において重要視した9要件を本サービスは高い水準で達成することができたと考えられる。

6. おわりに

名古屋大学において開発した、LMS と連携して手書きレポートを返却する Web サービス「かみレポ」の詳細と、試験運用時に実施したシステムの精度評価、本運用開始後1年6カ月間の運用評価をもとに、かみレポサービスの有効性について述べた。

本学で導入するにあたり重要視した9要件については高い水準で達成されたと考えられるが、一般的なシステムとしては拡張性の高さや可搬性の高さが求められ、それらの点ではまだ十分とはいえない。

たとえば、複数枚の配布についてはテンプレート用紙レベルでは対応しておらず、複数回スキャンを行うという運用で回避している。また本学の仕様上、学籍番号は数字のみに対応しているが、英字を含む学籍番号で運用している高等教育機関は多い。LMS 連携においても、Sakai より多く採用されている Moodle には対応していない。このように、本システムを本学以外の教育機関で利用してもらうために解決すべき課題は残っており、LMS 連携など本学のみでの機能拡張には限界があることから、オープンソース化を検討している。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 19K02971 の助成を受けたものである。かみレポシステムの解説動画の作成においては、名古屋大学の後藤明史氏、渡邊治樹氏に深謝する。

参考文献

- [1] デジタルペーパー LMS 連携 (オンライン), 入手先 <<https://www.sony.jp/professional/solution/education/lms.html>> 青山学院大学事例 (オンライン), 入手先 <<https://www.sony.jp/digital-paper/casestudy/aoyama-ac/>> (参照 2019-12-03).
- [2] 清谷竣也, 伊藤瑠哉, 岡本康佑, 谷川右京, 大平茂輝, 出口大輔, 戸田智基: 名古屋大学におけるサーバ型紙レポート・LMS 連携システムの開発, 2017 年度大学 ICT 推進協議会年次大会, FF3-5 (2017).
- [3] Seiya, S., Ito, R., Okamoto, K., Tanikawa, U., Ohira, S., Deguchi, D. and Toda, T.: Development of 'KamiRepo' System with Automatic Student Identification to Handle Handwritten Assignments on LMS, *Proc. 2018 the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON2018)*, pp.841-848 (2018).
- [4] 遠藤大二: 「使いやすさ」「導入のしやすさ」を追求した教育支援システムの開発と導入, 論文誌情報教育方法研究, Vol.7, No.1, pp.16-20 (2004).
- [5] Mahara ePortfolio System (online), available from <<https://mahara.org>> (accessed 2019-07-08).
- [6] 内田英二, 丸山友則, 遠藤大二: Mahara を活用したノート提出システム「飛ぶノート」を活用した授業実践, Mahara

