

TeX 書式で解答する数学 e-learning システム

沼津工業高等専門学校・教養科 鈴木正樹

Masaki Suzuki, Division of Liberal Arts, NIT(KOSEN), Numazu College

沼津工業高等専門学校・制御情報工学科 細谷真唯子, 小山田純, 黒岩佑真, 柴田遥陽

Maiko Hosoya, Jun Oyamada, Yuma Kuroiwa, Haruhi Shibata,

Department of Control and Computer Engineering, NIT(KOSEN), Numazu College

1 はじめに

2019年に開始されたGIGAスクール構想の実現により、教育現場ではパソコンやタブレット等のICT端末機器が整備され、2020年には「文部科学省におけるデジタル化推進プラン」を基に教育のデジタル化が急速に進められている。これらは、同時期に流行した新型コロナウイルス感染症対策により、凶らずも全国的に実施されたオンライン授業に対応するために、結果として、その取組み自体が加速したといえる。

教育のデジタル化が推進されるなかで、著者の一人である鈴木は、対面授業に戻った今でもオンライン授業の手法を取り入れ、対面授業とオンライン授業を組み合わせるハイブリッド授業やICTおよびWebを利用した授業を実践し、教育効果の向上に努めている。具体的には、従来の黒板による授業や印刷物による課題の配布・回収に代わって、動画やスライドを活用した授業を展開し、課題はMoodleやTeamsなどのLMS (Learning Management System: 学習管理システム) を用いてやり取りしている。しかしながら、課題の配布・回収については、サイズが大きい画像ファイルやPDF形式のファイルのやり取りをLMSにて行い、採点は場合によって印刷するなど、その負担は大きい。Microsoft Formsを用いることもあるが多肢選択式や短答式となるため、誤答から学生の理解度を推測することは困難である。これらに通底することは、数式を誤解のないテキストとして扱うことができないことにある(誤解とは、例えば、 $1/(x+1)$ を $1/x+1$ と記述する等で、質問者と回答者が異なる受け取り方をすることを指す)。そこで、テキストベースで数式をやり取りするシステムを導入する、という考えに至った。

現在、よく利用されている同種システムとしては、STACK, WeBWorK, Numbasなどの他に、近年、高遠節夫氏を中心としたグループにより開発されたKeTLMSがある。これらは、それぞれに優れた点があり有用であるものの、2023年の後期の授業にて、KeTLMSを利用した際に学生から、数式の入力Maxima書式や独自書式であること、システム内でやり取りが完結できないことなどが利用者視点の課題として挙げられた他、UI (User Interface) やシステム構築に関する独自の意見などが寄せられた。それらの意見を受け、今年度、テキストベースで数式をやり取りするシステムを、学生主導の学生視点で開発することにした。数式入力は一般的に普及していると考えられるTeX書式とする一方で、TeX書式に馴染みのない学生に対応するためにGUIによる入力(分数やルートなどの数式構造や数式記号を別に用意し、それらを選択して値を入力することで数式を作図するように構築する方式)を備え、さらに、採点補助や結果一覧表示が可能

な e-learning システムの開発に着手し、現在そのプロトタイプを、著者の四人の学生らが小山田をプロジェクトマネージャーとし、黒岩、柴田をシステムエンジニア兼プログラマー、細谷をコーディネーターとして開発した。なお、これらの活動は、授業や卒業研究、クラブ活動の一環ではなく、学生らの主体的な活動であることを付記する。

本稿では、「Formula Form」と名付けた TeX 書式で解答する数学 e-learning システムの機能と利用方法、さらに、実際の授業で運用した際の利用者のアンケート結果について報告する。

2 e-learning システム「Formula Form」

Formula Form は、TeX 書式にて問題の作成と回答を行うことができる Web システムである。そのため、問題を作成し提示する教員側も回答を作成して送信する学生側も追加のアプリケーション等のインストールは一切不要であり、一般的な Web ブラウザで利用可能である。パソコンだけでなく、タブレットやスマートフォンなど様々な端末で利用することを想定しているため、図1のように、レスポンスデザインに対応している。なお、UI ライブラリは React を、Web フレームワークは Next.js を用いて開発した。



図 1: パソコン，スマートフォンで使用した際の Formula Form の画面

本システムを利用するためには、まず教員、学生ともに、それぞれ教員側、学生側アカウントを作成する（図2）。教員側アカウントでログインすると「2.1 問題の作成」や「2.3 採点」を行うことができ、学生側アカウントでログインすると「2.2 問題の回答」や「2.4 結果の確認」を行うことができる。なお、教員側アカウントは回答や結果の確認も行うことができる。



