

タッチパネル指向の数式入力方法の提案と 数学教材作成ツールの試作

前田 雅之*¹ 加藤 直樹*²

Development of an Input Method of Mathematical Expressions
for Touch-based Interfaces and a Math Material Generation Tool

Masayuki Maeda,*¹ Naoki Kato*²

Abstract – The markup language, a mouse and handwriting recognition are the tools widely used today to enable users to insert two-dimensional mathematical expressions. Though each has unique features, none of them is not optimal for a touch panel computer as is not designed for it. The demand for a more touch-panel-friendly method grows as a wider range of device employs this new technology. In this paper, we propose a tablet friendly input method and develop a material generation tool for math education that incorporates the application.

Keywords : Input Method, Mathematical Expression, LaTeX, Touch-based Interface, Touch Panel

1. はじめに

数学的な思考を記録したり伝達したりする「数式」は、これまで多くの数学者によって発明され改良されてきた。数式は複雑な概念を単純な形式で表現できる優れた表現形式であるが、通常の1次元的な言語表現とは異なり、2次元的な配置で表現されるため、コンピュータなどのデジタルデバイスに入力するのは簡単ではない。そのため、数式入力のためにこれまで様々な方法が考えられてきた。マークアップ言語を利用する方法、マウスなどを用いてメニューから分数や指数などの2次元的な数学記号を入力する方法、手書き認識による方法などが主なものである。

近年 Apple 社の iOS, Google 社の Andoroid, Microsoft 社の Windows8 などの OS に対応したタッチパネル付きのデジタルデバイスの普及が目覚ましいが、従来の数式入力方法は、主にキーボードとマウスの使用を前提としていて、こうしたデジタルデバイスでの入力に対応するには不十分な面がある。

本稿では、キーボードやマウスを使わずにタッチパネルのみで利用可能な数式入力方法の提案と、この入力方法を使った応用例として開発した中学校や高等学校での教材作成に活用できる数学教材作成ツール(図1)について述べる。

2. 様々な数式入力方法

これまでに工夫されてきている数式入力方法について概観してその長所と短所を考察する。特にタッチパネルによる入力を前提として検討する。

2.1 マークアップ言語を用いる方法

数式の構造などの指定を特別な記号を用いてテキストファイルに記述する方法である。通常2次元的に表現される数式を1次元的に表現できるため、キーボードのみでの入力が可能である点が長所である。逆に人間が直観的に読み取ることが難しく、入力も特別の意味を持つ文字列を使いこなす必要があり、取り扱うのが容易ではない。次に広く使われている2つのマークアップ言語 LaTeX, MathML を例として示す。

(1) LaTeX

LaTeX は、ドナルド・クヌースが開発した TeX をレスリー・ランポートが機能強化したマークアップ言語



図1 数学教材作成ツール

Fig.1 Math Material Generation Tool.

*1: 東京学芸大学, 大阪府立泉北高等学校

*2: 東京学芸大学

*1: Tokyo Gakugei University, Osaka Prefectural Semboku High School

*2: Tokyo Gakugei University

である。理数系の論文では事実上の標準形式となっている(本論文の原稿も $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ で作成されている)。 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ または $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ と総称されることが多いが、多数のマクロパッケージが存在し、必要なパッケージを選択してシステムを構築する必要がある。さらに言語を使いこなすのは必ずしも容易なことではない。

(2) MathML¹

Web 技術の標準化団体 W3C の Math ワーキンググループから勧告されたマークアップ言語である。XML の上位規格であり、この形式で書かれた数式は多くの Web ブラウザ上で通常の数式として表示される。数式を内容と表示の 2 つの側面から分析してデータを埋め込むのでコンピュータによる処理が容易である。逆にデータ量が増えるため可読性には難点がある。

上記 2 点のマークアップ言語はさまざまなソフトウェアで利用されており汎用性のあるものであるが、キーボードでの入力を前提としていてタッチパネルで直接入力するのには不向きであるといえる。

2.2 マウス等による入力方法

分数などの数学記号をマウスによってメニューから選択して入力する方法である。商品となっているものも含めて様々な製品が存在する。ここでは代表的なものについて考察する。

