

## KeTLMS の機能の拡張について

長野工業高等専門学校 濱口 直樹<sup>1</sup>,  
群馬工業高等専門学校 碓氷 久<sup>2</sup>,  
山口大学教育学部 北本 卓也<sup>3</sup>

### 1 はじめに

近年, 教育現場における ICT (情報通信技術) の活用が急速に進展しており, その応用範囲は従来の授業形態を大きく変革しつつある. 教育のデジタル化が進む中で, 特に数学教育の分野では, 従来の板書や教科書中心の授業方法に代わり, デジタルツールやアプリケーションを活用することで, 抽象的な概念や論理的な思考の理解を促進し, 学習者の興味や意欲を引き出す試みが活発に行われている. こうした背景には, 情報技術の進化とともに, 学習者一人ひとりの理解度や進捗に応じた個別指導の実現が可能となった点, また, リアルタイムでのフィードバックが提供できる教育環境の整備が挙げられる.

その中でも, 動的幾何ソフトウェアである Cinderella は, 教育現場における ICT 活用の一例として注目を集めている. Cinderella は, ユーザーフレンドリーなインターフェースを有し, 学習者が視覚的かつ直感的に数学的概念を理解するのを助けるツールである. 具体的には, 図形の動的な変化や幾何学的関係をリアルタイムに可視化することで, 従来の静的な教材では捉えにくかった概念を明快に表現することが可能となっている. 例えば, 大学の授業においては, Cinderella を活用した発見的学習が実施され, 学生が自らの手で平面幾何の問題に取り組む過程で, 従来の講義形式では得られなかった深い理解と探究心が育まれる事例が報告されている ([1]).

さらに, Cinderella の応用範囲は大学の授業に留まらず, 学校教育全般や専門的な研究活動にも広がっている. 動的幾何ソフトウェアを利用した教材作成に関する研究では, Cinderella を基盤とした教材が学習者の探究的な学習活動を促進する有効なツールとして評価され, その導入が教育現場における ICT の可能性を示すものとして注目されている ([2]). また, デジタル教材が提供する多様なインタラクティブ機能は, 学習者の多様な学習スタイルや興味に合わせた柔軟な学習環境の実現にも寄与している.

こうした流れの中で, 高遠氏が開発した学習支援システム「KeTLMS」は, ICT を活用した数学教育支援の新たな試みとして位置づけられている. KeTLMS は, 主にスマートフォンでの利用を想定して設計されており, 1次元の簡易数式入力やオンライン授業での数学教育支援など, 現代の教育現場のニーズに即した機能を備えている. さらに, 本システムでは, 図やボタンの埋め込み, フリック入力の導入など, ユーザーインターフェースの改善と機能拡張が図られており, これらの工夫により, 教育現場での実践的な利用が一層促進されることが期待される.

---

<sup>1</sup>E-mail: hama@nagano-nct.ac.jp

<sup>2</sup>E-mail: usui@gunma-ct.ac.jp

<sup>3</sup>E-mail: kitamoto@yamaguchi-u.ac.jp

本論文では、こうした背景と意義を踏まえ、KeTLMSの機能拡張とその実際の活用事例について詳述する。具体的には、図とボタンの埋め込み、フリック入力 of 導入といった機能拡張を行い、これらが教育現場でどのように活用されるかを検証する。これにより、デジタル技術を活用した数学教育の新たな可能性と、その実装方法について包括的な議論が展開することを目指している。

## 2 KeTLMS について

KeTLMSは、KeTCindy Centerの高遠氏によって開発された学習管理システム(LMS)であり、主にスマートフォンでの利用を前提に設計されている。現代の教育現場における多様な学習スタイルに柔軟に対応するためのシステムとして、その有用性が注目されている。本章では、KeTLMSの概要、主な機能、及び実際の教育現場での活用事例を通して、その意義と実践的な効果について論じる。

### 2.1 KeTLMS の概要

KeTLMSは、教育機関における学習活動を効果的に管理・支援するために設計されたシステムである。特筆すべき特徴は以下の通りである。

**直感的な操作性：**スマートフォンでの利用を前提としているため、操作がシンプルであり、利用者は複雑な操作に煩わされることなく直感的にシステムを扱うことができる。これにより、学習者は即座に学習活動に専念することが可能となる。

**多様な学習支援機能：**1次元の簡易数式入力機能やオンライン授業における数学教育支援など、教育現場の具体的なニーズに応じた機能が充実している。従来の紙ベースの教材や講義だけでは実現が難しかった、動的かつインタラクティブな学習体験を提供することができる。