図 2: アカウント作成画面

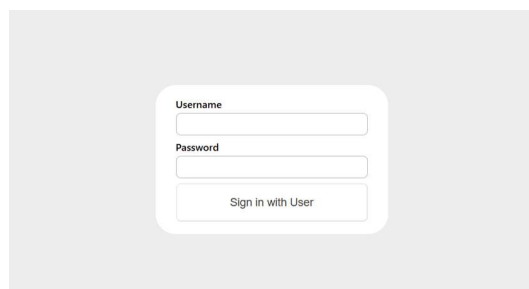


図 3: ログイン画面

2.1 問題の作成（教員側）

教員側アカウントでログイン後、問題作成画面にアクセスし、タイトル、説明、開始日、締め切り日、割り当てるクラスを設定する（図4左）。次に、画面左メニューにある「+」を選択することで、大問番号（Part と呼ぶ）が次々に追加され、追加された大問番号を選択することで、その番号の問題を作成する画面になる（図4右）。

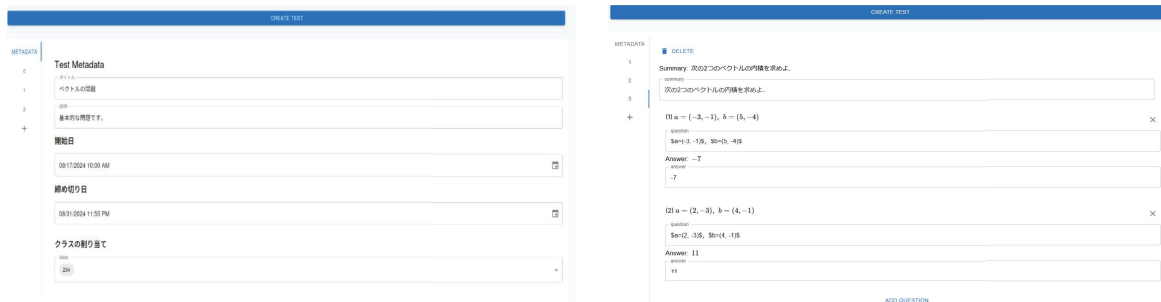


図 4: 問題の作成画面

この画面にて Part の説明および問題文と正答を入力する。なお、Part の説明と問題文では、ドル記号「\$」で囲むことで、TeX 書式にて数式等を入力することができる。一方、正答を入力する際は、ドル記号で囲まらずに TeX 書式を用いて数式等を入力する。

最後に、画面上部にある「CREATE TEST」ボタンを押すことで、問題が作成される。

2.2 問題の回答（学生側）

学生側アカウントでログインすると My page にアクセスされ、図5のように、その学生に割り当てられている課題が一覧表示される。その中から回答する課題を選択すると、図6のように、対応する課題の問題回答画面が表示される。

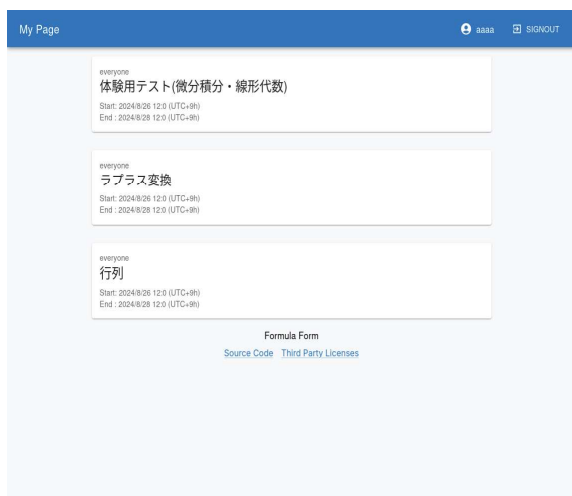


図 5: My page



図 6: 問題の回答画面

学生は、回答欄に TeX 書式もしくは回答欄下部にある入力補助ボタン（GUIによる入力）を用いて解答を入力する。課題は、その大問番号（Part）ごとにタブで切り替えることができる他、画面最下部にある「NEXT PART」ボタン、「PREVIOUS PART」ボタンでも Part を切り替えることができる。なお、最後の Part まで進むと「SEND」ボタンが表示され、これを選択することで回答が送信され、送信完了画面となる。

2.3 採点（教員側）

各課題の採点画面にアクセスすると、図7のように、送信（提出）済みの学生の回答が表形式で表示される。ここで、採点画面にアクセスした時点でマル「○」が付いている回答があるが、これは採点補助機能によるもので、学生が回答を送信した際に、問題作成時に設定した正答と学生の回答を比較して、システムが自動的に採点を行っている。採点補助機能の正誤判定には Nerdamer（JavaScript のライブラリで、数学記号の評価ツール）を用いている。なお、学生の回答が正答に完全一致していなくても、数式的に等しければ正答と判定し、回答が空欄のときのみ、誤答と判定する。正答と判定できない回答については未採点とし、教員が手動で採点する必要がある。