*1 Edge, Firefox, Chrome, Safari に対応。Internet Explorer は非対応。

- オープンフォーラム 2011 講演論文集, pp.18-21 (2011).
- [7] 遠藤大二, 内田英二, 大西昭夫: 飛ぶノート活用の展開, Mahara オープンフォーラム 2013 講演論文集, pp.3-7 (2013).
- [8] 遠藤大二, 近藤圭也, 山崎耕太: e ポートフォリオ支援システム飛ぶノート出雲の相互評価システム機能の運用, Mahara オープンフォーラム 2017 講演論文集, pp.14-19 (2017).
- [9] 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).
- [10] Moodle (online), available from <https://moodle.org/> (accessed 2019-07-08).
- [11] 喜多敏博, 森川健太郎, 田口健治, 根本淳子, 本間里見: 手書きレポート提出を Moodle で自動受付するシステムの開発, 第24回日本教育工学会全国大会講演論文集 3a-A207-01 (2008).
- [12] 喜多敏博, 根本淳子, 上田公代, 宇佐川毅: 通常教室での授業で LMS を利用するための2つの追加機能の開発, 研究報告コンピュータと教育 (CE), Vol.2011-CE-111, No.2, pp.1-4 (2011).
- [13] 喜多敏博, 長岡千香子, 吉田 護, 藤見俊夫, 竹内裕希子, 柿本竜治: pdf2submission の個別シートを効率的に配布するための改良と大規模クラスでの利用, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-CLE-16, No.3, pp.1-3 (2015).
- [14] 常盤祐司, 宮崎 誠, 山田勇樹, 佐藤悦志: 電子透かしを活用した手書き文書と Sakai の連携, 大学 ICT 推進協議会 2012 年度年次大会論文集, pp.5-12 (2012).
- [15] 常盤祐司, 宮崎 誠, 山田勇樹, 佐藤悦志: 電子透かしを活用した手書き文書と Sakai の連携—レポート課題およびテスト, *Proc. Ja Sakai Annual Conference*, Vol.2013, No.5, 4 pages (2013).
- [16] Bloomfield, A. and Groves, J.F.: A Tablet-based Paper Exam Grading System, *Proc. 13th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE'08)*, pp.83-87 (2008).
- [17] Singh, A., Karayev, S., Gutowski, K. and Abbeel, P.: Gradescope: A Fast, Flexible, and Fair System for Scalable Assessment of Handwritten Work, *Proc. 4th ACM Conference on Learning @ Scale (L@S'17)*, pp.81-88 (2017).
- [18] Sakai LMS (online), available from <https://www.apereo.org/projects/sakai-lms> (accessed 2019-07-08).
- [19] 佐藤悦志, 榎本尚之, 森田雅夫, 阿出川智通, 長谷川博之, 中村慎也, 井上 桂: 授業支援ボックス: お客様との共創開発により実現した紙と LMS の連携ソリューション, 富士ゼロックステクニカルレポート, No.24 (2015).
- [20] 飛ぶノート (オンライン), 入手先 <http://www.carrier-port.jp/note/>, 飛ぶノート出雲 (オンライン), 入手先 <http://tobunote-izumo.com/> (参照 2019-07-08).
- [21] Gradescope (online), available from <https://www.gradescope.com/> (accessed 2019-12-03).
- [22] 田上奈緒, 中務孝広, 松岡 孝, 太田芳博, 大平茂輝, 後藤明史, 出口大輔, 戸田智基, 森 健策: 名古屋大学における Sakai 上での全講義登録のための教務連携システム開発, *Ja Sakai カンファレンス*, 4 pages (2016).
- [23] 太田芳博, 中務孝広, 田上奈緒, 原 愛樹, 大平茂輝, 後藤明史, 梶田将司, 森 健策: 名古屋大学における Sakai の全学運用と利用推進に向けた活動報告, *Ja Sakai カンファレンス*, 4 pages (2011).
- [24] スキャナー ScanSnap (オンライン), 入手先 <https://scansnap.fujitsu.com/jp/> (参照 2019-07-08).
- [25] CAS (Central Authentication Service) (online), available from <https://www.apereo.org/projects/cas> (accessed 2019-07-08).
- [26] Berg, A. and Dolphin, I.: Sakai CLE Courseware Management: The Official Guide, Packt Publishing Ltd. (2011).
- [27] How to use the Sakai Web Services (online), available from <https://confluence.sakaiproject.org/display/WEBSVCS/How+to+use+the+Sakai+Web+Services> (accessed 2019-07-08).
- [28] ZBar bar code reader (online), available from <http://zbar.sourceforge.net/> (accessed 2019-04-08).
- [29] Sauvola, J. and Pietikainen, M.: Adaptive document image binarization, *Pattern Recognition*, Vol.33, No.2, pp.225-236 (2000).
- [30] Watson, G.A.: Computing Helmert transformations, *Computational and Applied Mathematics*, Vol.197, No.2, pp.387-394 (2006).
- [31] 高木幹雄, 下田陽久 (監修): 新編画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, pp.1079, 1302-1303 (2004).
- [32] 山田博三, 齊藤泰一, 山本和彦: 線密度イコライゼーション—相関法のための非線形正規化法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J67-D, No.11, pp.1379-1383 (1984).
- [33] Rosin, P.L.: Unimodal thresholding, *Pattern Recognition*, Vol.34, No.11, pp.2083-2096 (2001).
- [34] TensorFlow (online), available from <https://www.tensorflow.org/> (accessed 2019-07-08).
- [35] LeCun, Y., Boser, B., Denker, J.S., Henderson, D., Howard, R.E., Hubbard, W. and Jackel, L.D.: Back-propagation applied to handwritten zip code recognition, *Neural Computation*, Vol.1, pp.541-551 (1989).
- [36] Simonyan, K. and Zisserman, A.: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, *Proc. International Conference on Learning Representation*, 14 pages (2015).
- [37] The mnist database of handwritten digits (online), available from <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/> (accessed 2019-07-08).
- [38] Keras Documentation: ImageDataGenerator (online), available from <https://keras.io/ja/preprocessing/image/> (accessed 2019-07-08).
- [39] Boser, B.E., Guyon, I.M. and Vapnik, V.N.: A training algorithm for optimal margin classifiers, *Proc. 5th Annual Workshop on Computational Learning Theory*, pp.144-152, ACM Press (1992).
- [40] ETL 文字データベースとは, 入手先 <http://etlodb.db.aist.go.jp/> (参照 2019-07-08).
- [41] 松延拓生: ウェブサイトのユーザビリティ評価のための視線分析方法, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.16, No.4, pp.293-302 (2014).