**統合された Web アプリケーション：**KeTLMSはWebブラウザ上で動作するため、専用のソフトウェアのインストールが不要である。この点は、導入コストの低減と迅速な環境構築を可能にし、広範な教育機関での利用を促進する要因となっている。

これらの特徴は、教育者と学習者双方に対して効率的かつ効果的な学習環境を提供する基盤となる。特に、学習者が自分のペースで学習を進めながら、リアルタイムでフィードバックを受けることが可能となる点は、現代の教育において極めて有用である。

### 2.2 KeTLMS の主な機能

KeTLMSは、以下の主要な機能を通して教育現場での学習活動を包括的にサポートする。

**数式入力機能：**KeTLMSは1次元の簡易数式入力機能を搭載しており、学習者は手軽に数式を入力・編集することが可能である。これにより、数学的概念の理解や問題解決プロセスの習得が促進される。

**教材管理機能：**教育者は、KeTLMS 上でオンライン授業や対面授業に使用する教材を一元管理することができる。教材の配布，更新，及び共有が容易に行えるため，教育現場における情報伝達が迅速かつ正確に実施される。急な授業内容の変更や最新の学習資料の追加にも柔軟に対応できる点は，教育現場の運用効率を大幅に向上させる。

## 2.3 教育現場での活用事例

KeTLMS の教育現場での活用事例は多岐にわたる。以下に各事例について，具体的な利用シーンとともにその意義や効果を説明する。

**教材作成支援：**KeTLMS は，数学教材の作成支援機能を有している。タブレットを利用することで，デジタル教材と物理的教材の相互補完が図られ，従来の一方的な学習から，学習者が主体的に教材と向き合う環境が整備される。このような教材の融合は，学習者の理解を深めるための効果的なアプローチとして位置付けられている ([5]-[8])。

**オンライン学習支援：**KeTLMS は，テキストベースの数式や図の送受信に基づくオンライン学習支援システムを構築している。これにより，学習者は自宅や遠隔地においても，対面授業と同等の学習環境を享受することができる。オンライン環境における情報交換は，時間や場所に制約されることなく，継続的な学習を可能にする。特に，緊急時や遠隔地での学習環境確保において，対面授業と並行して効果的な学習支援を実現している ([5]-[10])。

**アニメーション課題の導入：**KeTLMS では，アニメーションを用いた課題提供の機能が導入されている。動的な視覚表現を取り入れることで，数学的概念や変化の過程がより直感的に理解できるよう工夫されている。従来の静的な図や文章だけの説明では捉えにくかった概念が，アニメーションの導入により生きた情報として提示され，学習者の興味喚起や理解促進に大きく寄与している。特に，動きのある表現は，学習者にとって新たな学習アプローチとして受け入れられている ([10])。

以上のように，KeTLMS は教材作成，オンライン学習支援，及びアニメーション課題の導入といった多角的な機能を通して，教育現場における ICT 活用の新たな可能性を提示している。各事例は，学習者の理解促進と学習意欲の向上，さらには教員の指導負担軽減に直結する効果が期待されるものであり，今後の教育環境の整備において重要な役割を果たすと考えられる。

## 3 図とボタンの埋め込みとその活用

KeTLMS の拡張機能の一環として，図とボタンの埋め込み機能が新たに追加された。この拡張により，教材作成者は専用のメニューから容易にボタンや Cinderella の図を挿入することが可能となった。ただ，図やボタンを挿入するだけでなく，テキストボックスに入力した数式を図に反映したり，その逆に図を動かしてその図の特定の点の座標をテキストボックスに入力することが可能である。以下，具体例と共にそれらについて解説する。

### 3.1 テキストボックスへ入力した数式を図に反映する

まず、テキストボックスに入力した数式を図に反映することについて述べる。具体的には、テキスト上に数式を入力し、所定のボタンをクリックすることで、その数式に対応するグラフが自動的に Cinderella の図として表示される仕組みを実現している。サンプルの図を図 1 に示す。

