

# Moodle+STACKを用いた 数学のCBT試験の作成及び 都立高校での試行

明治大学大学院先端数理科学研究科

先端メディアサイエンス専攻

藤田 祥一

2021/2/23

日本数式処理学会 第15期第1回 教育分科会

# 要旨

学習管理システムMoodleと数学のオンラインテスト・評価システムSTACKを用いて，マークシート方式の紙試験に近い形での数学のCBT試験を作成し，作成した試験を都立高校にて試行した．特に，本研究では「試験の公平性」に重きをおいて問題の作成や実施計画を立てた．試行した結果，トラブルは殆どなく受験者の公平性を担保して試験を行うことができた．発表では，試験の実施概要及びアンケートから得られた受験者の反応を中心に報告する．また，「MoodleとSTACKを用いたCBT試験導入の可能性」や「数学のCBT試験での数式処理システムの役割」についても議論する．

# 本研究の概要

- 学習管理システムMoodleと数学のためのオンライン評価システムSTACKを用いて，数学のCBT試験を作成
  - ▶ マークシート方式の紙試験に近い形でCBT試験を作成
- 作成した試験を東京都立の高等学校で試行
- 実践の中で改めて見えてきた，(数学の)CBT試験における現在の課題の整理及び考察を行った

## CBT (Computer Based Testing)

試験における **問題作成**， **試験実施**， **採点作業** といった工程を一通りコンピュータ上で行う試験方式

# 日本におけるCBTの動向

- 文部科学省はCBTでの全国学力・学習調査の実施を検討しており、2021年度の調査から一部試験的に実施するとされている
- 2024年度から大学入学共通テストの新設科目となる「情報」の試験をCBTで実施することが現在検討されている
  - 2020年10月に、2024年度からのCBT導入を**見送る**と報道された
- 高大接続の入試改革の一環として他教科の大学入学共通テストにおいてもCBT導入への議論が期待される
- 一方、学校現場ではCOVID-19の影響により、一斉休業が2020年3月に行われた
- 同時に**学習管理システム**（MicrosoftやGoogleのシステムが主）の導入・活用が進んだ
- GIGAスクール構想により、1人1台の端末が普及され、ICT端末の活用機会が増えることが期待される
- しかし、現在の学校現場でCBTに触れる機会は少なく、CBT試験を行うためのシステム自体教員の手元にはない

# 日本におけるCBTの研究

- 安野ら[2]の研究グループは大規模試験を想定したCBTのシステム開発と問題開発を行っている
- 受験者はオンラインのiPadとタッチペンを用いて問題の閲覧 及び解答の入力を行う
- 問題作成はiBooks Authorを使用して、GeoGebraなどの動的オブジェクトもHTML形式で挿入できる
  - ▶ GeoGebraを活用した数学の問題も作成
- 解答形式ではMy Script社の手書き認識を用いた数式の短答記入式問題の解答欄を実装

# Moodleとは

- 学習管理システムのプラットフォーム
- オープンソースかつ**フリー**なソフトウェア

# STACKとは

- 数学のためのオンラインテスト・評価システム
- 英国バーミンガム大学のChristopher Sangwinが中心となって開発
- ソフトウェア自体は公開されていて、**無料**で 사용할 ことができる

※両方ともシステムを運用するためには、インターネットサーバを必要とする

# Moodle+STACKを用いた公的試験の実践

- 亀田ら[3]は線形代数の期末試験をオンラインで実施する取り組みを行った
- 試験は教員の監視下の元に行い、各学生の端末からMoodleにアクセスして受験する
- 受験者は白紙の計算用紙を使用することができる
- 試験時間は最大60分であるが、複数回受験が可能であるため試験へのアクセス可能時間は120分と設定
  - 問題は学習単元に従ってランダム化された11題が出題される
  - 受験のたびに問題が入れ替わる仕様

# Moodle上で使用可能な問題の自動生成

- 長坂[4]は線形代数の多肢選択式問題をMoodleにインポート可能な形で自動生成するシステムを作成した
- システムはMathematica版とPython版の2種類
- 問題と正答・誤答を単に生成するだけではなく,
  - 目的に合わせた問題文の生成
  - 意味のある（解答者が間違えやすい）誤答の生成
  - 各誤答に対するフィードバックの生成
  - ランダムに選択肢の配置を全て自動で行う

