

フィードバック可能な手書き学習課題の提出・返却システム

ー準備学習時間への関与と課題フィードバックのシステム化ー

伊代野 淳・森 嘉久・齋藤 達昭・山口 一裕・長瀬 裕・古里 武士*

岡山理科大学理学部基礎理学科

*株式会社 イー・ネットワークス

1. 序章

1-1 背景

スマートフォン・PC 並びにそれらのソフトウェアを講義に導入することによるコミュニケーションのデジタル化が急激に普及し、メモ帳、ダイアリー、スケジュール管理が電子化され、その利便性を享受できる時代となった。一方で、自宅での学習及び講義内での実技的な部分で、手書きによる学習時間は依然として優位であり、従来のアナログ的なノートテイキング、スケッチ・作図、計算などがなくなることは考え難い。また、シラバスで、受講学生に対して学習準備として標準学習時間を示して学習を促している。実際の学習時間の確認方法として、課題を出し、講義時に提出させることが取り組まれている。手書きや手計算による課題作成は、その脳に対する効果がタイピングよって行う作業よりも記憶の定着において優位であることは、最近の研究¹⁾で明らかになってきている。今後もデジタル化が進む中で手書きをベースとした学習スタイルは無くなることはなく、デジタル技術との双方の価値を認めながら、それぞれの利点を享受することが学習の効果を高める²⁾と考えられる。しかし、学習成果としての手書きの課題は、一般的にアナログ媒体である紙を基本としており、課題提出用紙が教員と学生間を一往復するタイプの存在である。学生にとってはポートフォリオとしての価値が高く、また教員にとってはフィードバックの機会として利用価値が高いにも拘らず、紙媒体であるがゆえに十分な繰り返し・振り返りの利用がなされていない現状がある。

学生が提出するアナログデータとしての手書き課題に教員が評価を書き込み、それらを画像やドキュメントデータとしてマークシートベースのデータと共にデジタルデータ化することで、科目・課題実施日・内容・評点を教員のデータベースに保存する。同時に画像データとして学生各個人のポートフォリオにも返却する。手書きデータの再利用性を高めることは、学生自身が理解度の把握し、フィードバックに大きく貢献できると考える。従来の小テストと呼ばれる取り組みを、マークシート形式のデジタルデータと画像データの結合によって管理可能なデジタルデータ化する必要性は、山崎³⁾らの主張する手書きの認知的側面の利点を最大に活用する上でボトルネックとなる管理面の煩雑さを解消できるものと考えている。

1-2 理系並びに教育系科目の状況

数学・情報・物理・化学・生物・地学の自然科学分野と教育学の多分野から構成されている岡山理科大学理学部基礎理学科は、各分野個々に概論的内容から専門的な内容までを網羅することが難しく、多くの学生は各学問分野の概論を中心として学んでいる。各分野での手書きの課題の活用方法は、例えば数学分野では証明や計算を行う際に、手書きの作業いわゆる手計算が必要である。この作業は、PCなどのデジタル機器で数式を入力することもできるが、計算や定理の理解とは別にソフトウェアの利用方法・入力スキルが一定のレベルに達する必要があるため、デジタル化の関はかなり高いといえる。また、物理学や数学に於いては、原理の作図や模式図を使った証明や計算が必要となる。作図ソフトウェアを使用することで、物理・数学の模式図を見易く且つきれいに表現することができるが、数式入力同様にその作業の関はかなり高く、直接理解を助けるものとは考え難い。生物学や地学分野では、スケッチと呼ばれる作業を通じて理解を促す過程がある。この作業で、例えばデジタルカメラで撮影した画像データを課題中に張り付けることは、理解を助けることにはなるが、手書きのスケッチの代替となるものではない。また、情報の講義に於いても、数学による計算や代数演算は必須であり、数式処理ソフトを使う以前に手計算が実行できることが必要である。