大平 茂輝 (正会員)

1974年生。1998年早稲田大学工学部情報学科卒業。2000年同大学大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程修了。2003年同大学院博士課程単位取得退学。2001年同大学工学部情報学科助手。2004年名古屋大学情報メディア教育センター助手。2009年同大学情報基盤センター助教。教育・研究活動支援に関する研究開発、マルチメディアコンテンツ処理の研究に従事。電子情報通信学会、教育システム情報学会、映像情報メディア学会、ACM各会員。



清谷 竣也

1994年生。2017年名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。2019年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。現在、同大学大学院情報科学研究科博士後期課程在学。深層学習を用いた自動運転の研究に従事。



伊藤 瑠哉

1993年生。2016年名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。2018年同大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻修士課程修了。プログラミング学習支援に関する研究に従事。2016年、2017年情報処理学会全国大会学生奨励賞。2018年富士通株式会社入社。



岡本 康佑

1992年生。2016年名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。2018年同大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻修士課程修了。会議中の議論スキル評価に関する研究に従事。2018年情報処理学会全国大会学生奨励賞。2018年日本アイ・ビー・エム株式会社入社。



谷川 右京

2016年名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。2018年同大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻修士課程修了。同年株式会社デンソー入社。人物画像処理の研究に従事。



出口 大輔 (正会員)

2001年名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。2006年同大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。2004~2006年日本学術振興会特別研究員。2006年名古屋大学大学院情報科学研究科研究員。2006年同大学大学院理工学研究科研究員。2008~2012年同大学大学院情報科学研究科助教。2012年同大学情報連携統括本部情報戦略室准教授。2020年より同大学大学院情報科学研究科准教授。主に画像処理・パターン認識技術の開発とそのITSおよび医用応用に関する研究に従事。電子情報通信学会、IEEE各会員



戸田 智基 (正会員)

1977年生。1999年名古屋大学工学部電気電子・情報工学科卒業。2003年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同年日本学術振興会特別研究員-PD。2005年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。2007年同助教。2011年同准教授。2015年名古屋大学情報基盤センター教授。音メディア情報処理の研究に従事。電子情報通信学会、日本音響学会、IEEE各会員。

正誤表

下記の箇所に誤りがございました。お詫びして訂正いたします。

訂正箇所	誤	正
52 ページ	受付日 2019 年 7 月 22 日	受付日 2019 年 7 月 23 日