# 本研究の目的

- Moodle+STACKを用いてCBTの一連の工程を行うことができるか検証
  - 受験者に分かりやすい形で問題提示が行えるか
  - 試験の公平性を担保した形で試験運営ができるか (←1番重きをおいた項目)
  - 採点処理も含めた事後処理が問題なく行えるか

※「高校現場の環境で」という意味も含めている

- 数学のCBT試験を体験したことがない高校性に対して実施したときに、Moodle+STACKで作成したCBTが試験方式の1つとして受け入れられるか
  - 高校生が初めて使用するシステム (Moodle) を使って、受験者が迷いなく数学の試験を行えるか
  - 公平に試験を受けることができた受験者が感じられるか

# なぜマークシート方式に近づけたのか

紙試験からCBT試験への移行した際に  
生じる障害を小さくするため

- 一般の高校生にとってWeb上で試験を受けることがまだ身近ではない
- STACKは解答に数式を入力させ、採点することも可能であるが、初めて扱うシステムで数式の入力まで求める解答形式にしてしまうと、入力に不慣れな受験者が戸惑ってしまう可能性があった
  - ▶ 本来測りたい数学の能力とは別の部分で差が出てしまい、試験として公平性を失う恐れ

2022年度から施行される学習指導要領には「コンピュータなどの情報機器を用いて」とICT機器を活用した学習を推奨しており、GIGAスクール構想により1人1台のICT機器の配布や校内Wi-Fiの強化も進んでいることから、ゆくゆくは操作能力に関する不公平性は考えなくてよい要素になると思われる

# 試験内容

- 試験範囲は数学II「三角関数」「指数関数」
- 試験時間は40分で大問5つ
  - 三角関数の問題は大学入学共通テスト試行調査と教科書（東京書籍）から
  - 指数関数の問題は白チャート（数研出版）から解答形式に合うように改良
- 受験回数は1回
- 試験問題は統一されたものを使用
- センター試験と同様に問題文にカタカナが振られていて、カタカナに対応した解答欄に解答を入力する方式
- 解答形式は3種類
  - 一問一答の多肢選択式問題
  - 解答群から解答を選択する多肢選択式問題
  - 直接、数値を空欄に入力する穴埋め式問題

# 問題作成

- 試験はMoodleの「小テスト」をベースに作成
- 問題は設問ごとに分けて問題バンクへ作成
  - 設問の前にある条件などの説明文は、最初の設問の前に記入するように設定
- 解答欄は設問直後に設置をして受験者の解答ミスを減らせるようにした
  - 解答群から選ぶ問題は、各解答の左側に数字を振り、  
解答欄ではプルダウンで表示される数字を選んで解答
  - 数値を入力する問題では、(複数個の)カタカナに対応した解答欄を設置  
また、解答欄を切りの良い部分で改行を行い配置した

[3] 次の式の計算結果として正しいものを解答群の中から1つ選べ。ただし、 $a, b$  は正の数とする。

(1)  $(a^3b^{-1})^3 \times (a^2b^{-3})^{-2} = \boxed{\text{ア}}$

(2)  $\left(\frac{a^2}{b}\right)^{-3} \div \left(\frac{a}{b^3}\right)^2 \times \left(\frac{a^3}{b^2}\right)^3 = \boxed{\text{イ}}$

(3) (選択してください)

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

解答群

1. 1

6.  $a^2b^6$  $\boxed{\text{ア}}$  : $\boxed{\text{イ}}$  :5.  $ab^3$ 9.  $a^6$  10.  $a^2b^7$ 

(選択してください) ◆

[2] 次の各設問に答えよ。

(1)  $0 \leq \theta < 2\pi$  のとき、方程式  $1 + \cos \theta + \cos 2\theta = 0$  を解け。ただし、解答は  $\theta$  が 小さい順に答える こと。

解答 :  $\theta = \frac{\pi}{\boxed{\text{ア}}}, \frac{\boxed{\text{イ}}}{\boxed{\text{ウ}}}\pi, \frac{\boxed{\text{エ}}}{\boxed{\text{オ}}}\pi, \frac{\boxed{\text{カ}}}{\boxed{\text{キ}}}\pi$