先行研究として取り組まれている事例^{3, 4)}は、本研究において大変に参考となる事例である。酪農学園大学による「飛ぶノート」³⁾は、ポートフォリオとの連携を前提とした手書き課題のデータ化を目指した先駆的な研究であり、100人規模の講義課題の回収返却システムとして機能している。初期は、バーコードによる課題認証で始まりその後マークシートに切り替えて、利便性の向上を実現している。ポートフォリオシステム Mahara との連携により管理運用を含めた統合的な環境の実現している。一方で、本学の独自システムとの連携には、システムの障壁や学生・講義、教員コード管理などで変換手続きシステムの開発が必要となる。また、明治大学教育情報化推進本部システムでは、共通複合機への専用ハードウェアを装備させる必要があり、各教員居室での作業には適していない。また、MISTCODE と QR コードによる情報管理を行うことができるが、「飛ぶノート」の実績として、QR コードの配付が障害となったことも報告されている。以上の観点で、本学システムへの将来的接続を考えながら、理科系各分野への対応を考えたシステム簡発を目指すことが良いと言える。

また、自然科学、情報、教育学の集合体としての本学科では、各分野で共通して手書き課題が出され、学生が取り組んでいる状況にある。さらに言えば、敢えて手書き学習を積極利用することは、学科の特性として学問の共通性ではなく方法論の共通性に重点を置いた取り組み⁵⁾である。デジタル化した手書き課題を管理し、学生とコミュニケーションに用いる仕組みの構築は、本学ポートフォリオシステムへの接続を目指しながら、手書き学習の価値を最大限に利用する機会であると考えられる。

1-3 目的

自然科学、情報、教育学にわたる各分野をから成る本学科においては、前述の通り学生の取り組みも多岐にわたっている。一方で、学びの手法の共通項として手書きの課題作成

が行われていることが分かってきた。デジタル化の時代に反するようであるが、数学の式の扱い、情報理論の数式的取り扱い、物理・化学における計算、生物学におけるスケッチ、地学における作図など手書き課題の提出が多く求められている。また、その課題の評価自体は各教員によるものであり、フィードバックや返却は個々のケースに依存している。

マークシートを用いたフォーマットの標準化によって提出課題を管理し、ドキュメントサーバー上で教員が管理し、学生からもポートフォリオとしてアクセス可能とするシステムを構築することで、手書き課題を標準学習時間の指標とし、フィードバックの手法として構築する。本稿では、システム構築の前段階である各分野の課題の標準化の実例を通じて、システム構築への方針を明らかにする。

2. システム化

2-1 手書きによる課題

各学問分野で共通する手書きの課題を、教員側から一元的に管理し、成績へと反映が可能でありかつ、学生から見るとポートフォリオ化されていることが本システムの目的である。このシステムでは、フォーム入力やアンケート回答などのクリックやチェックボックスの選択、タイピング入力によるテキストデータ、更に本来アナログ的な手書きの解答やスケッチ、作図を含め、デジタルとアナログの両者のシステム化を考慮して、システム設計を行う。特に今回は、手書き課題のデジタル管理によって、教員側からはコメントや標準解答例などのフィードバック経路の確保も目指す。また、個々の採点結果を最終的な成績へと反映させるデータ管理システムも要件である。

