

高大接続を視野に入れたタブレット端末利用型 CBT の 解答入力システムの開発と検討

——手書き認識入力を中心に——

安野 史子 (国立教育政策研究所)

本研究は、CBT の特性を活かした教科・科目ベースの問題を試作し、CBT で測れる能力を明確にすることを目的として継続的に実施してきている。2017 年度までは、解答用紙による解答方式を採用してきたが、今回、解答形式が選択肢式と短答式の設問について、解答入力システムを試作し、タブレット端末に解答を直接入力する方式を試みた。特に、用語、数字、数式、化学式等を答えさせる短答式については手書き認識入力を試みた。本稿では、小規模パイロット調査の実施結果までの報告を行う。

キーワード：CBT, 手書き文字 (数式) 認識入力, 数式, 化学式, タブレット端末

1 研究の目的

本研究は、CBT (Computer-Based Testing) の特性を活かした教科・科目ベースの問題を試作し、CBT で測れる能力を明確にすることを目的として実施してきている (安野, 2017, 2018; 安野ほか, 2018; Yasuno et al., 2019)。2017 年度までは、解答用紙による解答方式を採用してきたが、今回、解答形式が選択肢式と短答式の設問について、解答入力システムを試作し、タブレット端末に解答を入力する方式を試みた。そこで、本研究では、開発した CBT を用いて、小規模パイロット調査を実施し、解答入力に関して有効性を確認するとともに、入力システムと入力方法を検討することを主目的とする。特に、用語、数字、数式、化学式等を答えさせる短答式については、手書き認識入力¹⁾を試み、有効性と問題点を探った。

2 システム開発

これまでに開発してきた問題冊子は、作題委員で作成できる環境として、既存の (フリーあるいは OS に付随している) アプリケーションを組み合わせて、以下の手法をとってきている。問題冊子は、紙媒体のものは用いず、冊子自体を Apple Inc. が提供する電子書籍アプリケーション iBooks²⁾ による電子冊子とした。作成においては、Apple Inc. が提供するツール iBooks Author (iBA) を用いている。iBA には電子書籍に簡単にインタラクティブオブジェクトを追加するためのさまざまなウィジェット (widget) が用意されていて、これらを活用し、画像は「ギャラリー」、映像は「メディア」、動的オブジェクト部分は、動的数学ソフトウェア「GeoGebra」で作成し、HTML5 ウィ

ジェットに変換して「HTML5」として埋め込んでいる。

本研究では映像や動的オブジェクトを含む問題を開発 (安野, 2017, 2018; 安野ほか, 2018; Yasuno et al., 2019) し、それらの問題を従来型の PBT (Paper-Based Testing) の電子冊子版にするを目指している。したがって、CBT の特徴として挙げられる問題の順番や時間の制御は行わず、受験者は決められた試験時間内に、任意の順番で解答することができたり、解答した問題に戻って解答を修正したりすることができる。

そこで、我々は、これまで開発した電子書籍版の問題冊子を活かすことを前提に、前述の目的のためにどのような解答入力システムを組み込むべきかについて、検討を重ねた。その結果、継続して電子書籍アプリケーション iBooks を利用し、問題提示と一体で解答入力システムを組み込むことにした。ただし、我々は、これまでディスプレイサイズが 7.9 インチのタブレット端末 (OS: Apple Inc. の iOS9) を用いることを前提に問題を開発してきたが、解答入力も同一画面上で一体で行うことを考慮すると、ディスプレイサイズが 7.9 インチでは小さいと判断し、9.7 インチを想定して開発することにした。問題の解答形式としては、具体的には、開発問題の設問の中で、選択肢式と短答式について試作することとし、選択肢式は HTML のセレクトタブ <SELECT> によるプルダウンメニュー、短答式については手書き認識入力を採用し、どちらも iBA のウィジェット (widget) の中の「HTML5」で組み込んだ。本研究では、選択肢式、および用語、数字、数式、化学式等を答えさせる短答式についての解答入力についての検討を行うこと

