

中等教育における生成 AI を用いた数学演習問題生成の自動化

— 教師の作問負担を軽減：「問題を作る」から「生成する」へ —

吉田賢史*1・八百幸大*1・劉雪峰*2・齋藤裕*3

Email: k.yoshida@waseda.jp

*1: 早稲田大学高等学院

*2: 東京女子大学 現代教養学部 情報数理科学科 / 株式会社 CES-Alpha

*3: 新潟大学 ビッグデータアクティベーション研究センター

◎Key Words 生成 AI, 数学教育, CBT(Computer Based Testing / Training)

1. はじめに

GIGA スクール構想のもとで 1 人 1 台端末環境が整備され、文部科学省が開発した公的 CBT (Computer Based Testing) プラットフォームである MEXCBT(メクビット) は、2024 年には約 890 万アカウントが登録されるに至った⁽¹⁾。MEXCBT は、学校や家庭における個別最適な学びを支える基盤として広く活用されており、自動採点機能を通じた即時フィードバックや学習ログの蓄積が、児童生徒の学力向上に寄与することが期待されている⁽¹⁾⁽²⁾。一方、数学分野では、記述式解答や数式の代数的等価性を自動判定する機能が十分ではなく、CBT の利点を十分に活かすことができない状況が続いている。

中等教育における数学の授業では、演習問題を通じた反復学習が学力定着に重要な役割を果たす。しかし、教員による作問・採点・返却という一連の作業は時間的負担が大きく、十分な問題量の確保が課題となってきた。我々はこの課題に対応するため、数式の代数的等価性を直接判定する数式処理エンジン(CAS: Computer Algebra System)を搭載した自動採点システム CES-Alpha を開発し、中等教育の現場に導入してきた。CES-Alpha は、Moodle STACK と同様に数式の等価性判定を行う機能を持ちつつ⁽³⁾、フリーパラメータによる類題の自動生成や、ブラウザ上での即時採点を特徴とする。吉田らは本システムを中学生に試用してもらい、経験指向型の学習者が目的指向型より有意に高い利用頻度を示すこと、および教員の視点から問題作成数が最も多く確保できたことを報告している⁽³⁾。同報告では、今後の展開として生成 AI を活用した解説機能や学習支援の個別化の可能性を示した。

しかしながら、教員の視点からは、紙媒体の問題を LaTeX 化する手間と、変数を意識した Step-by-Step の解説を LaTeX 形式で記述する負担が、実用上の課題として残されていた。本稿では、これらの課題を解消することを目的として、既存の問題(紙媒体または手書き)を OCR により LaTeX 化し、生成 AI が問題と解説をセットで自動生成する機能を開発したので報告する。発表では本機能の UI を中心に示し、作問から授業設計への教員の役割変化について議論する。

2. CES-Alpha の概要

CES-Alpha は、クラウド環境上で数学演習問題の自動出題および自動採点を実現する教育支援システムである。数式処理システム(CAS: Computer

Algebra System)として Python の代数計算ライブラリ SymPy を採用し、「 $2x + 6$ 」と「 $2(x + 3)$ 」のような代数的に等価な式を正答として認識する。問題作成は LaTeX 形式に対応しており、入力された数式のリアルタイムプレビューや穴埋め形式の専用構文も実装されている。また、フリーパラメータを設定することで、同一の問題構造を保ちつつ数値や条件を変更した類題を自動生成できる。例えば、「 $\int (\sin(ax + b) dx$ を求めよ」という問題においてパラメータ $a \in \{2, 4, 6\}$, $b \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ と設定した場合、15 通りの異なる問題が自動生成される。生成された問題は自動採点と連携し、学習者がブラウザ上で解答を送信すると即時に正誤判定が行われる。

3. 生成 AI を活用した問題・解説生成機能

3.1 設計の方針

2 節で述べたフリーパラメータによる類題自動生成では、教員が変数の範囲や組み合わせを設計する必要がある。また、変数の値に応じた Step-by-Step の解説は教員が別途作成しなければならず、特に LaTeX 形式での記述は中等教育の現場では習熟者であっても手間を要する。本機能はこれらの課題を解消するため、生成 AI を活用して問題と解説をセットで自動生成する仕組みを新たに実装したものである。

具体的には、紙媒体や手書きの問題を OCR により LaTeX 化し、その LaTeX ソースを入力として生成 AI に与えることで、同一の問題構造を保ちつつ数値や条件を変更した類題と、それに対応する Step-by-Step の解説を同時に生成する。フリーパラメータ方式と異なり、生成 AI が問題そのものを生成するため、教員はパラメータの設計を行う必要がない。Moodle STACK が乱数を用いて係数を変えた類題のみを一括生成するのに対し、本機能は問題と解説をセットで生成する点に特徴がある。また、手書き入力を起点とすることで、タイピングに不慣れな教員でも容易に利用できる UI を実現している。

3.2 システム構成と UI

本機能は、OCR モジュール、生成 AI 連携モジュール、および CES-Alpha への出力モジュールの 3 つから構成さ

れる。教員はUIを通じて紙媒体または手書きの問題画像を入力し、OCRによりLaTeX化し、生成AIによる類題・解説の生成を実行する。その後、生成された問題文を確認・修正する。修正された結果はJSONファイルとして出力され、CES-Alphaに読み込むことで即時に演習へ活用可能である(図1)。