The screenshot shows a software interface titled "KeTTask001". On the left, a text box contains a problem: "問題： 曲線  $y = f(x)$  上の任意の点  $P(x, y)$  における接線の傾きが  $P$  の  $x$  座標と  $y$  座標の和に等しいという。 [1]  $y$  についての微分方程式をつくれ。 [2] このような曲線のうち、点  $(0, 1)$  を通るものの方程式を求めよ。". Below this, a solution starts with "解 ● [2]  $y =$ ". To the right, a graph shows a curve  $y = f(x)$  with a point  $P(0.84, 2.31)$  and its tangent line. The slope  $m = 2.31$  is indicated. A "プロット" (Plot) button is visible. Below the graph is a large text input field containing "[2]  $y =$ ". At the bottom, there is a calculator interface with buttons for "戻る", "Pg=6", "次へ", "AC", navigation arrows, and "BS". The calculator keypad includes mathematical functions like sin, log, cos, tan, ln, and integration symbols. A "Rec" button and a "リセット" (Reset) button are also present, along with a display showing "St=1 01AA".

図 1：サンプルの図

図 1 の画面中央のテキストボックスの「 $y =$ 」以降に数式を入力して「プロット」のボタンをクリックすると、その数式が表す曲線が Cinderella の図に表示される。数式として「 $-x-1+2*\exp(x)$ 」を入力して「プロット」をクリックした画面を図 2 に示す（Cinderella の図に  $y = -x - 1 + 2e^x$  の曲線が表示されている）。

この機能の中核をなすのは、JavaScript で記述されたプログラムである。実際のプログラムのソースコードをソースコード 1 に示す。1 行目で画面中央のテキストボックスに入力された数式を受けとり、それを変数  $fx1$  に入力している。2 ~ 34 行目では、Cinderella に図を描画するための命令を変数  $com$  に代入している。このとき、9 行目で変数  $fx1$  を使っているのがポイントであり、こうすることによりテキストボックスへの入力を Cinderella の図に反映できるのである。最後に  $csdraw()$  という関数で変数  $com$  に代入された命令を

KeTTask001

完了

問題： 曲線  $y = f(x)$  上の任意の点  $P(x, y)$  における接線の傾きが  $P$  の  $x$  座標と  $y$  座標の和に等しいという。

[1]  $y$  についての微分方程式をつくれ。

[2] このような曲線のうち、点  $(0, 1)$  を通るものの方程式を求めよ。

解 ● [2]  $y = -x - 1 + 2\exp(x)$

● [2]  $y = -x - 1 + 2 * \exp(x)$

プロット

図 2 : 「 $-x-1+2*\exp(x)$ 」を入力して「プロット」をクリック

実行し、Cinderella の図を描画している（引数の "c2" は画面上的 Cinderella の図に割り当てられた名前である）。

ソースコード 1: テキストボックスに入力された数式をプロットするプログラム

```

1 var fx1 = get_ketmath_input();
2 var com = '
3 Ketinit();
4 Setparent(Cdynamer()+"fig");
5 Setketcindyjs(["Label=[S]", "Color=offwhite"]);
6 Setax(["1", "x", "e2", "y", "n3", "0", "s2w2"]);
7 Slider("S", [-4, -1.5], [3, -1.5]);
8
9 f(x) := '+fx1+';
10 Plotdata("1", "f(x)", "x", ["Num=200"]);
11
12 Putpoint("P", [S.x, f(S.x)]);
13 Pointdata("1", P, ["Size=5", "Color=blue"]);
14 coef=Derivative("f(x)", "x", P.x);
15 f1(x) := coef*(x-P.x)+P.y;
16 Plotdata("2", "f1(x)", "x", ["Num=1", "dr,0.8", "Color=blue"]);
17
18 Q=[P.x+1, f1(P.x+1)];
19 R=[P.x+1, P.y];
20 Letter([-4, 5.5], "e", "P$("+format(P.x, 2)+"", "+format(P.y, 2)+"")$");
21 Expr([-4, 4.5], "e", "m="+format(coef, 2));
22
23 Listplot("PQR", [P, R, Q], ["dr, 2", "Color=blue"]);
24 Listplot("1", [[P.x, 0], P, [0, P.y]], ["do"]);
25 Htickmark([1, "s2", 1]);
26 Vtickmark([1, "n1w2", 1]);
27

```

```

28 Letter([P+[-0.1,0.3], "c", "P"]);
29 Bowdata("1", [P,R], [2,0.3, "Expr=n1,1", "Color=blue"]);
30 Bowdata("2", [R,Q], [2,0.7, "Expr=m", "Color=blue"]);
31
32 Figpdf();
33 Windispg();
34 ‘;
35 csdraw("c2", com);

