

MathMLと $\text{T}_\text{E}\text{X}$ に対応した数式表示可能な 教育用コミュニケーションシステムの試作

山下 伸男^{1,a)} 江見 圭司^{1,b)}

概要: MathML と $\text{T}_\text{E}\text{X}$ を用いて数式表示可能な教育用コミュニケーションシステムを試作した。JavaScript のライブラリである MathJax を利用した本システムでは $\text{T}_\text{E}\text{X}$ 形式の入力と GUI 入力も利用できる。

キーワード: MathML, $\text{T}_\text{E}\text{X}$, MathJax, 学習環境, スマートフォン

Prototype of e-Learning and Communication Systems to Support Displaying Math Equations with MathML and $\text{T}_\text{E}\text{X}$

NOBUO YAMASHITA^{1,a)} KEIJI EMI^{1,b)}

Abstract: We have developed a prototype of e-learning and communication systems to support displaying math equations with MathML and $\text{T}_\text{E}\text{X}$. We used a JavaScript library MathJax. In our system, you can use $\text{T}_\text{E}\text{X}$ format input and GUI input.

Keywords: MathML, $\text{T}_\text{E}\text{X}$, MathJax, learning environment, smartphone

1. はじめに

1.1 背景

インターネット上におけるコミュニケーションやeラーニングにおいて数式が登場する場面がある。しかし、数式表示や数式コマンドの引用返信さえ普及しているとは言えない。本稿では数式のボタンを用いた GUI 入力や $\text{T}_\text{E}\text{X}$ [1] のテキスト入力によって効率的に会話しやすく、MathML (Mathematical Markup Language) [2][3] などの最新の HTML5 関連技術 (HTML5 related) を応用した環境を作る方法論を述べる。また、それらのメリットを挙げ、紙やホワイトボードや従来の画像による数式表示では実現不可能なインタラクティブな会話方法である点や、数式によるコミュニケーションやeラーニングへの貢献の可能性を示す。

1.2 数式表示の試み

ブラウザで数式表示を行う際の方法はいくつか種類があり、表 1 にまとめた。視認性やコミュニケーションにおけるインタラクティブ性の観点から望ましい方法を考える。

表 1 ブラウザにおける数式表示

Table 1 How to display equations on web browsers.

No.	数式表示の方法	具体的な例
A	1 行のテキスト	$(1-x)/(1+x)$
B	数式のように表現	HTML の <code><table></code> で分数を表現
C	数式の画像	mimeTeX[4] で画像生成
D	PDF や動画	サーバにアップロード
E	Web ページ上の数式	MathML
F	その他の方法	フリーハンドの数式の写真や動画

視認性の観点から、数式の表示結果が自然で美しい方法は C~E であり、C を採用した質問掲示板サイトは国内によく見つかる [6][7]。しかしインタラクティブ性の観点から、表示された数式を元にして次の数式を書く際に元の数

¹ 京都情報大学院大学
The Kyoto College of Graduate School for Informatics
st091306@m1.kcg.edu
^{a)} st091306@m1.kcg.edu
^{b)} k.emi@kcg.ac.jp

式からの引用が容易な方法は E である。MathML は W3C の標準規格であるが、ブラウザでの互換性に問題があり、これを土台として開発された MathJax に特に有用性がある。

1.3 MathJax とは何か

MathJax[5] は $\text{T}_\text{E}\text{X}$ や MathML のコマンドを読み込み、ほぼすべてのブラウザで数式表示を行う JavaScript の関数ライブラリである。 $\text{T}_\text{E}\text{X}$ は人間の可読性に優れ、MathML はアプリケーションにとって有利な点が多いが [8]、サポートしているブラウザは限られている。そこで、入力形式の種類・ブラウザ対応に関して自由度が高く、黒木 [9] によると “世界最大の数学論文データベース MathSciNet[10] は MathJax を採用した。ここで MathJax が採用されたということは少なくとも数学研究の世界ではウェブでの数式表示に関して MathJax が標準になったことを意味している。これからは数式も書けるサイトであることを売りにしたいならば MathJax への対応は必須になったと考えられる。” とあり、先行して MathJax が普及している団体もあることから、MathJax を採用して Web ページを試作した。この試作ページの新規性は数式のボタン入力である [11]。本稿ではスマートフォンについても言及する。