(1) Microsoft Office 付属の数式エディタ²

Microsoft 社の総合ソフトウェア Microsoft Office に付属しているソフトウェアである。マウスの利用を前提としているが、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ のコマンドを簡略化したものを取り入れてキーボードでの入力でも多くの記号が入力できるようになっている^[1]。

(2) Studyaid³

数研出版が開発した商用ソフトウェアで、Microsoft 社の Windows 上で動作する。高等学校、中学校の数学の問題を大量にデータベース化しており高等学校教員に広く利用されている。データベースの中から必要な問題を選択して一部を書き換えることもできるため教材作成には便利である。

(3) BrEdiMa⁴

電気通信大学で開発されたソフトウェアである。javascript で書かれているため、Web ページに簡単にのせることができる。出力は、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 形式、MathML 形式、JSON 形式⁵に対応している。Web に接続していれば、インストールも不要で容易に利用することができる^[2]。

上記 3 点のソフトウェアはいずれもキーボードとマウスの利用を前提としているため、タッチパネルでの入力は簡単ではない。(1) と (2) については、有償であること、限られた OS 上でしか動作しないこと、出来上がったデータに汎用性がないことも問題点としてあげられる。

2.3 手書き認識による入力方法

計算機の高速化とともに近年急速に発展している手書き認識の技術を利用して入力する方法である。書き順や数式の意味解析を行って認識率を高める研究もある^{[3],[4]}。この技術を採用している例として、Web Equation⁶ があげられる。これは、Vision Objects 社が提供している Web アプリケーションで、指定された領域に手書きで数式を書くと自動認識される。出力は、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 形式、MathML 形式に対応している。構文解析も行っているようで数式の認識率はかなり高い。ただ、 x (カイ) と x (エックス)、0 (ゼロ) と O (オー) の区別などは誤認識することも多く、改善の余地はある。また、一般に公開されている web ページでは、入力できる数式は 1 行に限られており、多くの数式を入力する用途には向いていない。

2.4 タッチパネルによる入力方法

タッチパネルによる数式入力の先行研究も存在する。櫻井らの開発した Box 構造と呼ばれる数式表記のインターフェース^[5]をもとに Apple 社のタブレット型 PC である iPad での入力を可能とした研究である^[6]。YouTube で公開されたものから判断するとマルチタッチなどタッチパネルの特性を生かした入力を可能にしている⁷。ただし、Box 構造の一部のみの実装にとどまっており、実用化には至っていないようである。

2.5 予測入力技術

日本語などの自然言語処理においては、頻度の高いテキストを集めたデータをもとにした予測入力が広く利用されるようになってきている。数式の入力においても予測入力技術を応用する研究があり数学の一部の分野においてはその効果が確かめられている^[7]。

3. タッチパネルに適した数式入力

近年タッチパネル付きのデジタルデバイスの普及が目覚ましい。これらのハードウェアを制御する OS も Apple 社の iOS、Google 社の Andoroid、Microsoft 社の Windows8 などタッチパネルによる入力を前提としたものが多くなっている。タッチパネルは、操作者が画面に表示された部分を指で押したり滑らせたりする

1: MathML, <http://www.w3.org/Math/>

2: Microsoft Office, <http://office.microsoft.com/ja-jp/>

3: 数研出版 Studyaid, <http://www.chart.co.jp/stdb/>

4: BrEdiMa, <http://bredima.sourceforge.jp/>

5: JSON <http://www.json.org>

6: Web Equation,

<http://webdemo.visionobjects.com/equation.html>

7: YouTube:iPad で数式入力,

<http://www.youtube.com/watch?v=-ahGEH1JMI>

表1 教科書で使用される数学記号 (単位: %)
Table 1 Mathematical Symbols in Text-books(units:%).