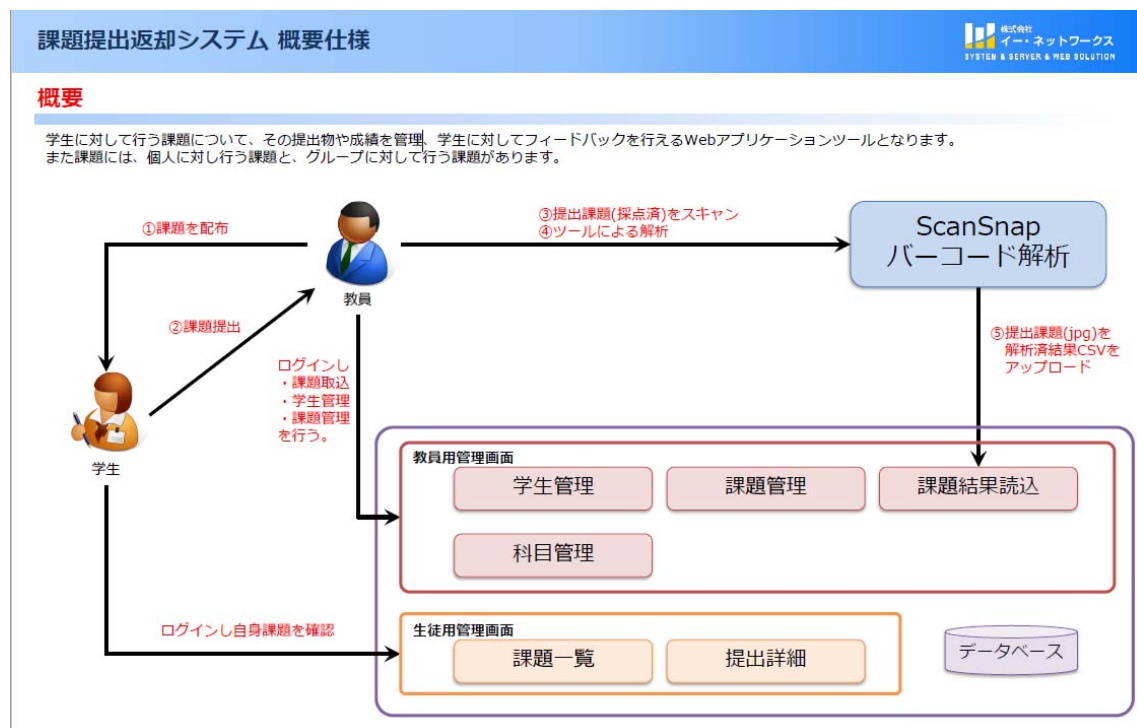


図 1. 課題提出返却システム全体仕様

2-2 提出・回収の管理システム

手書き課題には、予めマークシートによりドキュメントの管理可能なデータが埋め込まれ、学生が提出した際にそれらをドキュメントスキャナーにより取り込むことで、各種のナンバリング情報がドキュメントの画像データと共に紐づけがなされる。各課題の提出状況、成績、提出日などはデータベース上で管理される。学生側に対しては、各個人のポートフォリオに課題を返却することで学生個々が内容を確認することができ、教員と学生の間でのフィードバックも可能となる。システムには、事項に述べるマークシート付き課題フォーマット、マークシート読み取り機能付きドキュメントスキャナー、クラウド型のデータベースシステムから構成される。マークシートでは、学生番号、科目名、日時、講義内課題／宿題の判別、各課題に対する教員の評点などがデジタルデータとして読み取られ、符号化され手書き課題のデジタル画像に紐づけされる。システム側では、この紐づけされたマークシートデータに基づき、教員データベースに画像データと共にマーク項目が入力

学生番号(下のマークシートを必ず塗りつぶす)				課題(宿題)提出日		Option	採点		
				月	日				
●	●	●	●	●	●				

学生番号の塗り方が薄いと読み取りエラーが生じ、成績が評価されないことがあります。

講義名(物理化学1)と講義番号

問題番号 解答欄

ボールの水素原子モデル

ボールの水素原子モデル
 プラズマ電荷を帯びた陽子の球を
 マイナス電荷を帯びた電子が
 高速円運動していると考えられている
 電子の質量は陽子の約1/1836倍である
 静止した陽子の球を電気が囲んでいる
 すると、電子の質量: m、円運動半径: r
 円運動の速さ: v、ボールの球の半径: R
 とする。

$m \frac{v^2}{r} = \frac{k e^2}{r^2}$... ①

電子の波長を λ とし、プランク定数を h と
 すると、
 $\lambda = \frac{h}{mv}$

よって、r が定数の間 $2\pi r$ が定数波長
 の条件は
 $2\pi r = n \lambda = n \frac{h}{mv}$... ②

①より $mv^2 = n \frac{h^2}{2\pi^2 r^2}$
 これは、物理定数から定数である。
 両辺を v で割ると、
 $r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2}$... ③

よって、電子の運動エネルギー K とすると、
 $K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{k e^2}{2r}$

よって、エネルギー E は
 $E = K + U = -\frac{k e^2}{2r}$... ④

③より r を代入すると、
 $E_n = -\frac{2\pi^2 m k^2 e^4}{n^2 h^2}$

よって、
 $E_0 = \frac{2\pi^2 m k^2 e^4}{h^2}$

$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$

よって、エネルギー差 ΔE は
 $h\nu = E_n - E_l$... ⑤

よって、 $c = \nu \lambda$ より
 $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{n} \right)$ ($R = \frac{E_0}{hc}$)