 $\boxed{\text{ア}}$  :  $\boxed{\text{イ}}$  :   $\boxed{\text{ウ}}$  :  $\boxed{\text{エ}}$  :   $\boxed{\text{オ}}$  :  $\boxed{\text{カ}}$  :   $\boxed{\text{キ}}$  :

# なぜMoodle+STACKなのか(その1)

- レイアウトの**自由度**が高い

- ▶ エディタでTeXが使えて、問題文の表示に数式が表示される

- ▶ **HTML**で問題文や設問のデザインが変えられる

- ▶ 設問の解答方法や解答欄の設定も**パッケージ化**されている

⇒ Moodle上のエディタに打ち込むだけで問題作成ができる

⇒ Moodleを**熟知していない人**でも問題の作成・共有が可能

⇒ 問題作成はMoodleの機能で足りる！

# なぜMoodle+STACKなのか(その2)

- 採点設定の自由度が高い

- マークシートの穴埋め式問題では、複数の解答欄を**完答設定**にして正誤判定をする場合がある（例えば、分数、多項式、平方根）

- 自動採点を行う上でも上記と同様の採点ができることが求められる

- STACKのポテンシャル・レスポンス・ツリーを用いて複数の解答欄を同時に採点することで、マークシートと同様な採点が可能になる

（これはMoodleのテスト機能だけでは**設定できなかった**）

⇒ 得点はMoodleのIDに紐付け可能

# なぜMoodle+STACKなのか(その3)

- 試験時間の管理ができる

- ▶ 小テストの公開日時・終了日時を設定することで、試験のタイムスケジュールを管理できる

- ▶ 制限時間を設けることで試験終了後に**自動**で解答が送信されるため、終了後に解答するといった不正行為を防ぐことができる

⇒ 試験監督者の**手間**や**人的ミス**が軽減される

## 補足

「公開日時と終了日時の間」と制限時間を**同じ**にしてしまうと、正確に試験時間を計れない恐れがある

例： **14時**を終了日時に設定した制限時間**40分**の試験を  
**13時半**から受験すると**30分**しか受けられない

# 高校生への調査概要

- 調査日：2020年11月10日
- 調査対象：東京都立高等学校 数学II履修者 14名
- 調査方法
  - 学校内のパソコン室を借りて実施
  - 問題の閲覧，解答入力は全てMoodle上で行う
  - 試験終了後，全員にアンケート調査及び数名にインタビューを実施

## 補足

生徒は数学の授業内で，Microsoft Formsを用いた数学の課題を行った経験がある

# 試験環境

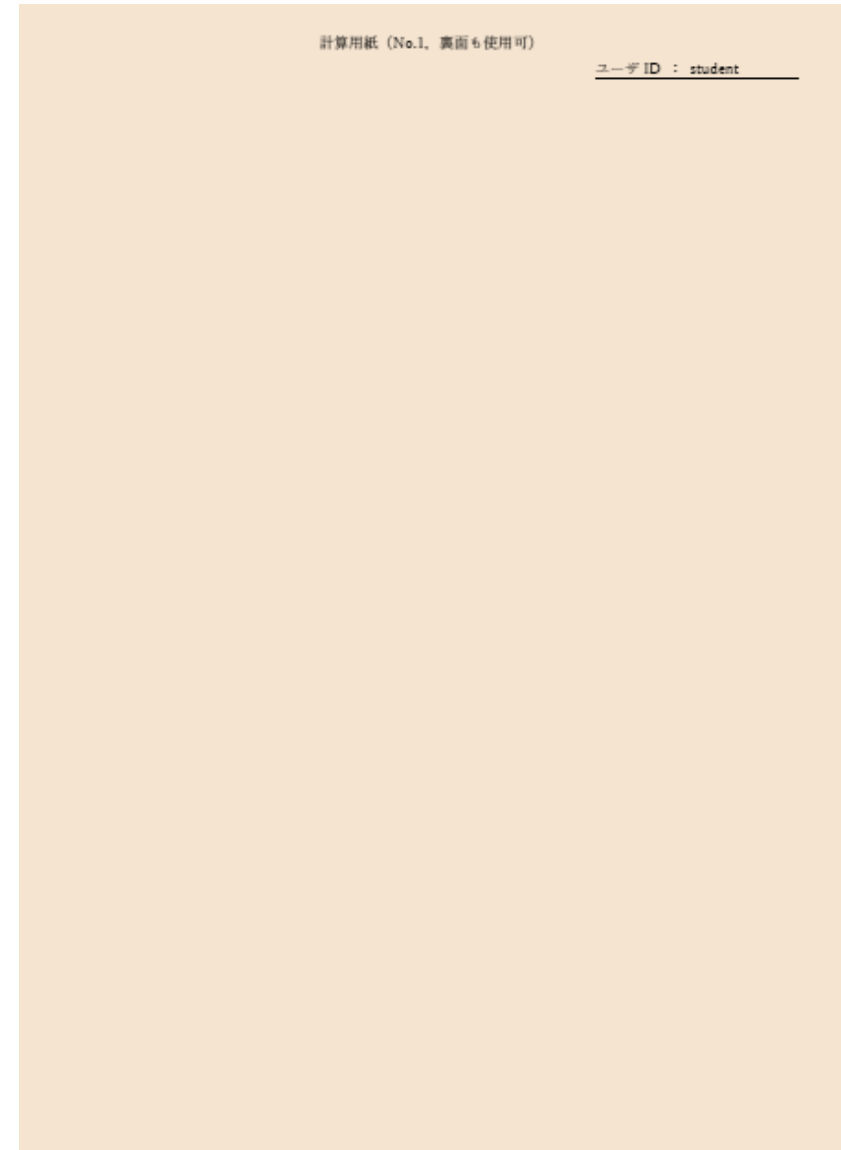
- 受験者は1つの教室に集まり、**試験官の管理下の元**で受験する
- 試験官兼通信トラブル対応係を**4人**配置
- 端末は**デスクトップパソコン**とキーボード（テンキー付）を使用
- 各端末は有線LANにて通信
  