を目的としているため、入力した解答の収集に関わる部分はできるだけ簡便であることを重視し、オンラインで解答収集することにした。

2.1 端末とサーバ間のデータのやり取り

iBA では、HTML5 ウィジェットを作成し、埋め込むことができる。これにより、HTML で JavaScript を呼び出せば動的なこともある程度可能となる。それを活用して、受験者情報や解答データをオンラインでやり取りをすることとした。

解答者のデータは、インターネットを通じてオンラインでやり取りをし、基本的にすべてサーバ側で管理を行う。解答前に、受験者は受験者情報（受験番号、学校コード、クラスコード、出席番号）を入力し、その情報を登録（サーバに送信）してから、解答を開始する。受験者情報が登録完了していないと、選択肢式設問も短答式設問も解答できない状態となる。他の受験者と受験者情報が重なった場合は、登録できない。

試験中のトラブルを考慮して、解答データは基本的にサーバで保持する仕組みとした。選択肢式ではセレクトタブのプルダウンメニューで選択がなされたタイミングで、短答式では手書き認識が実行がなされたタイミングで、サーバにデータ送信される。解答を変更した場合には、その都度同様にデータが書き換えられる。入力した解答は、一定時間が経過すると電子書籍上に表示されなくなるが、その場合でもその部分をタップすると、その受験者の解答がサーバから送られてきて再表示される。端末に不具合が発生し、途中から他の端末を使って解答する場合も、再度同一の受験者情報を入力すれば、それまでに解答したデータが新しい端末に表示される。

2.2 選択肢式の設定

単純に、HTML のセレクトタブ（属性でプルダウン形式のメニューを指定）による作成とした。ただし、選択肢の内容がテキストで、かつ 1 行以内に表現可能であれば図 1 に示すようにプルダウン形式のメニューに含めるが、選択肢の内容に数式が含まれる場合、あるいはすべてテキストで表現可能であっても選択肢の内容が長い場合は、図 2 に示すようにメニューは選択肢番号のみとし、内容は問題文中に別途表示した。



2.3 短答式の設定

用語（テキスト）、数字・数式、化学（反応）式等

を答えさせる短答式の設定に関して、手書き認識入力を試みた。日本語テキストの手書き文字認識は、紙筆の記述により近いという特性がある。例えば、受験者が漢字がわからなければ、平仮名あるいは片仮名の表記のままとなる。

数字・数式、化学（反応）式については、キーボード入力（フリック入力）では煩雑な分数、記号、添え字などの入力が手書き数式認識入力により容易となる。また、手書き認識入力は、ストロークデータによる認識であるため、紙筆の手書きの解答を後から OCR で電子化するよりも、認識率は各段に高い。さらに、本研究では、受験者が認識されたテキストを確認しながら解答入力する方式を採用したため、誤認識トラブルは大幅に軽減される利点がある。

今回は、プロトタイプとしての開発であるということもあり、できるだけ容易に、できるだけフリーの環境で開発できることを目指し、手書き認識の部分は、MyScript 社の MyScript CDK (Cloud Development Kit) を使って、クラウドベースの認識サービスによる手書き認識を電子書籍に統合させた。

図 3 は、問題を解き始める前の入力ガイダンスの画面の一部である。手書きで入力し、緑色  ボタンをタップして認識させる。正しく認識されなかったり、解答を修正したい場合は、赤色  ボタンをタップして、書き直す。書き直しは、一筆ごとに戻ることも可能であるが、今回は短答式のみを扱うことから、入力方法を煩雑にするよりも、単純化することを優先し、