	中学校	高等学校	単純平均
指数	18.6	20.8	19.7
()	26.5	11.7	19.1
$\sqrt{\quad}$	15.4	3.8	9.6
分数	5.9	10.8	8.4
\angle	9.1	0.2	4.7
三角関数	0.0	8.0	4.0
ベクトル	0.0	7.4	3.7
座標	3.2	3.8	3.5
Δ	5.1	0.0	2.6

など、操作が直観的に理解しやすいため、コンピュータに慣れていない人にも比較的扱いやすい装置である。教育現場でもその利用が広がってきているが、従来の数式入力方法はタッチパネルでの入力には十分に適応していないという問題が残っている。そこで、本章ではタッチパネルによる入力を前提とした数式入力方法を提案する。

3.1 タッチパネルによる入力の特徴

タッチパネルは、見ている場所を直接指でタッチすることができるうえ、タッチを感知してその場所に新たな表示を行うことも可能という入出力機能を備えた装置である。直観的な操作が可能のため初心者にとって心理的にも扱いやすいものである。

一方で、入力時には指で画面が隠れるてしまうこと、マウスに比べ細かい部分を指示できないこと、またキーボードの物理的なボタンのようにタッチしたときの身体的なフィードバックは通常得られないことといった問題点も持っている。一番目、二番目の問題点の解決法としては、タッチする部分の面積をある程度以上にすることが考えられる^[8]。Apple社のガイドライン⁸では、タッチを必要とする部分には44×44ポイント以上の大きさを推奨している。三番目の問題点の解決法としては、タッチを感知したときに視覚的に表示色をかえる、聴覚的に反応音を出す、特別な方法で触覚を与える^[9]などの工夫がある。

3.2 入力対象とする数式

本研究では、提案する数式入力方法の利用ターゲットを中学校、高等学校の生徒・教員とし、入力対象とする数式を日本の中学校、高等学校で使用されるものに限定する。

そこで、日本の中学校、高等学校の教科書の章末問題に使用されている数学記号を調査し、同時に数学記号の出現頻度を調べた。調査結果の一部を表1に示す。この表は、出現頻度が非常に高い英数字、四則演

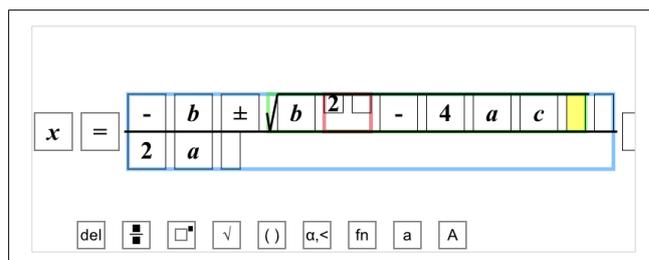


図2 数式入力画面の例
Fig.2 Sample Screenshot of Inputting a Math Expression.

算記号(+, -, ×, ÷), 等号(=)を除外し、それ以外の記号のうち出現頻度の高いものを相対度数とともに示したものである。なお、調査対象は採択数の多い教科書^{[10],[11]}として、中学校の教科書については啓林館「未来へひろがる 数学」シリーズ、高等学校の教科書については数研出版「新編 数学」シリーズを用いた。

3.3 入力インターフェースの設計

次に入力インターフェースの設計について述べる。

(1) 基本入力方式

キーボードやマウスを使用せずタッチパネルだけで入力ができるようにする。そのために画面上に擬似的なボタンを小型のソフトウェアキーボード状に配置して表示する。ただし、すべてのボタンを同時に表示するのではなくグループ別に表示できるようにする。(以下、このボタンのグループを入力ガイドと呼ぶ。)数式の入力の基本は、表示されている入力ガイドの中から必要な候補のボタンをタッチによって選択することで行うものとする(図1)。タッチするボタンの初期状態の大きさは、Apple社のガイドラインを参考に44×44ポイント以上にする。タッチに対するフィードバックが得られるように、タッチを感知するとその部分に着色する方式を採用する。

(2) 構成要素の操作

数式を構成する個別の要素(以下Token)の選択、削除、挿入を簡単な手順で可能となるようにする。分数や累乗根のようにTokenの集合からなる数学記号は枠線で囲むことで、数学記号全体の選択が容易にできるようにする(図2の分数部分 $(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / (2a)$ 参照)。

具体的には、1回のタッチで選択、2回のタッチで挿入、delボタンのタッチで削除ができるようにする。また、Tokenの内容変更は、削除の手順なしで直接再入力すれば内容変更が可能となるようにする。なお、選択中のTokenまたは数学記号は、着色することで選択中であることが判別できるようにする。