```

---

JavaScriptによってボタンがクリックされた際の動作が制御され、入力された数式の解析、グラフの生成、及び Cinderella との連携が円滑に行われるよう設計されている。教材作成者はこのプログラムを自由に設定できるため、各授業や教材の目的に合わせたカスタマイズが可能となり、柔軟かつ多様な教材作成が実現される。

この拡張機能は、従来の静的な教材では表現が難しかった数式とグラフとの関係性を、動的に視覚化する点において大きな意義を有する。学習者は、自身で入力した数式が即座にグラフとして視覚化されることにより、数学的概念の理解を深めるとともに、数式の変化やその影響を直感的に把握することができる。さらに、リアルタイムでのグラフ生成は、授業中のフィードバックや個別学習の補助としても有効であり、学習効果の向上に寄与する。

以上のように、図とボタンの埋め込み機能は、KeTLMSにおけるICT活用の可能性を大きく広げるものであり、教材作成者と学習者の双方にとって革新的な学習環境を提供する重要な要素である。

### 3.2 図の点の座標をテキストボックスに入力する

次に先ほどとは逆に、Cinderellaの図の点の座標をテキストボックスに入力する例を挙げる。例として、図3のベクトルの問題の教材を考える。この教材ではベクトル  $\vec{c}$  を動かして、 $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$  となるようにする（ベクトル  $\vec{c}$  はドラッグすることで動かすことができる）。ベクトル  $\vec{c}$  を設定した後、「座標入力」のボタンをクリックすると  $\vec{c}$  の成分が図3の下部にあるテキストボックスに入力される。

正答となるように  $\vec{c}$  を動かした後、「座標入力」のボタンをクリックした時の図を図4へ示す。このような教材を用いることで、図を解答とするような問題をE-Learningで出題することが可能である。「座標入力」のボタンをクリックしたときに実行されるJavaScriptのソースコードをソースコード2に示す。

ソースコード 2: ベクトルの座標をテキストボックスに入力するプログラム

```

1 var x=cseval("v1", "F.x-E.x").real;
2 var y=cseval("v1", "F.y-E.y").real;
3 var str = ("+x+", "+y+");
4 document.getElementById('test_iframe').contentWindow.cdy.evokedCS('funflg
   =1;name="'+str+'');

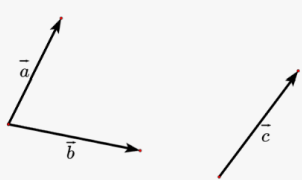
```

---

flick keyboard

### KeTTask001

[1]  $\vec{a}-\vec{b}$  を  $\vec{c}$  で表せ. ( $\vec{c}=\vec{a}-\vec{b}$ となるように $\vec{c}$ を定めよ.)  
 $\vec{c}$  は矢印の先を動かすと変えられ, 始点を動かすと表示位置を動かせる.



座標入力

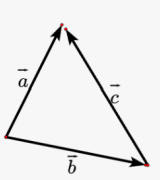
• [1]

図 3：ベクトルの問題の教材

flick keyboard

### KeTTask001

[1]  $\vec{a}-\vec{b}$  を  $\vec{c}$  で表せ. ( $\vec{c}=\vec{a}-\vec{b}$ となるように $\vec{c}$ を定めよ.)  
 $\vec{c}$  は矢印の先を動かすと変えられ, 始点を動かすと表示位置を動かせる.



座標入力

• [1] (-2.9365079365080002,4.85449735449699)

図 4：ベクトルの問題の教材の解答

$\vec{c}$ の始点の座標は  $(E.x, E.y)$ , 終点の座標は  $(F.x, F.y)$  で与えられるので, 1,2行目で変数  $x$  に  $F.x - E.x$ , 変数  $y$  に  $F.y - E.y$  を代入し, 3行目でテキストボックスに書き込む文字列 (ベクトル  $\vec{c}$ の成分) を変数  $str$  に代入している. 4行目でテキストボックスに実際に変数  $str$  に代入されたものを書き込んでいる (命令の意味はわかりにくい, KeTLMS でテキストボックスに書き込みを行うにはこのような命令を用いる).

また, ベクトルの問題以外にも, 作図の問題も出題可能である. 図5に正三角形を作図する問題の教材を示す.