- 受験者は計算用紙を自由に使ってもよい
  - 開始時に**2枚**配布 必要に応じて何枚でも使える
  - 採点には影響しない
- 試験中はMoodle以外のWebページは開かないように指示
  - 開始前の注意事項で開いた場合は不正行為に該当することを明記
  - 指導者用の端末から**各受験者の画面の確認**、試験官の**見回り**で不正行為を監視

# 調査の流れ

1. 受験者が座る席に受験票（MoodleのID,PW）と計算用紙2枚を事前に配布しておく
2. 指定された席に受験者が座り，パソコンを立ち上げる
3. MoodleのURLに各自でアクセスして，ログインする
4. 解答練習用のチュートリアルを各自で行う
5. チュートリアルを終えた受験者から試験開始画面に行き，表示されている注意事項を黙読しながら開始時間まで待機
6. 試験官の開始の合図と共に，ブラウザを更新して各自で試験を始める（試験時間40分）
7. 試験を終えた受験者からアンケートに回答して，全体の試験終了時間まで待機する

# 受験票と計算用紙(本物は白です)

|                    |
|--------------------|
| 受験票←               |
| ←                  |
| ユーザ名 : student002← |
| ←                  |
| パスワード : s-92EJXX←  |



# 試験を実施する上での工夫

- 受験者が画面を見てどのボタンを押せばいいのか迷わないように、事前に消せるMoodleの表示は**全て消しておいた**
- 受験者が困るであろう事柄については注意事項へ記載することで試験前に注意をうながした
  - ▶ **タイマーの位置**やページ移動の**操作**について強調
- 藤田以外にトラブル対応要員として、Moodleの操作が分かる学部生2名を配置
- 試験問題の公開日時と終了日時の間を制限時間より**10分**長めに設定することによって、機材トラブルなどで試験時間が**十分に確保できなかった場合の保障**を設けた

# 試験を実施して率直な感触

運営する上では、試験として成り立たない要素はなかった

- 試験中、通信環境によるトラブルや受験者の操作に関する  
トラブルはなかった
  - ▶ 受験者から「ページを戻ることができるか」「解答を終了するにはどこのボタンを押せばいいのか」という質問があったが解答への影響はなかった
- 通信機器によるトラブル ⇒ なし
- 問題の閲覧や解答方法によるトラブル ⇒ なし
- 受験者間のICT技術の差 ⇒ 見た限りでは確認できなかった
- 不正行為 ⇒ 試験中はなかったが、行える余地はあった