ベクトルに関する問題

Class Name: 54
Class ID: 1
Test ID: 2

基本的な問題です。

	PART1	PART2	PART3
	$a = (1, 2), b = (-1, 1)$ のとき、次の問題に答えよ。	$3\vec{a} - 2\vec{b}$ を成分表示せよ。	$3\vec{a} - 2\vec{b}$ の大きさを求めよ。
合計点	Total Point	Ungraded	
kyoko	3	2	○
taro	4	0	○
tom	4	1	○
hanako	3	2	○
mary	4	2	○

SAVE
EXPORT AS CSV

図 7: 採点画面

採点方法は、表示されている回答をクリックするのみである。クリックする度に青字の「○」と赤字の「×」が交互に表示される。表形式になっていることから、正答や場合によっては他の学生の回答と比較しながら採点ができる他、各学生の合計点も同時に確認できる。

2.4 採点結果の確認（学生側）

採点結果の確認画面にアクセスすると、図8のように、課題の合計点、自身の回答、正答、点数等が問題毎に確認できる。ただし、回答送信直後は、採点補助機能により自動採点された問題の結果のみが表示されるため、採点補助機能で判定できない回答は未採点と表示され、教員の採点を待つことになる。



図 8: 採点結果の確認画面

3 試験運用

2024年4月にFormula Formの開発に着手してからおよそ三か月後の7月、試験運用が可能なレベルに仕上がったため、鈴木が担当する2年生2クラス（機械工学科，制御情報工学科）および4年生3クラス（機械工学科，電気電子工学科，制御情報工学科）の計約200人の学生に協力を仰ぎ、現時点の評価を受ける目的で、実際に触れていただき、アンケートを実施した。課題の内容はその時の授業進度に合わせて、2年生は平面ベクトルに関する問題，4年生はラプラス変換に関する問題としたが，今回は試験運用ということで，全員に課題としては提示せず，評価には入れない任意回答としたところ，2年生72名，4年生33名の計105名から回答が得られた。さらに，アンケートは回答してくれた学生の中から，アンケートに同意した学生にお願いという形で実施したため，その有効な回答は2年生44人，4年生21人の計65人に留まったことを明記しておく。

3.1 アンケート結果

表1は環境に関するアンケート結果である。予告せずに授業内で実施したこともあり，多くの学生が普段から所持しているスマートフォンで回答したことが分かる。

表 1: 環境に関するアンケート結果

質問	選択肢	人数	割合
使用した端末	スマートフォン	49人	75%
	タブレット	7人	11%
	パソコン	9人	14%
使用したブラウザ	Chrome	31人	48%
	Edge	8人	12%
	Safari	24人	37%
	その他	2人	3%

表2は、回答の入力に関するアンケート結果である。予想していたことではあったが、TeXについては知らない学生が多く、数式入力についてはGUI入力が支持されていることが分かる。一方で、TeX書式入力も簡易なものならば、書式ルールを添えることで対応可能との知見が得られた。

表 2: 回答の入力に関するアンケート結果

質問	選択肢	人数	割合
TeX について	知らない	44 人	68 %
	知っているが書式は知らない	8 人	12 %
	少し知っている	12 人	18 %
	知っている	1 人	2 %
TeX 書式入力について	入力しやすい	38 人	58 %
	入力しにくい	27 人	42 %
GUI 入力について	入力しやすい	53 人	82 %
	入力しにくい	12 人	18 %

表3は、Formula Formの総合的な評価に関するアンケート結果である。およそ70%の学生から肯定的な結果が得られ、90%以上の学生から本システムが受け入れられたことが分かる。

表 3: 評価に関するアンケート結果

質問	選択肢	人数	割合
総合的にみた評価	とても良い	17 人	26 %
	良い	28 人	43 %
	普通	16 人	25 %
	悪い	3 人	5 %
	とても悪い	1 人	1 %

最後に、数式入力に関するコメントや自由記述欄のコメントから代表的なものをいくつか紹介する。

- 入力に TeX 書式を使うことについて
 - カーソルの移動ボタンが欲しい。
 - 回答のクリアボタンが欲しい。
 - 普段 TeX を使っているので入力しやすかった。
 - 直感的に操作できないと感じた。事前に説明がないと入力ミスをしてしまう。
 - パソコンでの操作なら使いやすいと思うがスマホでの操作だったため入力がしにくかった。
 - 指が太いので修正が大変。