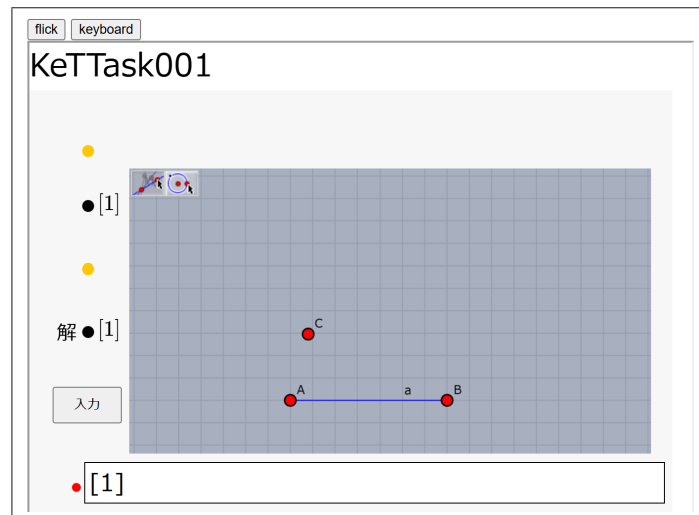


図5: 正三角形を作図する問題の教材

この問題は,  $\triangle ABC$ が正三角形となるように点Cを動かす問題である. Cinderellaの図の左上にあるアイコンは, 作図のためのメニューであり, 左のアイコンをクリックすると, 点を動かすモードになり, 点をドラッグすることができる. また, その右のアイコンは円を作図するためのものであり, アイコンをクリックして中心と半径を指定することで円を作図できる. さらに「入力」のボタンをクリックすると, 点Cの座標をテキストエリアに入力することができる.

この問題では, 中心が点A, 半径がABである円と, 中心が点Bで半径がABである円を描き, その交点に点Cを置くことで三角形ABCを正三角形とできるが, そのように作図を行い, 「入力」をクリックしたときの図を図6に示す.

この教材で「入力」のボタンをクリックしたときに実行される JavaScript のソースコードをソースコード3に示す.

ソースコード 3: ベクトルの座標をテキストボックスに入力するプログラム

```
1 var x=cseval("c1","C.x").real;
2 var y=cseval("c1","C.y").real;
3 var str = "("+x+","+y+")";
4 document.getElementById('test_iframe').contentWindow.cdy.evokedCS('funflg
   =1;name="'+str+'');
```

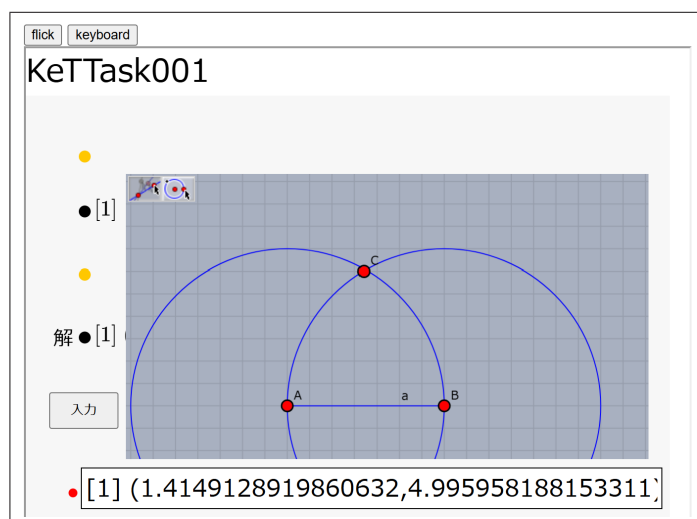


図 6：正三角形を作図して「入力」をクリック

点  $C$  の座標は  $(C.x, C.y)$  で与えられるので、1,2 行目で変数  $x$  に  $C.x$  の実部、変数  $y$  に  $C.y$  の実部を代入し、3 行目でテキストボックスに書き込む文字列（点  $C$  の各座標）を変数  $str$  に代入している。4 行目でテキストボックスに実際に変数  $str$  に代入されたものを書き込んでいる。

## 4 数式のフリック入力

本章では、集合論専用のフリック入力ページの構築と、そのシステムによって実現される数式入力システムについて述べる。

### 4.1 本システムの特徴

本システムは以下の特徴を有する。

- **集合論専用のフリック入力用ページの作成**：集合論に特化した数式や記号の配置をあらかじめ設定し、ユーザが効率的に入力できるようカスタマイズされたフリック入力ページを作成した。このシステムを用いることにより、集合論で頻出する記号や演算子が、ユーザの指先一つで迅速に入力可能となる。
- **フリック入力による TeX 数式表現の生成およびリアルタイムレンダリング**：ユーザは、スマートフォン等のタッチデバイス上で直感的なフリック操作を行う。システムは各入力を内部マッピング表に従って対応する TeX コマンドに変換し、生成された数式表現を即時にレンダリングエンジン (KaTeX) によって画面上に表示する。これにより、入力と同時に視覚的なフィードバックが得られ、修正や確認が容易となる。