1.4 なぜ GUI 入力つまりボタン入力か

数式の入力方法として $\text{T}_\text{E}\text{X}$ や MathML などの数式コマンドによるテキスト入力とクリックによるボタン入力 (GUI) に分類する。テキスト入力はコマンドの知識が必要で、テキスト入力が主流でもボタン入力が適宜効率性を高める。したがってボタン入力を駆使すると、数式を含む会話の効率性を高める。そして、効率性の向上により、eラーニングへ貢献する。[12]

既存の数式が登場するコミュニケーション環境の問題点として、以下が挙げられる。

- 数式が自然で美しい形式で表示されない
- 数式を含む発言に対して数式を含む返事を行う際に両者が似た形の数式でも、最初から打ち込む必要がある
- テキスト入力の必要性がある

これらに対し、MathJax を用いて数学の質問・回答が出来るサイト [13] が存在し、始めの 2 点は解消されている。しかし、数式のテキスト入力が必要であり、数式を使ったコミュニケーションが主目的でボタン入力が必須の学習者にはコマンド学習という不要な段階が必要となる。また、ボタン入力でも $\text{T}_\text{E}\text{X}$ や MathML のコマンドを出力するサイト [14]、アドオン [15]、GUI による操作も可能な製品 [16][17][18] が存在している。しかし、用意されているコマンドが限定され、ボタンの種類や配置の設定をカスタマイズできない。そこで、MathJax による数式表示機能を活用して、数式の引用返信やボタン入力を可能とした Web ページを試作した。

1.5 機能概説

今回、数式表示に MathJax を用いた。これは $\text{T}_\text{E}\text{X}$ や MathML のコードを読み込み、数式を表示する JavaScript のライブラリである。レンダリングの方法が 3 種類あるが今回、 $\text{T}_\text{E}\text{X}$ や MathML のコマンドがソースの中にあるときに、ブラウザが MathML をサポートしている場合は MathML でレンダリングし、サポートしていない場合にも自然で美しい見映えの数式にレンダリングするオプションを設定した。残りの 1 種類では SVG (Scalable Vector Graphics) の画像形式で出力されるが、今回はどちらの場合にも数式中の文字列はテキストで表示される。MathJax は JavaScript が有効であれば利用できるので数式表示のブラウザ対応は現実的には十分である。

HTML5 は 2014 年 W3C により正式勧告予定であり、次世代 Web 標準技術が到来する。数式表示に関する MathML など HTML5 関連技術があり、その中でユーザのブラウザにデータを保存する Web Storage やプラグインなしで図形を描画できる Canvas や SVG などを用いた。描画する図形の数が多くなると Canvas の方がレンダリング時間が短く、情報量が大きくなると SVG の方が描画が速く、拡大したときに鮮明である。

2. 試作ページ

今回 MathJax と HTML5 関連技術を応用し、以下のバージョンの PHP と JavaScript で実現した。以前のバージョンの PHP ではバックスラッシュを含む文字列の処理の際に異なる結果を示すことがあるので注意を要する。

- Apache 2.2.14
- PHP 5.3.1

数式表示以外の HTML5 関連技術は Google Chrome で全て動作し、Canvas と SVG は全主要ブラウザで動作することを確認した (2014 年 5 月 31 日現在)。以下、図 1~図 6 は Google Chrome 上のスクリーンキャプチャを掲載する。

2.1 スレッド検索

各スレッドの発言内容を個別のファイルに保存し読み出して表示する PHP の関数を使って、スレッドの新規作成や既存のスレッドの検索を行えるようにした。

2.2 数式のテキスト表示

発言の際に文章中に $\text{T}_\text{E}\text{X}$ の数式コマンドを使うと適宜、数式の自然で美しい表示がなされる。また、数式が表示されている箇所でも右クリックして $\text{T}_\text{E}\text{X}$ や MathML のコマンドをコピーや編集などして次の発言のために再利用できる。さらに、出力に関して今回は SVG でレンダリングしないオプションを使っており、テキストで表示されるため、数式中の文字列をブラウザの検索機能で検索できるので、発言やスレッドが増えたときに目的の数式を探すことが可能

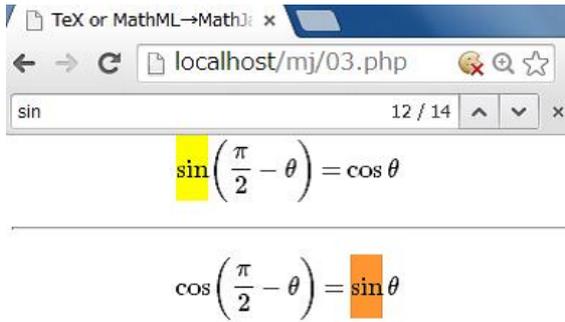


図 1 数式中の文字列を検索可能
Fig. 1 Able to find a string in equations.