# アンケートの一部を紹介します

アンケートの設問は，選択式の質問の後に自由記述欄を設けて意見を述べて書いてもらう形式となっています

用意されたパソコンからログインして試験開始の画面を開くまでに何かトラブルはありましたか。

|   | 回答           |
|---|--------------|
| トラブルがあり, このトラブルを自力で解決することができず受験に影響が出た     | 0            |
| トラブルはあったが, 自力で解決できるトラブルであったため受験には影響が出なかった | 2 (14.29 %)  |
| トラブルはなかった                                 | 12 (85.71 %) |

### トラブル内容

- ログインに時間がかかった
- (チュートリアル of 段階で) 前の問題に戻る方法が分からなかった

試験時間中，何かトラブル（機器の故障や通信不良など）はありましたか。

回答

トラブルがあり，問題の閲覧や解答の入力が中断されるなど設問に解答する上で影響があった

0

トラブルがあったが，設問に解答する上では影響はなかった

0

トラブルはなかった

14 (100.00 %)

多肢選択式問題，数値の穴埋め問題の  
解答方法が分かりにくくはなかったですか。

回答

解答方法が分かりにくく，設問に解答する上で影響があった

0

解答方法が分かりにくかったが，設問に解答する上では影響はなかった

3 (21.43 %)

解答方法は分かりやすかった

11 (78.57 %)

分かりにくかった理由

- 図が小さかった
- 選択肢のラジオボタンの位置がどの図に対応しているのか分からなかった

紙の試験とは違い問題文や設問へ直接書き込みができなかったですが不便でしたか。

回答

直接書き込みができず不便であり、設問に解答する上で影響があった

0

直接書き込みができず不便であったが、設問に解答する上では影響はなかった

4 (28.57 %)

不便ではなかった

10 (71.43 %)

不便な理由についての自由記述がなかった

今回の試験方式はマークシート方式の試験と比べて、問題への取り組み方や解答記入の方法など何か違いがありましたか。

|                         | 回答          |
|-------------------------|-------------|
| マークシート方式の数学の試験を受けたことがない | 1 (7.14 %)  |
| 大きな違いがあると感じた            | 1 (7.14 %)  |
| やや違いがあると感じた             | 6 (42.86 %) |
| ほとんど違いはないと感じた           | 6 (42.86 %) |

## 理由

- マークシート方式では、1～4もしくはア～エなど4、5の選択肢があると決められているが、今回の試験では、そういうことはなかったと感じた。
- マークシート方式も問題を解いて当てはめるので今回の試験と似ていると感じました。

成績や進路に影響する数学の試験を今回のような試験方式で行うとしたとき、あなたは「この試験が公平である」と思いますか。

|               | 回答          |
|---------------|-------------|
| 不公平である        | 0           |
| どちらかという不公平である | 2 (14.29 %) |
| どちらかという公平である  | 7 (50.00 %) |
| 公平である         | 5 (35.71 %) |

## 理由

- カンニング防止のため、**パソコンの配置**を入念にチェックすれば問題ないと思う。
- トラブルが発生（故障など）の**対処ができるのならば公平**であると思う。
- ペーパーテストよりも効率はだいぶ上がるが、パソコンを上手に扱える人とそうでない人の**差が激しい**と、解答する時間も差が出てしまうため、どちらかという不公平であると解答した。
- 問題が見やすく、**チュートリアルがある**からです。

今回の経験も踏まえて、今後、学校の学期末試験や大学の入学試験の数学が今回のような試験方式で行われるとなったとき、あなたは賛成ですか。反対ですか。

|         | 回答          |
|---------|-------------|
| 反対      | 1 (7.14 %)  |
| やや反対    | 2 (14.29 %) |
| どちらでもない | 2 (14.29 %) |
| やや賛成    | 6 (42.86 %) |
| 賛成      | 3 (21.43 %) |

### 理由

- 受験者たちのCBT方式での試験に対する不安、疑問を取り除くのは難しいし時間がかかると思う。
- 紙で問題を解くのとあまり違いが感じられなかったが結局紙に書かなくてはならないのは少し面倒だった。
- 消しゴムで間違った答えを消して新しい答えを書く時間が短縮できる。
- 現状のような、感染症対策としては最適であると思う。
- 選択群の数字をマークシートの中から選んでマークすると手間がかかるから
- 問題が見やすく、メモを別で書いて解けるのでやりやすかったです。