- **TeX コマンドの知識が不要なユーザにも対応**：従来、TeX を用いた数式入力には専門知識を要求するため、初心者にとっては敷居が高かった。しかし、本システムはフリック操作を中心として設計されているため、ユーザは複雑な TeX コマンドを覚える必要がなく、直感的な操作だけで高精度な数式入力が可能となる。すなわち、入力の容易さと正確な数式変換を両立することで、幅広いユーザにとっての利用価値が向上する。
- **生成系 AI への数学問題入力ツールとしての活用**：さらに、本システムは ChatGPT などの生成系 AI に数学の問題を入力する際の補助ツールとしても機能する。ユーザはフリック入力で作成された TeX 表現を直接 AI へ渡すことができ、複雑な数式を含む問題設定や検討、解説生成の作業を効率化する。これにより、教育や研究分野での AI 活用が促進され、学習支援および問題解決プロセスの高度な自動化が期待できる。

## 4.2 システム構成と実装の概要

### 4.2.1 入力インターフェイスの設計

フリック操作による記号入力：フリック入力インターフェイスを図7に示す。タッ

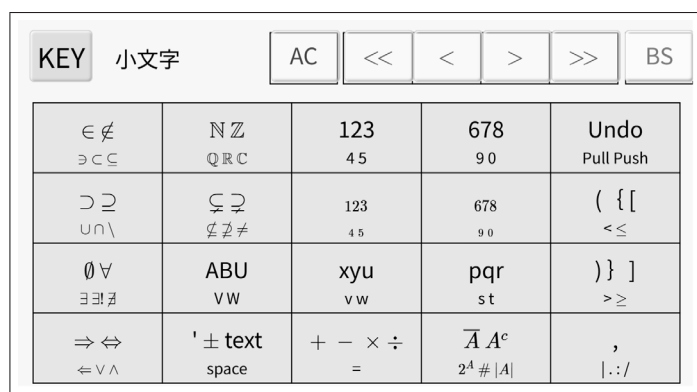


図7：集合論専用のフリック入力インターフェイス

チ操作に最適化されたデザインとなっており、ユーザが画面上のキーをフリックするだけで所定の集合論記号が選択できる。これにより、入力の時間短縮とエラーの低減が実現される。

**専用のレイアウトの採用**：集合論の数式で頻出する記号（ $\in$ ,  $\cup$ ,  $\cap$ ,  $\subseteq$ ,  $\supseteq$ , など）を中心に、最適なレイアウトを設計することで、ユーザの作業効率を高めるとともに、操作性の向上を図る。

### 4.2.2 自動変換と表示エンジン

**TeX 変換エンジン**：ユーザのフリック入力を受け、対応する TeX コマンドへと自動

変換する。このプロセスにより、複雑な TeX の知識が不要となり、ユーザは直感的な操作で正確な数式表現を得ることができる。

**リアルタイムレンダリング：**変換された TeX コードは、レンダリングエンジン (KaTeX) により即時に視覚表現へと変換され、ユーザには完成された数式が表示される。これにより、入力内容の正確性が確認しやすく、誤入力時の迅速な修正が可能になる。

#### 4.2.3 生成系 AI 連携の可能性

**AI とのシームレスな連携：**作成された数式表現はそのまま生成系 AI へ転送可能な形で保持されるため、例えば数学の問題設定や検証の際に、ChatGPT 等の AI と直接連携させることができる。これにより、問題の自動生成、解説の作成、さらには研究の仮説検証など、多岐に渡る応用が期待される。

**ユーザ中心のインターフェイスと高精度の数式変換の両立：**ユーザは、専門知識に依存せずとも高度な数学表現を AI に入力できるため、教育現場や研究の現場での利用が大いに促進される。これにより、従来の入力方法と比較して、時間効率の大幅な向上と作業ミスの低減が実現される。

### 4.3 フリック入力システムの試行テストとその結果

大学の集合論の授業の受講者（主に 1 年生）に対して、このフリック入力システムを用いて、図 8 の 2 つの数式を入力してもらい、その後アンケートに回答してもらった。アンケートの回答数は 40 名である。そのアンケート結果について報告する。