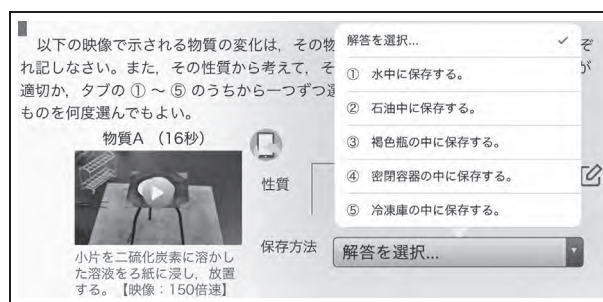


図 1 選択肢式の設定例（化学）

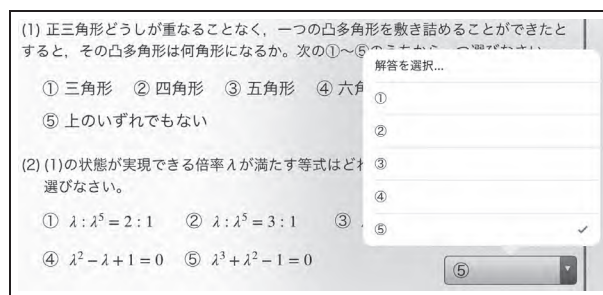


図 2 選択肢式の設定例（数学）

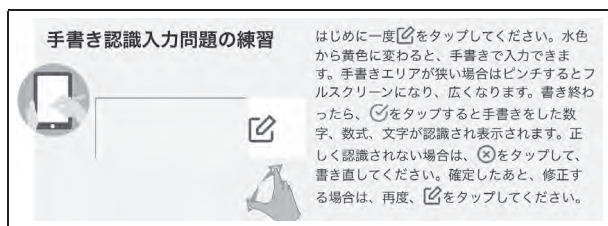


図 3 手書き認識入力問題の練習画面

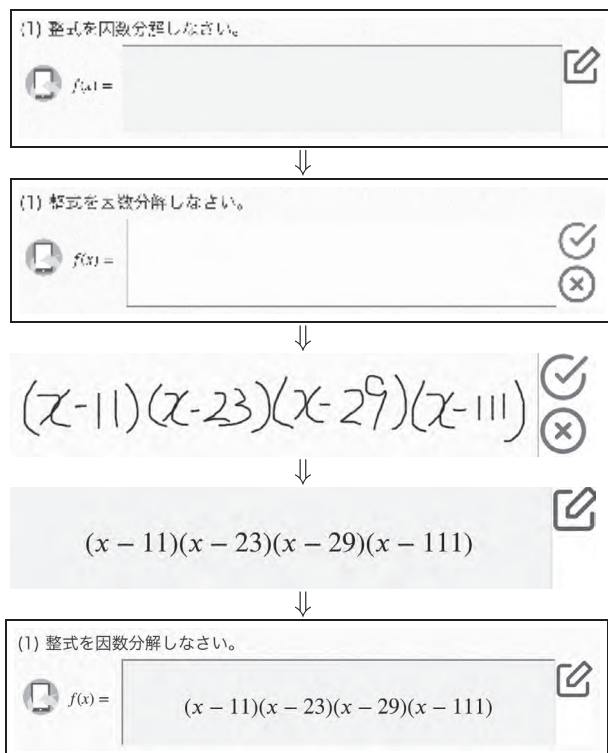


図 4 短答式の設定例 (数学)

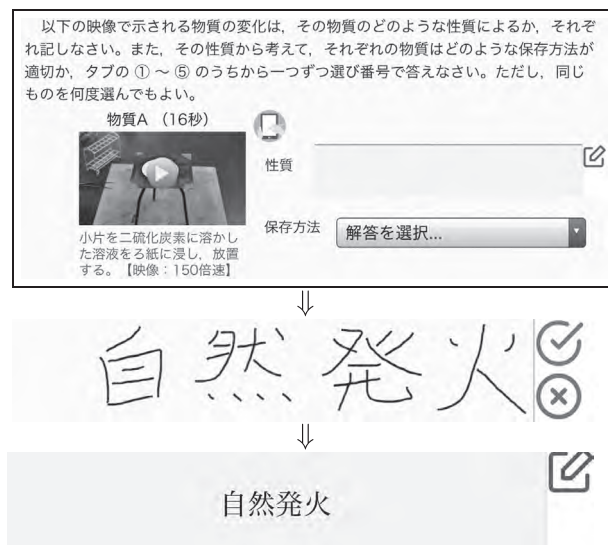


図 5 短答式の設定例 (化学)

修正するときは全て書き直すという仕様にした。なお、解答枠が小さい場合は、解答枠をフルスクリーンにして入力することも可能とした。

図 4 は、数学の短答式の設定の手書き認識入力の部分の画面である。また、図 5 は、化学の短答式の設定の手書き認識入力の部分の画面である。前者は数式認識で、後者はテキスト認識である。