である。これは画像による数式表示では達成されなかった機能である。

2.3 数式のボタン入力

TeX コマンドの文字列操作を行う様々な分類のボタンを JavaScript で試作した。階乗「!」など簡潔なものや数式表示における 1 文字分右や左にカーソルを移動するボタンをはじめ、べき乗（累乗）「^{}」や分数「\frac{}{}」のように文字列出力後にカーソルの位置調整が必要なボタンの設定を行った。またボタン操作による数式編集に際して、カーソル移動の際に TeX コマンドとカーソルとが混ざらないようにするなど、エラーが発生しないような最低限の機能を実装する必要がある。そこで、カーソルを移動する際に「\frac{」など、ひとかたまりと解釈すべき箇所をまとめて越える条件分岐の関数を作った。これにより、eラーニングシステムなどにおけるコミュニケーションにおいて、数式コマンドを習得していないユーザや学習者も数式を使った会話に参加できるように試作した。

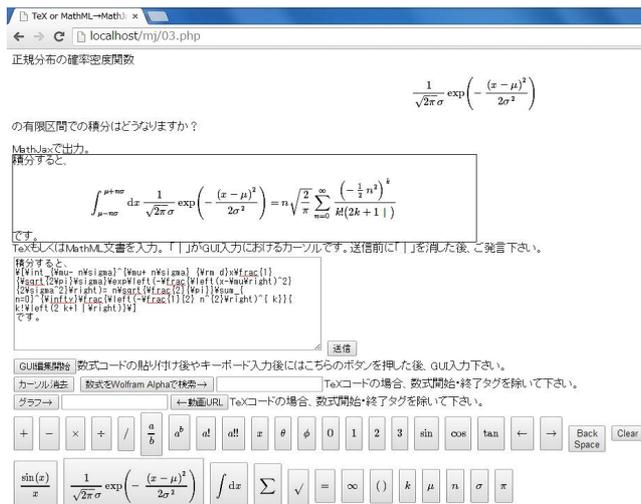


図 2 様々な設定のボタンによる入力の様子。
Fig. 2 Our system.

新たにボタンを追加するときには次の図に示されるように、非常に簡単なソースで実現できる。

```
function power() {
  var operator="^{}";
  insertoperator(operator);
  moveleft();
}
```

図 3 べき乗のボタンの JavaScript ソースコード
Fig. 3 JavaScript source code of “Powers” button.

また、ボタンクリックの出力として任意の文字列を設定可能で、複数のコマンドを組み合わせたボタンの作成が可能であるなど、場面に応じたカスタマイズにおいて可能性の幅は広い。例えば、三角関数の学習中には「θ」や「π」以外のギリシャ文字、総和「Σ」、ベクトル表示などの入力ボタンを省略して、学習者の学習環境を簡潔化することができる。他に、ユーザが頻繁に使う合成関数を出力するボタンを作成したり配置を考えることで、入力の効率性を高めることができる。さらに、回答のヒントになるような数式のボタンを用意しておき、それを式変形した結果を答える形の出題などが可能となっていく。これらのような数式のボタン入力は容易な数式表示を可能にした MathJax の技術によるリアルタイム表示の応用例である。

2.4 Web Storage

HTML5 関連技術として、ローカル環境に文字列を保存できる Web Storage のうち、保存期間が無期限である localStorage を用いた。例として、個々のユーザが作成や閲覧したスレッド名を個別に保存や表示できるようにした。試作したページでは、スレッド名を入力して新規作成した後に検索して、発言を開始する。

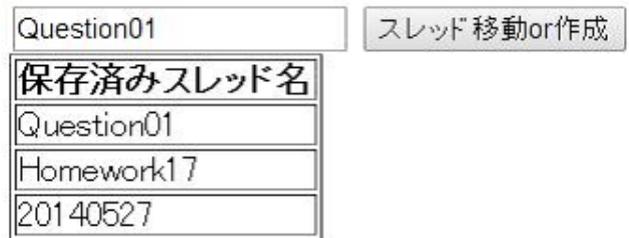


図 4 localStorage でスレッド名保存
Fig. 4 Saving a thread name in localStorage.