(3) 入力対象数学記号の選択と画面上での配置

8: iOS Human Interface Guidelines, <http://developer.apple.com/>

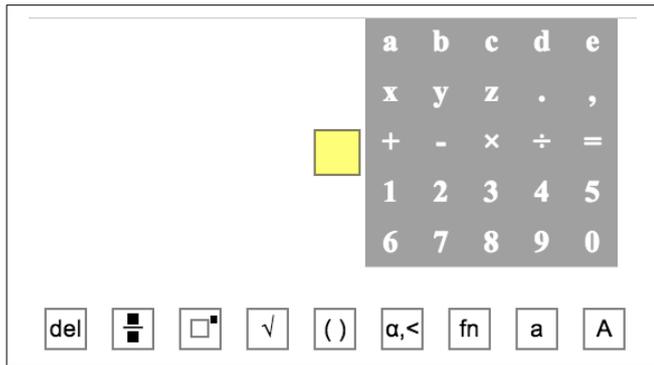


図3 数式入力インターフェース
Fig.3 Interface of Inputting Math Expression.

前節の調査をもとにして、調査した教科書の章末問題で使用されている数学記号すべてが入力できるようにする。また数学記号の出現頻度に応じて、頻度の高い記号については少ない手順で入力できるようにする。

(4) 数式全体の表示

デバイスによってタッチパネルの大きさが異なることを考慮して、入力用の数式表示の大きさを動的に変化できるようにする。また、横方向に長い数式に対応できるように横スクロールできるようにするとともに、縦方向に数式が重なり数式全体が表示できなくなる場合に対応できるように表示領域枠を縦方向に自動的に広げて数式全体を表示するようにする。

3.4 入力インターフェースの詳細

ここでは、数式入力インターフェースの詳細設計について述べる。以下、図3において、Tokenが表示される図の中央部分の正方形をBox、図の下部に並んだボタンのうち左端のものをdelボタン、その他のボタンを数式部品ボタンと呼ぶ。

(1) 入力

入力ガイドに表示されたボタンまたは数式部品ボタンをタッチすることで選択中のBoxにTokenまたは数式部品が入力される。数式部品ボタンは、左から、分数、指数・添字、根号、括弧・行列、数学記号、関数、小文字アルファベット、大文字アルファベットを意味していて、数式部品ボタンをタッチすることでそれぞれ別の入力ガイドが表示される。

(2) 削除・訂正

delボタンをタッチすることで選択中のBoxが削除される。内容の訂正の場合はそのまま新たなTokenまたは数式部品を入力することで内容が上書きされる。

(3) 挿入

選択中のBoxをタッチすることでその場所に新たなBoxが挿入される。

(4) 移動、拡大・縮小

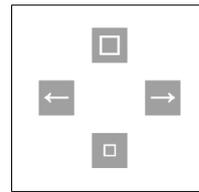


図4 位置ガイド
Fig.4 Position Navigator.

canvas内の背景部分をタッチすると図4のような位置ガイドが表示される。指をスライドさせることで、左右方向で数式の移動、上方向で数式の拡大、下方向で数式の縮小が可能である。

3.5 数式のデータ構造の設計

入力された数式のデータを保持するために、MathMLの構造などを参考にして入力された数式を保持するデータ構造を設計した。その概略を慣例的なBNF記法で以下に示す。終端文字列は、Rowである。

```
Box ::= '[a-zA-Z0-9.]' | '+' | '-' | '×' | '÷' | '='
      | '[αβγθπσωΔ ± ∓ < ≤ > ≥ ≠ | ∠°Δ ⊥ ]'
      | '//' | '[ο.∴ ∴ ≡ ∼ :]' | '...'
      | '[∈ ∉ ∋ ∃ ∩ ∪ ⇒ ⇔ ⇐ ⊆ ⊇ ⊃ ⊅ ∅ ! → ∞ ∞']'
      | 'sin' | 'cos' | 'tan' | 'log';
```

```
Token ::= Box | Brc | Frac | Inta | Intb | Lim | Mtx
        | Sqn | Sqrt | Sub | Sum | Sup | Vec;
```

```
Brc ::= '(' , Row , ')' | '{' , Row , '}' | '[' , Row , ']'
      | '|' , Row , '|';
```

```
Frac ::= Row , '/', Row;
```

```
Inta ::= '∫' , '[' , Row , '^' , Row];
```

```
Intb ::= '[' , Row , ']' , '^' , Row , '^' , Row;
```

```
Lim ::= 'lim_' , Row;
```

```
Mtx ::= '(' , ((Row, 2*[Row]) | 2*(Row, 2*[Row]) |
              3*(Row, 2*[Row])), ')' |
      '{' , (2*Row | 3*Row);
```

```
Sqn ::= Row , '√' , Row;
```

```
Sqrt ::= '√' , Row;
```

```
Sub ::= '^' , Row;
```

```
Sum ::= '∑' , Row , '^' , Row;
```

```
Sup ::= '^' , Row;
```

```
Vec ::= ( '⌊' | '⌋' ) , Row;
```

```
Row ::= (Token)+;
```