3 パイロット調査

3.1 調査目的

選択肢式と短答式の解答入力方法および解答入力システムの改善に資する。

3.2 調査対象者

高等学校の学習内容を履修し終え、入学試験で理科が試験科目となっている理系学部の大学生を調査対象とし、本稿での報告は、首都圏の私立 S 大学工学部での結果のみを扱う³⁾。

3.3 調査問題

これまでに開発してきた数学、物理、化学の問題の中から、選択肢式と短答式の設定のみで構成されている問題を選び出し、短答式は、正解例が数字・数式の表記にバリエーションを持つように織り交ぜ、化学では用語、化学(反応)式を含めるという方針で、数学と物理を合わせた数理 A 冊子と数学と化学を合わせた数理 B 冊子を作成した。表 1 はそれぞれの冊子の問題の構成を示したものである。手書き認識入力による設問は、表 1 の「短答」の列に○が付している問題に含まれ、最右列に正解例が示してある。このように、数値(整数、小数、分数、平方根)、数式(文字式、不等式、絶対値を含む式)、テキスト(用語)、化学式を含めた。

解答時間はいずれの冊子も 60 分とした。

3.4 質問(アンケート)項目

手書き認識入力がうまくいかなかった場合に備え、解答用紙も別途作成し、そこに、手書き認識入力について、4 択(ア 簡単に入力できた イ 何度か書き直して入力できた ウ 入力できなかった エ 問題が解けなかった)で尋ねる質問項目と、気が付いたこと(特に、手書き認識入力)についての自由記述を付与した。

3.5 調査実施

①調査日: 2018 年 7 月 12 日および 16 日

②調査人数:

表 1 パイロット調査冊子の構成

冊子	番号	内容	選択	短答	手書き認識正解例
A	第1問	数学：関数(絶対値)	○		
A	第2問	数学：4次関数(因数分解)	○	○	$(x-11)(x-23)(x-29)(x-111)$
A	第3問	数学：平面図形	○		
A	第4問	数学：場合の数		○	220, 4, 5, 12
A	第5問	物理：力学	○	○	0.36
A	第6問	物理：電気	○		
B	第1問	数学：関数(絶対値)		○	$x, x-a , x-a -a, a < 0, \frac{a}{2} < x$
B	第2問	数学：微分		○	$\frac{7}{2}, -\frac{9}{4}, \frac{1}{3}x^3 - \frac{7}{2}x^2 + 10x$
B	第3問	数学：平面図形(三角比)		○	$2.06, \frac{4+3\sqrt{2}}{4}$
B	第4問	数学：確率	○		
B	第5問	化学：中和滴定	○	○	ホールピペット, 8.68, 0.21
B	第6問	化学：薬品の保存方法	○	○	自然発火, 酸素・水と反応, 潮解性
B	第7問	化学：電気分解	○	○	$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-, 2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$

7月12日 A冊子5人 B冊子4人(3年生)

7月16日 A冊子13人 B冊子5人(2年生)

③調査方法：問題冊子(iBooksによる電子冊子)が取り込んである9.7インチのタブレット端末(Apple Inc.のiPad, OS:iOS11),スタイラスペンを配付し、学生の所属大学の講義室で実施した。入力がかまくらな場合、解答用紙(含：質問項目)も配付した。各端末は、WiFiルータ経由(通信事業者:Softbank)でインターネットに接続した状態で実施。調査終了後スタイラスペンを除く全ての配付物を回収した。監督者は実施中、Apple Inc.のアプリ「クラスルーム」にて、受験者の画面をモニタし、受験者の進み具合を確認可能とするとともに、Web経由でサーバにアクセスし、その時点の解答状況も確認可能としている。また、調査終了後に、受験者に対して簡単なインタビュー調査を行った。

4 調査実施結果

システムのトラブルはなく実施できた。通信状態もモニターしたが、選択肢のデータ及び手書きのストロークデータのやり取り合わせて、通信データの量は1受験者あたり数十MB程度であった。