2.5 Wolfram Alpha との連携

TeX や MathML のコマンドを使うことのさらなるメリットとして、数式検索エンジンである Wolfram Alpha[19] の検索ワードとして入力ができる。これによって、複雑な関数の振る舞いや方程式の解や微分・積分など計算結果を得ることができる。今回、検索する数式のコマンドを入力

フォームに入れて当該ボタンを押すとカーソルや余計な文字を省いてエンコードし、Wolfram Alpha の URL に追加してアクセスする JavaScript の関数を作った。

2.6 活用できるその他の HTML5 関連技術

試作ページを PHP で作成したので、発言の中に HTML タグを用いると、その構文を解釈する。そこで、HTML5 によって進化した部分として、プラグインなしで動画の埋め込みが容易な `<video>` タグを発言の中に追加して、数式解説動画の発言内容への埋め込みに成功した。

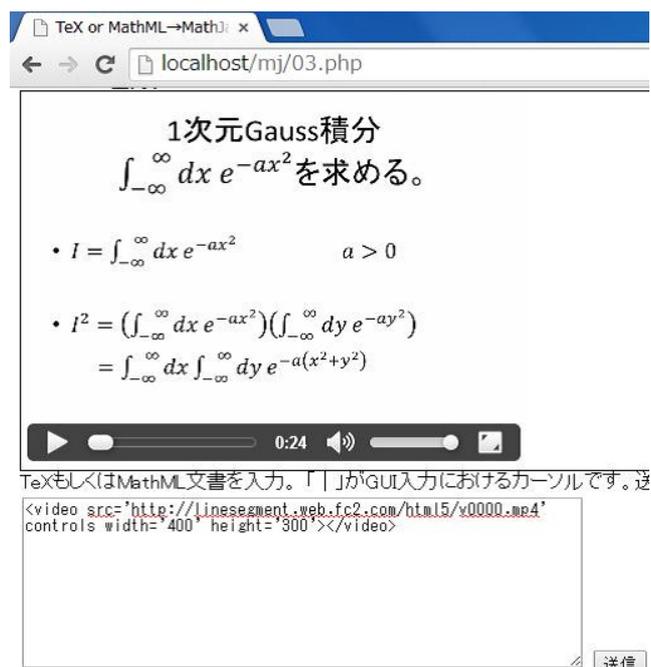


図 5 HTML5 関連技術の `<video>` タグで動画を簡易に表示

Fig. 5 `<video>` tags of HTML5.

さらに、図形描画の技術である Canvas や SVG を用いて、`<canvas>` タグで排他的論理和のベン図の描画や、`<svg>` タグを使ってピタゴラスの定理の各辺の関係を表す図形の描画に成功し、このような種々の数学の概念のビジュアル的な表現が可能である。その他、下付き添字の `<sub>` タグなどで数式表示を試みることも可能である。このように、HTML5 関連技術で以って会話の中での表現の幅が広がっていることが分かる。管理者や教育者が座標値などの入力フォームや Canvas で描いた座標や多角形など図形を用意して、ユーザや学習者がパラメータを変化させて描いた図形で回答することが可能である。

実用的な環境を導入するために、ボタン入力に関しては、必要最低限なものと考え、話題に沿った関数や行列などを用意してコミュニケーションシステムとして活用可能となる。e ラーニングシステムとしては、ボタン入力を使っての会話の習得が目的でなければ、講義の中での重要な数式の全体や一部を入力をサポートとして用意しておく