3.6 実装

前節までの設計をもとに実装を行った。図2は、入力中の画面の例である。実装方法について次に述べる。

さまざまなデジタルデバイスで利用可能となるように、HTML5とjavascriptを使用したwebアプリケーションとした。HTML5のcanvas要素を利用して表示を行っている。数式表示部分は複数のcanvas要素を重ねることで数式と入力選択用のボタンをレイヤ

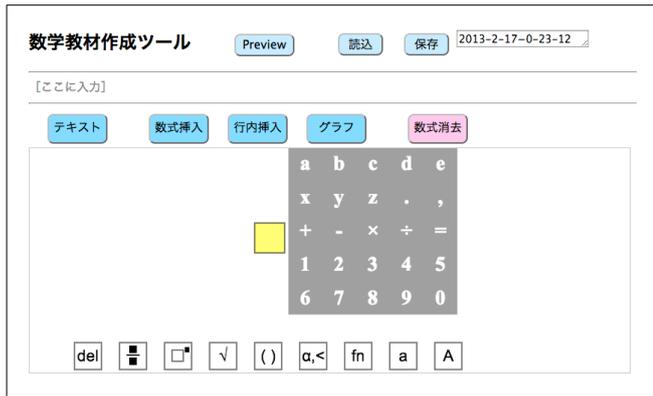


図5 数学教材作成ツール
Fig.5 Math Material Generation Tool.

のように表示させている。

数式のデータ構造としては、Token と特殊な数学記号の配列を Row 要素とし、特殊な数学記号は1つ以上の Row 要素を保持するという構造とした。このような再帰的な構造によって、繁分数や2重根号のような複雑な数式を表現できるようにした。出力は、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 形式として他のアプリケーションとの連携を容易になるようにしている。

なお、タッチパネルの使用を前提にしているが、マウスを用いた従来型のPCでも利用可能である。

4. 数学教材作成ツールの開発

前章で提案した数式入力方法の応用例として、中学校や高等学校で教材作成ができる数学教材作成ツールを開発した。

4.1 機能の設計

ここでは、数学教材作成ツールの機能の設計について述べる。

(1) 数式，テキスト，関数のグラフ挿入

前章で開発した入力方式を利用した数式の入力と日本語の問題文のためのテキスト入力機能を付けてそれらを画面上に配置できるようにする。テキストについては再編集もできるようにする。

また、数学の教材として通常必要となる程度の関数のグラフが教材に挿入できるようにするため、グラフ挿入機能を付ける。入力した数式を元にグラフを描画して画面上に配置できるようにする。

(2) レイアウト編集

(1) で入力した数式，テキスト，関数のグラフを削除したり，順序を入れ替えたりできるようにする。

(3) レイアウト確認，印刷

通常の数式が表示された状態でページ全体のレイアウトを確認しそのまま印刷できるようにするため，レイアウト確認機能をつける。

(4) データの保存，呼び出し

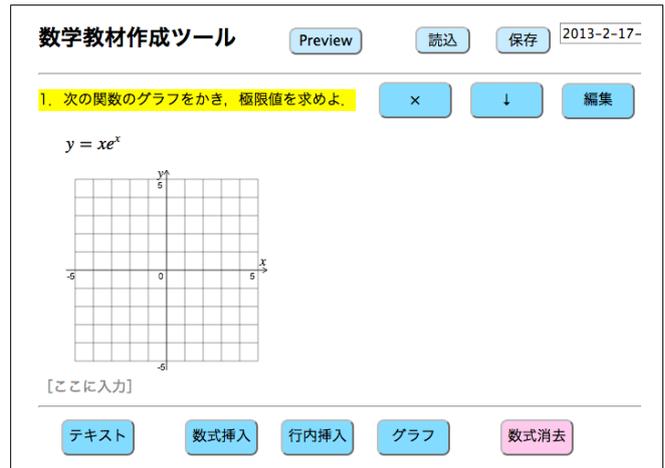


図6 数学教材作成ツール - 内容の編集
Fig.6 Math Material Generation Tool - Editing Contents.