受験者側の入力については、選択肢式の設定では問題が発生しなかったが、受験者登録と手書き認識入力については問題点が明らかになった。

受験者情報を登録する部分では、登録ボタンをタップしないまま、問題の解答に進んだ受験者が1人いた。受験者登録情報の画面上にボタンはあるもののタップしなさいという指示が記載されていなかったことに起因すると思われる。実施開始直後に、監督者のサーバでの確認で判明し、タップするよう指示したため、実施への影響はなかった。小規模によるパイロット調査であるため参考程度になるが、図6に4択の質問項目の結果を示した。B冊子は、第1問を除くすべての設問で、「問題が解けなかった」と「無回答」の合計が半数を超えているが、受験者が解答入力にまで至った問題については、大方、「簡単に入

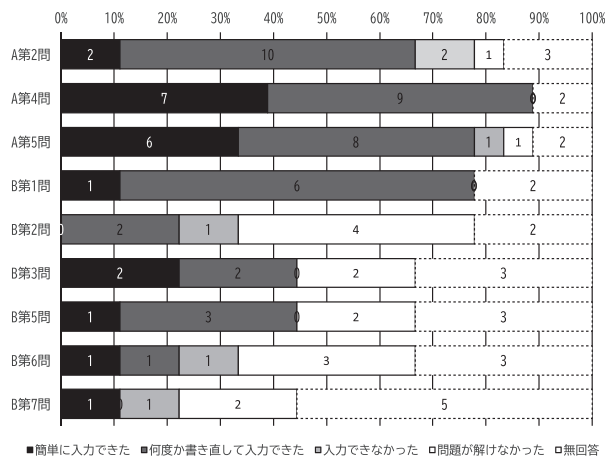


図 6 質問：手書き認識入力について

力できた」あるいは「何度か書き直して入力できた」であった。

テキスト(用語)での手書き文字認識入力については、日本語の認識率が高く、受験者には好評であった。B 冊子第 5 問で、器具名を尋ねる設問があり、正解例はホールピペットであるが、駒込ピペットという誤答が多かった。この誤答は、こまごめピペット、コマゴメピペット、駒込ピペットの 3 通りの表記があり、手書き文字認識入力、漢字変換辞書を用いた CBT よりも紙筆の記述に近い解答を可能にすることが再確認できた。

数値・数式については、何度か書き直して入力した受験者が目立つ。解答入力欄に触れてしまった結果、細かい点が付き、それも一緒に数式認識され、書き直しになるという指摘が複数あった。実際、数式認識された解答結果の中に、「1,21」、「0・3907」等が観察され、小数点が「,」(コンマ)や「・」(中点)と認識された事例が複数見受けられた。また、(数字の)「1」と「|」(パイプ、縦棒)と「/」(スラッシュ)の間の誤認識が複数見受けられた。例えば、A 冊子第 2 問の数式の係数「111」が「|||」「N」と誤認識されている。