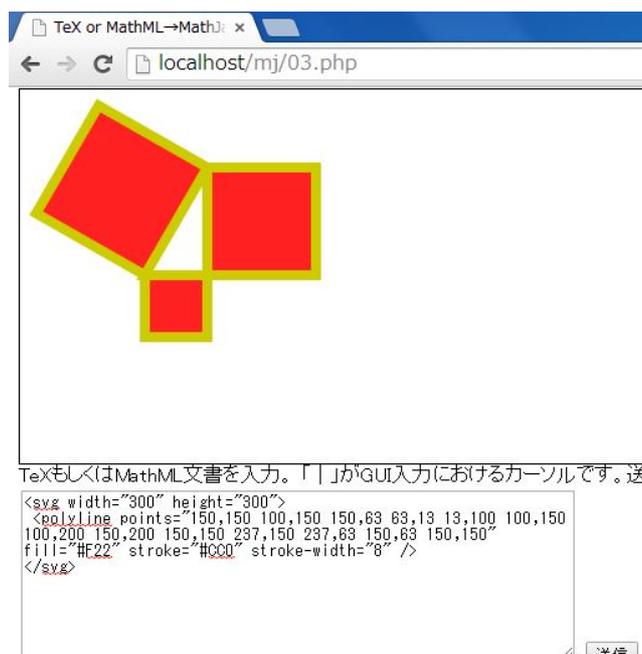


図 6 HTML5 関連技術の `<svg>` タグで描画

Fig. 6 `<svg>` tags in HTML5.

と、学習者が入力に手を煩わせず効率的に発言することが可能となる。

課題として、表示された数式をマウスで選択するなど直接的な GUI の充実、数式入力ボタンの追加、レイアウトをユーザが簡便に行える環境の構築、Canvas, SVG の描画も GUI を用いて自由な形で行えるインターフェースの設定、 $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ のパッケージの読み込み、行列など種々の計算式の Wolfram Alpha の検索ワードへの変換、HTML5 のコミュニケーション、e ラーニング環境における他の HTML5 関連技術の可能性の調査などが挙げられる。

2.7 Web アプリとしての数式表示

今回作成したシステムは MathJax を使用しており、日本語や中国語などの 2 バイト文字を含む発言でも数式を正しく処理して表示する。前述の数式入力のアドオン [15] では途中からの数式編集や文章を入れることができず、数式入力サイト [14] では、2 バイト文字を含むとエラーとなる。そのため、本システムは 2 バイト文字を解釈可能な数式を発言するサイトであり、ボタン入力による GUI が可能であるなどの自由度が高い Web アプリ [22] としては初であると思われる。また、MathJax を採用している数式質問掲示板 [13] ではスマートフォンでの数式入力時に数式がリアルタイムで表示されないが、試作ページはスマートフォンでも閲覧、リアルタイム表示、発言が可能である。

2.8 スマートフォンでの数式表示

数式発言が可能ながスマートフォンに進出することにより、ユビキタス社会の中で手軽に数式発言をすることが

可能となる。高校生のスマートフォン普及率が84%[20]となり、タブレットの学校への導入が検討される[21]など、携帯端末での教育の機会が広がっている。本システムのように数式を含む発言が可能となったことで、手軽に参加できる数式を使う教育の場面はスマートフォンやタブレットで実現可能である。

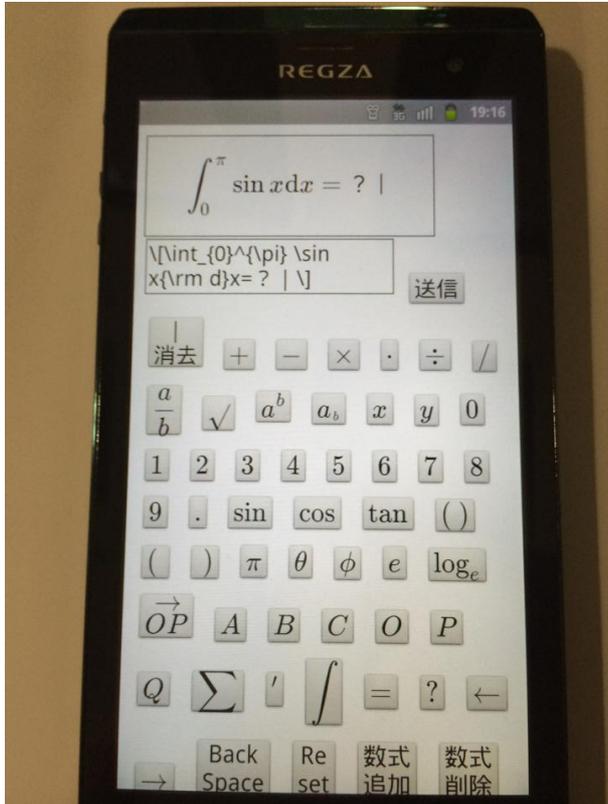


図7 スマートフォンで数式入力・表示が可能
Fig. 7 Equation buttons on a smartphone.