$E_n = -\frac{hcR}{n^2}$

図2. 物理化学における課題の実例の一部

される。一方で、受講学生はそれぞれデータ保存領域が割り当てられ、手書き課題の結果がそれぞれの教員から各自の領域内に画像データとして返却される。課題提出返却システムの全体仕様を図1に示した。

2-3 課題フォーマット

目標は、手書き入力のアナログデータのデジタル管理であり、課題形式に対する制限を設ける必要はない。作図やスケッチを伴う出題数の少ないタイプのフォーマット、10数問程度の質問に答える小テスト的なもの、さらにグループワークへ対応したフォーマットなど多様に用意し、スキャナーで読み取るマークシート部分の共通性をもたせることで多様な学問分野に対応できることを実現する。フォーマットには必要最低限の科目番号、学生

The figure shows a sample assignment form for Physical Chemistry. It consists of several sections:

- Header Section:** Includes fields for 'グループ名' (Group Name), '月' (Month), '日' (Day), 'Option', and '採点(チェックしない)' (Grading - do not check).
- Student ID Section:** Labeled '学生番号(下のマークシートに記載)' (Student Number (recorded on the mark sheet below)), it features a grid for entering student information, with a large blue-dotted area for handwritten input.
- Answer Section:** Labeled '問題番号' (Question Number) and '解答欄' (Answer Area), it contains handwritten solutions. The solutions include:
 - Diagrams of molecular structures and chemical reactions.
 - Handwritten text such as '2P_x + 2P_y →', '2P_x + 2P_y →', and '2P_x + 2P_y →'.
 - Hand-drawn sketches of molecular orbitals or structures.
 - Red annotations, including a large red circle and arrows, highlighting specific parts of the work.

図3. 物理化学におけるグループ課題の例

番号、課題番号とその評価点、実施日などを基本として、グループワークへの対応も可とするフォーマットを作成した。手書き課題では、必ずしも小テスト的なものばかりでなく、作図などを伴うレポートに近いものも含め取り扱えることを考えている。

マークシート部分を含め、出題数に応じたフォーマットやグループワークへの対応を考えたものを事前に準備し、各教員が必要に応じて印刷して使用できる標準を行った。次の章で、いくつかの分野での課題例を示し、考察を行う。

3. 実例的な取り組み

自然科学分野の物理、化学、地学と情報の科目の中で使用した実例並びにグループワークで使用した課題を示す。

3-1 物理・化学分野

学生番号 (下のマークシートを必ず貼りつむ)		課題提出日		Option
氏名: [Redacted]	学番: [Redacted]	12月	6日 (日)	
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
学生番号の塗り方が悪いと読み取りエラーが生じ、成績が評価されないことがあります。				
問題番号	解答欄	00	00	00
1	コンピュータの接続、物理接続、電機接続、ビット認識、ビットからデータの認識—ルール=プロトコル プロトコル (Protocol) ... 「通信規約」とい、コンピュータ同士の間で情報やり取りする通信に必要のルール ↓ PPPは ... Internet Protocol → インターネット上で通信するのに必要のルール ハイパーテキスト (URL) の多くは「http」(Hypertext Transfer Protocol)	00	00	00
2	データ構造: ヘッダ+内容=荷札と荷物の関係 データ構造 ... データを集めてコンピュータ中で効果的に扱うために、一定の形式で体系立てて格納する仕組みのこと。	00	00	00
3	プロトコルの階層構造: 複数の荷札=サブヘッダ化=プロトコルの階層化 プロトコルの階層化 ... 通信を行う対象の7つの階層に分けたもの。 「7つの階層」とOS参照モデルとい、各階層の名称を「レイヤ」という。例) 最上位層: L1 第1層 → 物理層 第2層 → データリンク層 第3層 → ネットワーク層 最上位層: L7 第4層 → トランスポート層 第5層 → セッション層 第6層 → プレゼンテーション層 第7層 → アプリケーション層	00	00	00
4	階層化の利点? 階層ごとに作業を独立させることができることで、他の階層に依存することなく新しい機能を追加できれば各階層の作業を単純化させることが可能。	00	00	00
5	プロトコル体系の流れ: 70年代 (IBMのSNA)、80年代 (OSI7層モデル)、90年代 (インターネットプロトコル群) から、RFCによるオープン化 オープン化 ... コンピュータ間の標準化が進むにつれて、多くの企業がコンピュータネットワークを導入し、ネットワークが互いに通信できるようになる重要性が重要だと認識されること。	00	00	00