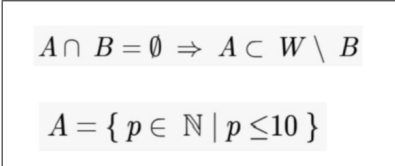

$$A \cap B = \emptyset \Rightarrow A \subset W \setminus B$$
$$A = \{p \in \mathbb{N} \mid p \leq 10\}$$

図 8：入力する集合論の数式

#### 4.3.1 アンケート概要

本テストでは、以下の 5 つの問いに対して学生へアンケート調査を実施し、各問いに対する回答割合を測定した。問いの内容と主な結果は次の通りである。

**問 1：スマホで文章入力する際、フリック入力とキーボード入力の利用頻度はどの程度か？**

- いつもフリック入力：72.5%
- いつもキーボード入力：10%
- 場合によるが、フリック入力が多い：15%

- 場合によるが、キーボード入力が多い：2.5%
- どちらも同じくらい使う：0%

この結果から、多くの学生が普段からスマホでの文章入力においてフリック入力を積極的に活用していることが伺える。

#### 問2：TeX についてどの程度の知識を持っているか？

- TeX を使える：0%
- TeX の名前を聞いたことがある：30%
- TeX というのを聞いたのは初めて：70%

約70%の学生が TeX 自体に初めて触れる形となっており、システム導入の背景としてユーザの知識・経験が限定的であることが明らかとなった。

#### 問3：今回のシステムでの数式入力は順調に行えたか？

- 順調に行えた：40%
- 少し苦労したが、何とかあった：50%
- かなり苦労したが、何とかあった：10%
- 行えなかった：0%

大半の学生が「順調」と「少し苦労したが何とか」入力を完了しており、システムの基本機能は十分に利用可能であった一方、多少の操作上の課題も存在することが示唆される。

#### 問4：今回のシステムを使い、課題提出が可能かどうかの自己評価は？

- 問題ない：35%
- 今回は苦労したが、慣れれば大丈夫だと思う：30%
- 難しそう：27.5%
- 絶対無理：7.5%

この結果から、システムの今後の実用化に向けた準備段階であることが明確で、約65%の学生が慣れれば運用が可能と見込んでいる一方、約35%が現状での運用に不安を抱えていることが確認できる。

#### 問5：今回のシステムの利便性を100点満点で評価すると？

- 80～100点：17.5%
- 60～80点：50%

- 40 ～60 点：25%
- 20 ～40 点：5%
- 0 ～20 点：2.5%

利便性の評価は全体的に中高評価を示しており、67.5%の学生が60点以上の評価を付けている。高評価群と中評価群を合わせると、ユーザの多くがシステムの基本的な機能性と利便性に満足していることが分かる。

#### 4.3.2 考察

これらの結果から、以下の点が浮かび上がる：

- **ユーザの入力方式に対する既存認識の影響**：多くの学生が普段からフリック入力に慣れているため、システム操作に対する抵抗感は比較的低いと考えられる。従って、操作に特化したUI／UX設計がそのままユーザビリティの向上に寄与している。
- **TeX知識の希薄さとシステムの意義**：被験者の70%がTeXに対して全くの初心者であったことから、従来の数式入力環境ではハードルが高かった点を本システムが解消していると評価できる。これは、専門知識を必要としない直感的な入力法としての有用性を示すものである。
- **入力操作のスムーズさと課題提出の実用性**：90%近くの学生が何らかの形で数式入力が完了している点は、システムの基本機能が確立されている証左である。しかし、課題提出に対する自己評価においては、慣れや操作上の課題が残るという意見も見受けられた。ユーザからのフィードバックを元に、さらなる操作性の向上およびシステムの安定性の改善が今後の課題となる。
- **全体評価と今後の展望**：利便性の評価は概ね肯定的であるものの、一部の学生からは「難しそう」という意見も聞かれたため、今後はユーザガイドやチュートリアル の充実、ならびにUIのさらなる洗練化が求められる。生成系AIとの連携を前提とした今後の応用展開においては、こうした改善を踏まえたユーザフォロー体制の確立が鍵となるであろう。

本試行テストでは、集合論専用の数式フリック入力システムが基本的に機能し、学生にとって実用可能なツールであることが実証された。同時に、特にTeX未経験者に対してはシステムの直感的な操作性が大きな強みとなっている一方、実際の課題提出など実務運用に際しては、さらなる操作の簡易化やユーザ支援機能の拡充が必要であると結論付けられる。今後は、フィードバックを活かしたシステム改良と教育現場での実装拡大を進めることで、より高いユーザ満足度と実用性を実現することが期待される。