MathJax, JavaScript, PHP を使用した本システムのWeb ページとしてのPC とスマートフォンで異なる挙動を指摘する。

- (1) PC では数式箇所ですぐ右クリックをして引用返信の利便性が得られるが、スマートフォンでは右クリックに相当する機能がなく、引用返信ができない。
 - (2) Web アプリ [22] であるため、タブレットやとくにスマートフォンでのボタン入力時の数式表示の反映の際に体感できるほどの時間差が生じる。その待ち時間が数式を入力するユーザへの負担となる。
 - (3) Android では文字サイズより十分大きく表示されたボタンが iPhone では文字サイズ程度に小さく表示されるなどスマートフォンによって見た目が異なる。
- (2) については、JavaScript で書く機能の簡潔化、掲示板の発言が増えたときに新規のスレッドを立ち上げるなどの対応策があるが、十分と言えない。そのほか、右クリックによる引用返信のないスマートフォンでボタン入力の際に

MathML で数式入力を行って、数式表示の速さに役立つなどの可能性が考えられる。

2.9 数式表示のプログラミング言語としての MathML

MathJax が読み込む数式の形式について、セマンティックウェブやレンダリングの速さの観点では MathML を使うことが望ましく、 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 入力であっても MathML コードに変換して発言を保存するとよいと考えられる。MathJax は $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ コマンドを MathML コードに変換するが、その逆へは変換しないので、右クリックの際には $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ コマンドも表示できるようにしておく必要がある。また、EPUB3 では MathML が必要となったことなど、MathML の可能性が開かれる時代となると考えている。

3. ボタン入力とテキスト入力の時間測定の評価

テキスト入力とボタン入力による数式入力にかかる時間を著者が測定した。今回、確率・統計で現れる以下の計算式を入力した。

$$p^x(1-p)^{n-x} {}_n C_x = \left(\frac{1}{6}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{6}\right)^{5-2} {}_5 C_2 = \frac{1}{6^2} \frac{5^3}{6^3} \frac{5!}{(5-2)!2!} = 0.16 \dots$$

図8 テストで使用した数式

Fig. 8 The equation used in this evaluation.

テキスト入力ですぐ打ち込む $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ コマンドは164文字である。結果を次の表に示す。

表2 PCでの入力の測定結果

Table 2 Results in using a PC.

キーボード	ボタンクリック
1分10秒	2分39秒

表3 スマートフォンでの入力の測定結果

Table 3 Results in using a smartphone.

フリック	タップ (ボタン)
6分37秒	4分26秒

PC ではボタン入力がキーボード入力の2倍の時間がかかり、スマートフォン [23] ではフリック入力がタップ入力より1.5倍の時間がかかった。測定結果より、PC ではキーボードのタイピングの速さが圧倒的であるが、スマートフォンではボタン入力が数式の入力補助というより、むしろテキスト入力者も含め、メインの入力方法として活用していくのがよいと考えている。

結果の考察として、ボタン配置が単純に並べただけであり、目当ての入力ボタンを探す時間が少なくともあったためPC ではボタン入りに不利な点があるが、スマートフォンでは横幅が限られており並べてあるだけでも見やすかつ

たため、入力に際し不利とならず、タップがフリックより単純な操作であることや複数文字の \TeX コマンド出力などの有利な点が上回ったと考えられる。

また、ボタン配置の中でボタンの間に改行を入れて見やすくしたが、PCでのボタン入力の計測時間差は0秒であった。いずれにせよPCではボタンを探す時間を解消する必要がある。したがって、GUIを考慮して工夫したページを作成してユーザビリティを向上させるべきである。その際、PCとスマートフォンでの画面サイズやプルダウンメニューの表示の差異や、プルダウンメニューの簡略化によるデメリットなどを考慮する必要がある。その他インターフェースデザインについては今後の課題とする。