前出の Myscript 社の Myscript CDK は、テキス

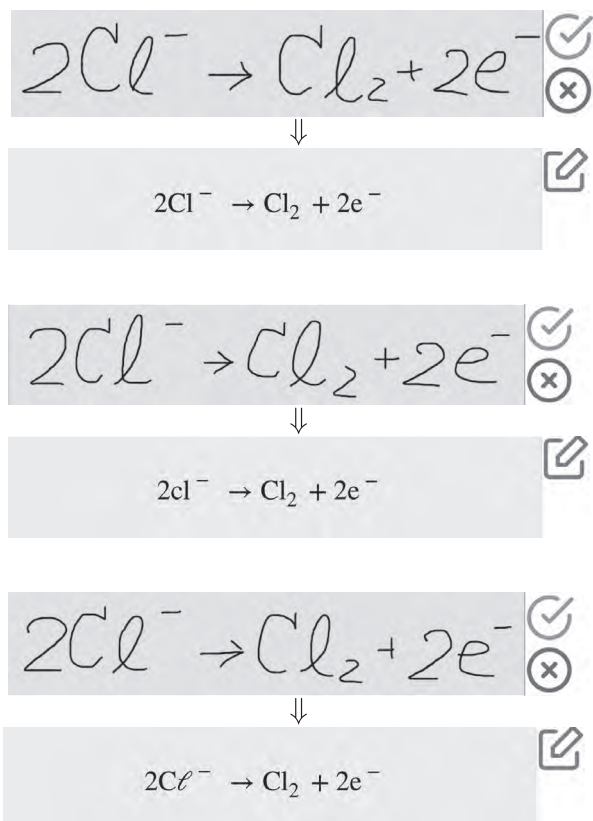


図 7 手書き認識による認識例

ト認識サービスと数式認識サービスの 2 種類が提供されている。化学式の認識サービスはないが、本研究では、数式認識サービスを利用して化学式の認識を試みた。その結果、「Cl」がうまく認識されないという指摘が非常に目立った。「Cl」と書いても、「cl」と認識される事例が多発した。図 7 に示すように、微妙な違いで異なる認識結果となる。特に、c 以外にも大文字と小文字の形が同じアルファベット、例えば k, o, p, s 等は同様の結果が発生する。これは、数式認識で化学式を認識させたことに起因していると考えられる。

5 まとめと今後の課題

本研究では、CBT の特性を生かした教科・科目ベースの問題で、解答形式が選択肢式と短答式の設問に対するものへの解答入力システムを開発し、タブレット端末に解答を入力する方式を試みた。その結果、手書き認識入力は、キーボードで入力が困難な数式記号などを受験者が容易に入力できるという点において、CBT の解答入力として、非常に有効な方法であると確認できた。今回は、汎用的なクラウドベースの認識サービスを利用したが、認識エンジンを日本語テキスト用、数値用、数式用、化学式用といったように分ければ誤認識は相当軽減させることができると考えられ、実現可能であると言っても過言でないであろう。数式については、小数点に「,」(コンマ)を用いる国もあるため、日本人の表記にしたがった認識エンジンとする必要がある。

ただし現時点で、数式とテキストが混在する解答についての自動認識、「₅C₂」のように添え字から始まる数式の認識ができないという問題点があることを付け加えておく。

今後、本パイロット調査で得られた情報を踏まえて改修し、高校生及び大学生を対象にした数百人規模のモニター調査を実施予定である。引き続き問題開発を行いながら CBT で測れる能力を明確化していくことを目指し、併せて、タブレットへ直接入力する解答方法の改善等も進めていく予定である。

注

- 1) 近年、手書き文字認識が実用化されるようになり、漢字のみの手書き入力の資格試験(例えば、漢検 CBT)や比較的単純な数字手書き入力をういた算数・数学教材などが挙げられる。本研究と同様に、認識結果を提示する教材として、ベルリン工科大学による算数教材のアリスプロジェクト (<<http://www.doc.ma.edu.tum.de/tabletpe/index.en>

html> (2019 年 11 月 20 日)) などがある。

- 2) iPad, iBooks は、米国および他の国々で登録された Apple Inc. の商標である。
- 3) 同時期に、物理問題冊子を用いて、国立 T 大学において調査を実施している。そこで、一部の問題において解答入力についても試みている。調査の主目的を問題の改善に資することとしているため、ここでは割愛するが、入力部分に関してはほぼ同様の結果であった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、各教科の作題委員、調査実施大学の関係者に感謝申し上げます。

附記

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業基盤研究(A)「高大接続に資する多面的評価のためのタブレット端末を用いた CBT の総合的研究」(平成 29～33 年度, 課題番号 17H00822)の成果の一部である。

参考文献

- 安野史子 (2017). 「高大接続を視野に入れたタブレットを用いる評価問題の試作—映像や動的オブジェクトを含む問題—」『大学入試研究ジャーナル』 **27**, pp.71-79.
- 安野史子 (2018). 「高大接続を視野に入れたタブレットを用いる評価問題の試作 (2) —映像や動的オブジェクトを含む問題—」『大学入試研究ジャーナル』 **28**, pp.155-162.
- 安野史子・西村圭一・根上生也・祖慶良謙・高橋広明・浪川幸彦・伊藤仁一・三宅正武 (2018). 「動的オブジェクトを有する CBT 数学問題の開発」日本数学教育学会誌, 第 100 巻第 5 号, 『数学教育』 **72-3**, pp.2-14.
- Yasuno, F., Nishimura, K., Negami, S. and Namikawa, Y. (2019). Development of Mathematics Items with Dynamic Objects for Computer-Based Testing Using Tablet PC, International Journal for Technology in Mathematics Education, Vol. 26 No. 3, pp.131-137.