#### 4.4 数式のフリック入力についてのまとめ

本章では、集合論専用のフリック入力ページを核とするシステムについて、実装の概要とその特徴を述べた。フリック入力によりユーザは直感的に操作でき、リアルタイムレンダリングを介して生成された数式表現を即座に確認できる仕組みは、従来の TeX 入力方式のハードルを大幅に下げるものである。また、本システムの導入により、生成系 AI への数学問題入力の利便性も向上することが期待される。

### 5 まとめと今後の課題

本論文では、従来の数式入力環境のハードルを下げ、かつ教育現場での実用性を追求する新たなアプローチとして、2つの主要なシステムについて検討・実装を行った。前半では、動的幾何ソフトウェア Cinderella の図をシステムへ埋め込み、これらを活用した学習教材の開発について述べた。Cinderella の柔軟な図表現を用いることで、学習者は視覚的に数理概念や幾何学的対象の理解を深めることが可能となり、図と数式の連携による教育効果が期待される点が強調された。

後半では、集合論専用の数式フリック入力システムの設計と、実際の授業での試行テストの結果について詳細に報告した。学生によるアンケート結果からは、普段フリック入力に慣れていることや、TeX 未経験者でも直感的な操作で正確な数式入力が可能である点が示された一方で、課題提出に対する実用性や操作性の面で一定の改善余地があることも明らかとなった。また、生成系 AI との連携により、数学問題の自動生成や解説の作成など、今後の教育支援の可能性が広がることが期待される。

今後の展望としては、ユーザーインターフェースのさらなる改善、生成系 AI との連携高度化・自動化の検討が挙げられる。特に、Cinderella を用いたダイナミックな視覚教材と数式入力システムの統合により、より実践的かつ直感的な学習環境を構築することが期待される。一方、課題としては、教育現場でのフィードバックを体系的に収集し、教材やシステムのブラッシュアップを継続していく必要があると同時に、集合論以外の数学分野や他分野への応用可能性も模索することが求められる。

総じて、本研究は Cinderella を活用した視覚教材と、フリック入力による直感的な数式入力システムという2つの教育支援ツールを融合させることで、従来の学習方法の限界を超えた新たな教育環境の実現に向けた一歩となる。今後は、ユーザーフィードバックを積極的に取り入れ、各システムの改善と連携の深化を進めることで、教育・研究における実践的な支援ツールとしての完成度を高めていく所存である。

### 参考文献

- [1] 伊藤仁一, 平面幾何の ICT を用いた発見的学習の可能性, じっきょう資料, URL: <https://www.jikkyo.co.jp/download/detail/37/9992657160> (2025年3月31日閲覧)
- [2] 北本卓也, 探究的な活動のための動的幾何ソフトウェアの活用について, 数式処理 Bulletin of JSSAC **28**, No.2, (2022), 35-51.

- [3] 長部賢, 動的数学ソフトウェア (GeoGebra) を活用したグラフ指導, URL: [https://www.shinko-keirin.co.jp/keirinkan/chu/math/support/jissen\\_arch/202106/](https://www.shinko-keirin.co.jp/keirinkan/chu/math/support/jissen_arch/202106/) (2025年3月31日閲覧)
- [4] 内田洋行教育総合研究所, 番外編 GeoGebra を活用した算数授業: 3年「円と球」, URL: <https://www.manabinoba.com/math/021782.html> (2025年3月31日閲覧)
- [5] 濱口直樹, 高遠節夫, LMS で利用できる教材の作成システムについて, 日本科学教育学会年会論文集 **46** (2022), 145-146.
- [6] 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, 数理解析研究所講究録 **2236** (2022), 90-99.
- [7] 高遠節夫, 濱口直樹, 北本卓也, 1次元表現ルールに基づいた数式の送受と授業実践, 城西大学数学科数学教育紀要 **4** (2023). 23-34.
- [8] 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 **5** (2024). 38-49.
- [9] 濱口直樹, 碓氷久, 北本卓也, KeT-LMS のスマートフォンでの利用促進に向けた模索, 城西大学数学科数学教育紀要 **7** (2025). 33-53.
- [10] 西浦孝治, KeTLMS のアニメーション課題への応用, 城西大学数学科数学教育紀要 **7** (2025). 54-59.