作成したデータの再利用，参照が可能となるよう，データの保存，呼び出し機能を付ける。

4.2 インターフェースの設計

ここでは、数学教材作成ツールのインターフェースの設計について述べる。以下、図5において、最上段のボタンを左から Preview ボタン，読み込みボタン，保存ボタンとし，次の段（[ここに入力] とかかれた部分）を教材内容表示欄，その下の5つのボタンは左からテキスト挿入ボタン，数式挿入ボタン，行内数式挿入ボタン，グラフ挿入ボタン，数式削除ボタンと呼ぶ。

(1) 数式，テキスト，関数のグラフ挿入

テキスト挿入ボタン，数式挿入ボタン，行内数式挿入ボタン，グラフ挿入ボタンをタッチすることでテキスト，数式，グラフを教材内容表示欄に挿入できる。行内数式挿入ボタンは，改行なしで数式を挿入する。

(2) レイアウト編集

数式，テキスト，関数のグラフを教材内容表示欄に挿入したあと，レイアウトを編集するには，編集したい部分をタッチする（選択状態となり背景色が変わる）。表示されるボタンによって，内容の削除，上下の移動が可能である。テキストについては内容の再編集も可能である。（図6）

(3) レイアウト確認，印刷

Preview ボタンをタッチすると，教材内容表示欄に入力された数式・テキスト・グラフがA4用紙に印刷されたイメージで別ウィンドウに表示される。ブラウザの印刷機能で教材の印刷が可能である。

(4) データの保存，呼び出し

保存ボタンをタッチすると，教材内容表示欄に入力された内容が保存ボタンの右側にあるファイル名表示欄の名前で保存される。ファイル名表示欄には初期値としてweb ページを開いた時の日付と時間が表示され

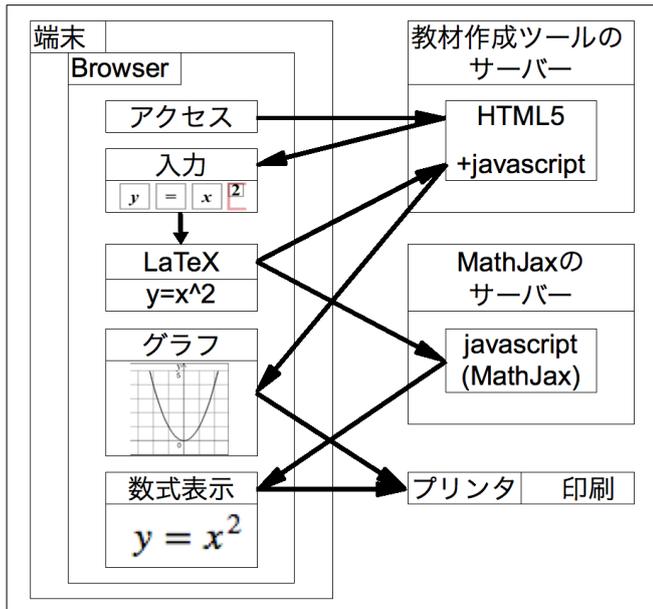


図7 数学教材作成ツールの流れ図
Fig.7 Flow Chart of the Math Material Generation Tool.