- GUI入力（補助ボタンによる入力）について
 - 数字の入力ボタンも欲しい。
 - 直感的で分かりやすい。
 - Wordの数式入力はどこが選択されているか分からず誤入力してしまうことがあるが、それと比べて使いやすいと感じた。
 - TeXのコマンドを知らないから必須。
 - $\vec{\{}}$ のような関数が出てきて、直感的に入力できなかった。
 - スマホでやる場合は便利かもしれないが、PCだと打ち込んだ方が早いかもしれない。
 - iPhoneで回答していたのでスペースによるカーソル移動後に、適当に文字を打ってそれを消してから入力補助を使う必要があり不便だった。
- 自由記述欄
 - 提出完了のアナウンスが欲しい。
 - 提出した結果を振り替えられるような保存機能が欲しい。
 - iPadのGoodnotesなどに入っているような手書き数式からTeX表記にしてくれる機能があるといい。
 - このシステムは、数式が整った形式で表示されるので入力ミスに気づきやすい。
 - 慣れたら使いやすいツールになると思う。
 - 文字化けなど様々な点に問題があり、正直現状では使い物にならないと感じた。
 - 直感的に操作できないと感じた。事前に説明がないと入力ミスをしてしまう。

特に多かった意見は、カーソルの移動やクリアボタンの設置など操作面に関する要望や改善を求めるものであった。また、提出後の完了アナウンスが必要との声も多かった。

3.2 アンケート結果を受けての改善点

操作面に関して低い評価とした学生は全員がスマートフォン使用者であったことから、まずはスマートフォンで使用しやすくなるように、現時点で次の改善を行った。

- カーソルの移動ボタンを設置した。
- 解答のクリアボタンを設置した。
- 入力を補助するコマンドボタンを横スクロールで探す仕様に変更した。

アンケートからは抽出されなかったが、最後に挙げた横スクロールでコマンドを探す仕様に変更した理由は、スマートフォンは画面の幅が狭いことから、多様なコマンドを探しやすくするためである。

4 まとめ

今回、KeTLMS から着想を得て、学生の視点にてテキストベースで数式を回答することができる e-learning システム「Formula Form」を短期間ながらに開発した。あまり多くの時間を掛けられなかったことで、現時点では必要最低限の機能の実装であるが、それ故にシンプルで使いやすいシステムになったと考える。また、試験運用とはいえ、多くの学生に実際に使用していただいた後のアンケート結果からも分かる通り、概ね好評なシステムといえ、今後のブラッシュアップ次第では実用に耐え得るレベルのシステムとなり、本格的な導入（社会実装）への道筋もみえてきた。

しかしながら、私たちが現在感じている Formula Form の最大の欠点は、導入の手間とコストである。現在はテスト段階ということもあり、教員がサーバーをホストして利用するようになっている。そのため、本システムを利用する際には、設置する教員側にサーバーの構築や Node.js などの Web 技術に関する知識が必須となる。仮に、サーバーを構築せずにレンタルサーバーや構築済みサーバーのネット資源を利用するということも考えられるが、それにはコストの問題が生じる。その他、数式の入力には TeX の数式表現を利用しているが、全角の数字が混ざると対応が困難になる等、表記の揺れに対する採点処理が未だ不十分であることも懸念している。ただ、こちらに関しては、内部的には TeX の数式表現を利用しつつも、CortexJS などの数式入力ライブラリを用いたグラフィカルな数式入力を強化することでいずれ対応できる見込みではある。

本システムの開発を通じて、数式のオンライン入力に対する考究が深まり、教員側の視点と学生側の視点が融合して相互にフィードバックすることで、オンライン上で数式を扱う課題の送受に関する知見も得られてきた。今後の展望としては、Formula Form の改善と試験運用を繰り返し、実際の運用を目指して開発を継続していく一方、学生と教員間のやり取りのための数式入力可能なチャットの開発に本システムを転用することや数学の問題集としての活用といった展開も考えられるなどアイデアは尽きない。これら一連の活動は、一代で成すのではなく、これからの学生を巻き込みながら長期的な視点で取り組んでいきたい。

参考文献

- [1] 高遠節夫, 濱口直樹, 北本卓也: KeTMath による課題送受・採点処理・結果分析, 京都大学数理解析研究所講究録, 第 2236 巻, pp.90–99, 2022.
- [2] 高遠節夫, 碓氷久, 西浦孝治, 濱口直樹: KeT-LMS の開発と授業実践, 城西大学数学科数学教育紀要, 第 5 巻, pp.38–49, 2024.
- [3] 西浦孝治, 高遠節夫: 数学教育における KeT-LMS の効果的活用, 京都大学数理解析研究所講究録, 第 2273 巻, pp.192–201, 2023.
- [4] 濱口直樹, 高遠節夫: Web 利用の理数教育に役立つ数式送受システムの開発, 京都大学数理解析研究所講究録, 第 2171 巻, pp.66–76, 2021.