# Moodle+STACKのシステム上の課題

- 残り時間のタイマーが目立たない
  - 見逃しそうになった受験者もいた
- 小テストナビゲーションから問題番号を押してページを移動できるのは良いが、どの設問（問題1(1)など）がどの番号に対応しているか分からず移動しづらい
- 選択肢のラジオボタンの位置が調整しにくい
- プルダウンが解答群と重なってしまい選びにくい
  - プルダウン内に各解答も表示させれば良いが、日本語を含む場合はSTACKでは表示できない
- 分数で表示される指数が大きさが調整できない
- iPadやMacbookによってはレイアウトが崩れてしまう場合がある

# 今回の試験環境における実施上の課題

- 不正行為防止への対応
  - ▶ 端末をオンラインで行うCBTだからできる不正行為（検索，外部との通信，アプリ使用など）をどう防止するか（Moodle+STACKの機能だけでは不十分）
  - ▶ 単純に試験監督が監視だけで本当に防げるのか
- 試験時間とは別に保障の時間を設けたが，順調に試験が終わってしまった受験者とトラブルにより終了時間が異なる受験者をどう混在させるか
- 今回の試験方式でトラブル対応及び保障が本当にできるのか
  - ▶ トラブルがなかったが，今回の備えで何かあったときに試験の公平性が保てるのか

# 本研究のまとめ（その1）

- 本研究では、Moodle+STACKを用いてマークシート方式の紙試験に近い解答形式での数学のCBT試験を作成，都立高校にて作成したCBT試験を試行
  - 試験を運営する上では，大きなトラブルがなく試験が実施できた
  - 端末の操作や解答方法に関して，解答する上で大きな影響が出た受験者はいなかった
  - アンケートから，受験者は今回の試験方式が公平性を感じて受験できたことが確認された
- 今回の試験において公平性が損なわれることがなかったということが言える
- 学校の期末考査レベルであればMoodle+STACKでもCBT試験が実施可能？

# 本研究のまとめ（その2）

- 一方，不正行為防止に向けた対策においては（Moodle+STACKの機能のみでは）**不十分な点**があり，試験の公平性を担保できたとは言いきれなかった
  - アンケートにおいても，不正行為防止について指摘する記述もあった
- 受験者の**規模が小さかった**から，Moodle+STACKだけでトラブルなく試験運営ができたのではないかということも考えられる
- 不正行為対策も含めて，今回の試験方法が大規模（1会場50人程度）でもトラブルなく実施できるCBT試験であるかを検討することが今後の課題の1つ
- 学校現場でCBT試験を行う上で**最低限必要**な機能の検討
- 数式の記入式問題を導入した場合も問題なく試験がトラブルなく実施できるのかを検討する必要がある

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，Moodle及びSTACKを使用できる環境をご提供くださった名古屋大学の中村泰之准教授に深謝いたします

また，貴重な授業時間を使ってCBT試験の調査にご協力頂いた授業者の先生をはじめ，参加者の生徒に感謝を申し上げます

# 参考文献

1. 中村泰之(2010). 数学 eラーニング 数式解答評価システム STACKと Moodleによる理工系教育. 東京電気出版.
2. 安野文子(2020). 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 一手書き認識入力を中心に一. 大学入試ジャーナル No.30. pp.112-117
3. 亀田真澄, 宇田川暢(2019). 期末試験のオンライン化について～「行列の階数」「固有値」「固有ベクトル」～. 京都大学数理解析研究所講究録 No.2142 “数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究”.
4. 長坂耕作(2019). Moodle XML Question Generator for Python. 京都大学数理解析研究所講究録 No.2142 “数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究”.
5. 独立行政法人大学入試センター (2019). 平成 30年度大学入学共通テスト試行調査.
6. 俣野博ほか(2012). 新編 数学II. 東京書籍.
7. チャート研究所 (2019) . 増補改訂版 チャート式 基礎と演習数学II+B. 数研出版.

# 議論

- 数学のCBT試験における数式処理システムの役割とは
- CBT試験での数式処理システムの活用の可能性（教科問わず）
- 数式処理システムを用いて、テスト学的に試験の公平性（難易度）が担保される数学の試験問題の自動生成方法
- CBTでの数式の記入式問題導入に向けた、受験者への解答方法（キーボード入力，手書き入力問わず）の練習及び指導方法とは
- CBTでの数学の長文記述式問題の出題・採点の実現可能性について