ているが変更も可能である。読込ボタンをタッチすると別ウィンドウが開き、保存したファイルの一覧が表示されるので必要なデータを読み込むことができる。

4.3 実装

Web ブラウザ上で動作するよう、HTML5 と javascript で記述した。グラフの表示には、HTML5 の canvas 要素、データの保存には Web Storage, JSON の技術を利用した。

通常の数式表示のためには、MathJax⁹ のライブラリを使用した。MathJax は、JavaScript でかかれたライブラリであり、ブラウザ上で $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ や MathML でかかれた数式を通常の数式として表示するものである。アメリカ数学会などがスポンサーとなっており、Web ブラウザ上での数式表示の標準となりつつある^[12]。MathJax の利用は Web に接続されていることを前提にしているが、MathJax のスクリプトをダウンロードし、本ツールのコードを一部修正すればオフラインでも利用可能である。図7は実装したツールの流れ図、図8は出力した教材の例である。

5. おわりに

タッチパネルに適した数式入力方法を提案し、実装を行った。入力と出力の物理的な位置を近づけることのできるタッチパネルの特性を生かした入力方式とすることができた。キーボードやマウスなしで数式を入力できることの確認と、入力速度や使用感については今後実証実験で確認していく予定である。また、この

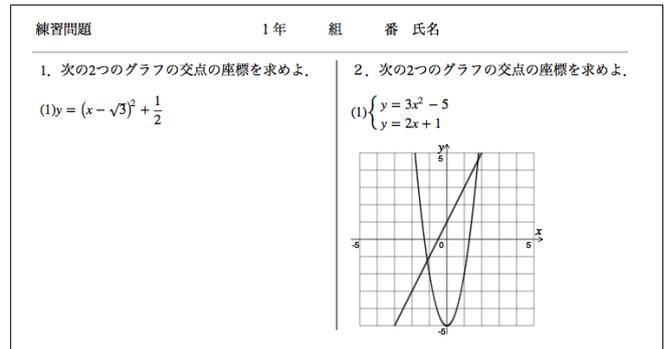


図8 数学教材作成ツールによる出力例
Fig.8 Sample Output by the Math Material Generation Tool.

入力方法を応用した数学教材作成ツールを開発した。これについても中学校、高等学校の現場で実際の業務での利用を通して、他の教材作成ツールとの比較を行い、評価をしていくことが今後の課題である。

(注) 本論文の中で使われているシステム・製品名は、各社の商標または登録商標です。

参考文献

- [1] Murray Sargent III : Unicode Nearly Plain-Text Encoding of Mathematics;Unicode Technical Note #28(2010).
- [2] 中野, 森光, 村尾 : Wiki や blog でも数式を $\text{B}^{\text{r}}\text{E}^{\text{d}}\text{I}^{\text{M}}\text{a}$ を使って一; 数理解析研究所講究録 1624(2009).
- [3] 鈴木, 松本, 吉本, 大塚 : 手書き数式解析に基づく基礎数学学習支援システムの開発; 信学技報 ET2009-129(2010).
- [4] 糟谷, 山名 : 手書き数式入力システム MathBox; 信学技報 PRMU2006-255(2007).
- [5] 櫻井, 趙, 杉浦, 鳥居 : 自然な数式表記のためのユーザインタフェース; 日本応用数理学会論文誌, Vol.6, No.1(1996).
- [6] 河村, 岡田 : マルチタッチ可能なタッチパネルに適した直感的な数式入力機能と数式変換システムの実装; 筑波大学 ICT ソリューションアーキテクト育成プログラム:ソリューション型特別プロジェクト最終報告書 (2011).
- [7] 堀江, 土方, 西田 : 数式の予測入力インターフェースの開発;WISS2011 予稿集 (2011).
- [8] 西村, 瀬尾, 土井 : スイッチのサイズ及び形状が抵抗膜方式タッチパネル携帯端末の操作性に及ぼす影響について; 日本機械学会論文集 77 巻 780 号 (2011).
- [9] 衛藤, 的場, 佐藤, 福地, 小池, 梶本 : 指先への電気刺激により触覚提示を行うタッチディスプレイ技術; 情報処理学会インタラクシオン 2012(2012).
- [10] 内外教育 2011 年 12 月 2 日号 : 2012 年度中学校教科書採択状況—文科省まとめ; 時事通信社 (2011).
- [11] 内外教育 2011 年 12 月 9 日号 : 2012 年度高等学校教科書採択状況—文科省まとめ (中); 時事通信社 (2011).
- [12] Davide Cervone : Math Jax: A Platform for Mathematics on the Web;NOTICES OF THE AMS 59-2(2012).

9: MathJax, <http://www.mathjax.org/>