図4 情報分野での課題例

物理化学の講義で使用した実例を図2に示した。物理化学では、概念の理解に於いて計算と図示を併用することがあり、講義内で説明した内容を反復反芻させることで理解をすすめることは、多くの学問分野に於いても共通である。この例では、数式による部分とそれを図解させる部分に於いて手書きの優位性がある。前述したが、この内容をドキュメントツールで作成することは学生にとってかなり高い関であり、そのツールの学習がまず必要となる。このような課題に対して、教員と学生の間で課題を共有し双方が別の観点でこ

の手書きデータを活用することができる。

また、図3には、グループ学習による課題提出例を示す。講義内に与えたテーマについて、短い時間内で議論し結論を導き出すことを求めた場合である。議論した内容を結果としてまとめる際には、講義時間という限られた時間内であることから、手書きによる提出は非常に効率が良いが、グループ全体で共有させるためにはデジタル化しグループメンバーの各ポートフォリオへの直接の返却が効率的である。

3-2 情報分野

情報システムの講義で使用した実例を図4に示す。次回の講義までの課題として、講義内容の復習を目的とした課題例である。計算や図示などを含まない文章のみの解答を求め

15mm

学生番号(下のマークシートを必ず塗りつぶす)

		課題(宿題)提出日			Option
		4月	17日	宿題	
①	0	0	0	0	0
②	0	0	0	0	0
③	0	0	0	0	0
④	0	0	0	0	0
⑤	0	0	0	0	0
⑥	0	0	0	0	0
⑦	0	0	0	0	0
⑧	0	0	0	0	0
⑨	0	0	0	0	0
⑩	0	0	0	0	0

学生番号の塗り方が薄いと読み取りエラーが生じ、成績が評価されないことがあります。

問題番号

解答欄

宇宙科学1 2017/04/17

宇宙の尺度(1)長さとして用いる次の記号・単位であるメートル、Re、Ro、1AU、1ly、1pcの換算表を作りなさい(有効桁3桁)。また、それぞれの記号・単位は、どのようなシステムを記述する時に優れているか書きなさい。

	m	Re	Ro	AU	ly	Pc
m	1	1.56×10^7	1.56×10^9	6.67×10^{10}	1.06×10^{16}	3.24×10^{17}
Re	6.40×10^6	1	1.00×10^{-2}	4.21×10^5	6.17×10^{10}	2.09×10^{10}
Ro	6.40×10^8	1.00×10^2	1	4.21×10^3	6.17×10^8	2.09×10^{-2}
AU	1.50×10^{11}	2.34×10^4	2.34×10^2	1	1.59×10^5	4.85×10^6
ly	9.46×10^{15}	1.48×10^9	1.48×10^7	6.31×10^4	1	3.06×10^{-1}
Pc	3.09×10^{16}	4.83×10^9	4.83×10^7	2.06×10^5	3.26×10^0	1

mは距離 Reは惑星 Roは恒星 AUは地球系 lyは宇宙の距離 Pcは星の位置を測るに便利

宇宙科学1 2017/04/17

宇宙の尺度(2)角度の分、秒はそれぞれおよそ何度、何ラジアンか？また、年間視差1"の天体までの距離が1pc(1pc=3.09×10¹⁶cm=3.26ly)であることを、図1-6(もしくはそれに類似した図)を描いて、計算過程を示しなさい。更に、kpc、Mpc、Gpcがそれぞれどのような宇宙サイズに対応するか書きなさい。

$3.09 \times 10^{16} \text{ cm} = 1 \text{ pc} \Rightarrow R = \frac{1 \text{ AU}}{\tan \theta} \approx \frac{1.50 \times 10^{11} \text{ cm}}{\tan \left(\frac{1}{3600} \right)} \approx 3.09 \times 10^{16} \text{ cm}$

$1'' = \frac{1}{60} \times \frac{1}{60} = \frac{1}{3600} \text{ rad}$
 $1' = \frac{1}{60} \text{ rad}$
 $1^\circ = \frac{1}{180} \text{ rad}$

$1 \text{ kpc} \approx \text{銀河の直径の} 10 \text{分の} 1$
 $1 \text{ Mpc} \approx \text{銀河の直径の} 10^6 \text{分の} 1$
 $1 \text{ Gpc} \approx \text{宇宙の直径の} 10^9 \text{分の} 1$