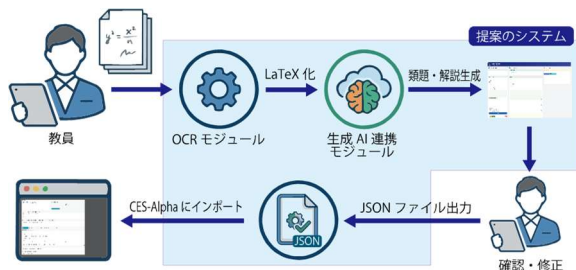


図1 提案するシステムの概要

3.3 生成される問題・解説の形式

生成AIは、入力された手書きのLaTeX形式の問題、或いは、入力された画像データ問題から生成されたLaTeXソースをもとに、同一の解法構造を持つ類題をLaTeX形式で出力する。あわせて、問題の数値・条件に対応したStep-by-Stepの解説も自動生成される。解説は各ステップを順序立てて記述したLaTeX形式で出力される。画像データを入力として利用する場合、教員はLaTeX記法を直接記述することなく問題を入力できるため、LaTeX記法に不慣れな教員であっても解説付き演習問題を容易に準備できる。

4. UIと生成例

4.1 画面構成

本機能のUIは、画像入力画面、LaTeX確認・修正画面、および生成結果確認画面の3つの画面から構成される。教員はまず画像入力画面において、紙媒体または手書きの問題画像をアップロードする。次にLaTeX確認・修正画面において、OCRにより変換されたLaTeXソースを確認し、必要に応じて修正を加えた後、類題・解説の生成を実行する。生成結果確認画面では、生成された類題と解説をプレビューし、CES-Alphaへの出力を行う。各画面のUIを図2に示す。

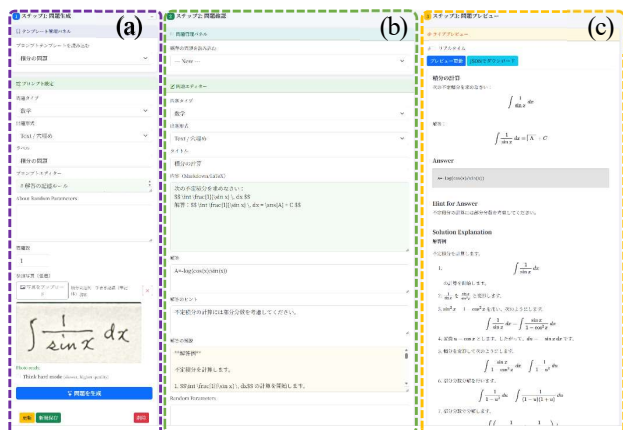


図2 システムのUI

4.2 生成例

図2(a)に、手書きまたは過去の問題の画像をアップロードする。画像ではなくLaTeX形式で記述することも可能である。例えば、 $\int \frac{1}{\sin x} dx$ の問題をシステムに与えた場合、類題として、 $\int \frac{1}{\cos x} dx$ 及び $\int \frac{1}{\sin(2x+1)} dx$ の問題を生成した。このそれぞれの問題に対し、積分の手順を段階的に示したStep-by-Stepの解説のセットが、図2(b)の項目にCES-Alphaの問題形式で出力される。解説はLaTeX形式で記述されており、CES-Alphaに読み込むことで即時に演習へ活用可能である。図2(c)には、LaTeX形式ではなく実際に生徒に示される解法が、見慣れた数式の形で表示される。

5. おわりに

本稿では、自動採点システムCES-Alphaを基盤として、生成AIを活用した問題・解説自動生成機能を開発したので報告した。本機能は、紙媒体や手書きの問題を画像として入力し、OCRによりLaTeX化した後、生成AIが類題と解説をセットで自動生成するものである。生成された問題・解説はJSONファイルを介してCES-Alphaに取り込まれ、即時に演習へ活用可能である。

筆者の使用感として、以下の3点が挙げられる。第一に、生成AIが問題そのものを生成するため、フリーパラメータの設計が不要となり、作問にかかる負担が大きく軽減された。第二に、手書きの問題を画像として入力できるため、LaTeX記法に不慣れな教員であっても類題と解説を容易に準備できる。第三に、Step-by-Stepの解説をLaTeX形式で自動生成する機能により、解説作成の負担が実質的に解消された。

これらにより、教員が作問・採点に費やしていた時間を授業設計に充てることが可能となり、教員の役割が作問から授業設計へと移行することが期待される。また、CES-Alphaが元々有する学習ログ機能と組み合わせることで、生徒の試行錯誤の過程を記録・分析する基盤がさらに充実し、思考特性に応じた個別最適化学習の設計への示唆が得られると考えられる。

今後の課題として、生成AIの出力品質の安定性の検証、および本機能のCES-Alphaへの統合が挙げられる。統合が実現することで、画像入力から類題・解説の生成、演習への活用までの一連の操作を単一のUIで完結できる環境が整い、教員の利用障壁がさらに低下することが期待される。

参考文献

- 文部科学省: "文部科学省 CBT システム (MEXCBT: メクビット) について", https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/mext_00001.html (アクセス日: 2026年4月25日)。
- 文部科学省: "文部科学省 CBT システム (MEXCBT) について", pp. 30, 教育DX推進室 (2022)。
- 吉田賢史, 八百幸大, 劉雪峰, 齋藤裕, 田中一成: "中等数学における自動採点システムCES-Alphaの導入と実践的活用—思考特性に応じた個別最適化学習の可能性と課題—", PCカンファレンス北海道2025論文集, pp. 24-27 (2025)。