図5 地学分野・宇宙科学における課題の実例

るものである。デジタルデータとして解答を求める場合、タイピング入力を求めることになる。その場合、課題に対するキーワード検索した結果をカット&ペーストが発生していたとしても、判定することができない。手書きでの提出を求めることは、非効率的であるとの意見もあるが、このような事例に対する古典的な対策としては有用と考えられる。

3-3 地学分野

宇宙科学の講義で使用した実例を図5に示した。この課題中では、表、図の作成を要求している。電卓や表計算ソフトウェアなどで作成することができる課題であるが、概数や有効数字を含めた課題として自作を要求している。また、後半の課題では、講義中に説明した概念を図説することを求めている。いずれの課題も、ソフトウェアとタイピングで作成することは高度なスキルを必要とし、課題の理解には結びつかない。また、地学分野では、観察結果の手書きスケッチを求める場合も多くあり、このような課題に対するデジタル化の方法としてこの様なフォーマット化は有効である。

4. まとめ

4-1 現状

現在までに物理、情報、地学、生物、教職系科目並びにグループワークを含め本システム実現に向けた課題の出し方、最適なフォーマットの研究を行ってきている。小問タイプ、図表作成を含めるタイプ、グループ学習タイプなど標準化を進め、システム化を図りつつある。システム化は、現在株式会社イー・ネットワークスにて進行中であり、これまでに実施した課題データ読み取りデータをベースとして開発を進めている。

一方で、学生側の意見としては、手書きはアナログであるが故に作業時の関が低く、取り組みやすく且つ自分の表現がしやすいという意見を聞いている。また、分量的にもA4用紙1枚程度は一科目の課題としては、適量であるとの意見もある。

学生への手書き課題回収配布システムへの意見分布調査はまだ実施していない状況であるが、これまでの各分野での課題実施状況から判断して、手書き課題の標準フォーマット化とマーク方式による情報付加を進めること、並びにシステム化は受け入れられている。

これまでの研究によって、学問分野としての共通性を軸とするのではなく、学習方法論の共通性を抽出してシステム化することができたと考えている。

4-2 課題

主にフォーマットの標準化を中心に各分野の特徴や様々なタイプの手書き課題への対応について議論を行い、試行錯誤を行いながら標準化をすすめ且つシステム化に取り組んできたため、テストデータを用いたシステムのテストは始まったばかりである。今後、課題データでシステムを様々な方向からテストを行う必要がある。また、本研究の理論的バックボーンである手書き学習のタイピングに対する優位性を検証できる調査と、実務的な課題であるシラバスに示している標準学習時間実施状況との相関解析、更に課題に対するフィードバックシステムとしての位置付けを検証する機構をシステム化する必要もあると考える。

本研究の大部分は、岡山理科大学平成29年度教育改革推進事業における「課題提出回収・返却システム（準備学習の定着とその検証を目指して）」(代表：基礎理学科 長淵 裕)

の助成によって行われた。

参考文献

- 1) M. Longcamp et al., : Learning through Hand- or Typewriting Influences Visual Recognition of New Graphic Shapes: Behavioral and Functional Imaging Evidence, May;20(5):802-15. Journal of Cognitive Neuroscience (2008)
- 2) 応用脳科学コンソーシアム「アナログ価値研究会」：手書きや紙の持つユニークな価値について、<http://www.keieiken.co.jp/aboutus/newsrelease/170704/>、NTT データ経営研究所(2017)
- 3) 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、<http://eport.f-leccs.jp/artefact/file/download.php?file=1064481&view=1849&download=1>、(2012)
遠藤大二：eポートフォリオ活用促進のための提出物管理システム、PP134-139、「大学力を高める eポートフォリオ—エビデンスに基づく教育の質保証をめざして」東京電機大学出版局 (2012/3/10)
- 4) 明治大学教育情報化推進本部：小テスト複合機スキャン機能 (Oh-ro! Meiji 連携)、<http://www.meiji.ac.jp/ksys/it/6t5h7p00000i4m7u-att/a1505204488181.pdf>
- 5) 坂東 宏和：「手書き」を活かした教育を、情報処理 Vol.57 No.7 July、 665 (2016)