4. まとめ

本稿では \TeX などの数式のコマンドをブラウザで表示する MathJax, SVG などの HTML5 関連技術を使い、ボタン入力による手軽な数式入力を新たに実現した数式掲示板を作成し、特徴と可能性を論じた。スマートフォンではボタン入力の方が速く、ボタン入力の方が便利であるだけでなく、数式入力の主役を担う方法とみられる。そして、GUIを工夫したインターフェースの実現により、さらに利便性が高まる。また、スマートフォンやタブレットでの画面サイズによる見やすさが異なり、単純にボタンを並べた場合にスマートフォンの方がPCより見やすかったことやプルダウンメニューなどの表示も異なることなどプラットフォームの違いを意識して数式入力のユーザビリティを向上させていくべきである。また、MathJax で解釈可能な \TeX コマンドを出力できるボタンの種類を増やして数式入力の自由度を充実させることが導入のために必須である。

参考文献

- [1] 奥村晴彦, 黒木祐介: \LaTeX 2 ϵ 美文書作成入門, 技術評論社 (2013).
- [2] W3C Math Home : <http://www.w3.org/Math/> (2014年5月31日閲覧).
- [3] H. Gotoh, M. Sakamoto and K. Emi : Developing e-Learning and Communication Systems to Support Displaying Math Equations on Web-Pages, in 2009, 日本eラーニング学会 JeLa2009 年度国際シンポジウム (2009).
- [4] mimeTeX : <http://www.forkosh.com/mimetex.html> (2014年5月31日閲覧).
- [5] MathJax : <http://www.mathjax.org/> (2014年5月31日閲覧).
- [6] 高校数学の自習室 : <http://lykeion.info/suugaku/> (2014年5月31日閲覧).
- [7] 数学ナビゲーター : <http://www.crossroad.jp/mathnavi/index.html> (2014年5月31日閲覧).
- [8] Mathematical Markup Language (MathML) Version 3.0 2nd Edition : <http://www.w3.org/TR/2014/REC-MathML3-20140410/> (2014年5月31日閲覧).
- [9] MathJax の使い方 : <http://genkuroki.web.fc2.com/> (2014年5月31日閲覧).
- [10] MR: Search Publications database : <http://www.ams.org/mathscinet/> (2014年5月31日閲覧).

- [11] 山下伸男, 江見圭司: HTML5 時代の数式表示可能な数学のコミュニケーションシステムと eラーニングシステムの構築, 教育システム情報学会, vol.29, no.1, p.35-38 (2014-5).
- [12] 岡本 敏雄, 香山 瑞恵, 小松 秀園: eラーニングの理論と実際—システム技術から, 教え・学び, ビジネスとの統合まで, 丸善 (2004).
- [13] MathOverflow : <http://mathoverflow.net/> (2014年5月31日閲覧).
- [14] Online LaTeX Equation Editor - create, integrate and download : <http://www.codecogs.com/latex/eqneditor.php> (2014年5月31日閲覧).
- [15] Firemath - The MathML-Editor for Firefox : <http://www.firemath.info/> (2014年5月31日閲覧).
- [16] InftyEditor の概要 : <http://www.sciaccess.net/jp/InftyEditor/index.html> (2014年5月31日閲覧).
- [17] K.Emi and T. Imai : Developing E-learning and Communication Environment, 日本eラーニング学会 JeLa2007 年度国際シンポジウム (2007).
- [18] 無料総合オフィスソフトウェア - Apache OpenOffice 日本語プロジェクト : <http://www.openoffice.org/ja/> (2014年5月31日閲覧).
- [19] Wolfram—Alpha: Computational Knowledge Engine : <http://www.wolframalpha.com/> (2014年5月31日閲覧).
- [20] 総務省 | 「平成 25 年度 青少年のインターネット・リテラシー指標等」の公表 : http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban08_02000120.html (2014年5月31日閲覧).
- [21] 第 8 章 学校における ICT 環境整備 : 文部科学省 : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/056/gijigaiyou/attach/1259400.htm (2014年5月31日閲覧).
- [22] アプリと Web アプリはどう違うの? - いまさら聞けない Android のなぜ — マイナビニュース : http://news.mynavi.jp/articles/2014/02/21/android_why19/ (2014年5月31日閲覧).
- [23] T-01D_スタートアップガイド - T-01D_startup_guide_01.pdf : https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/support/trouble/smart_phone/t01d/T-01D_startup_guide_01.pdf (2014年5月31日閲覧).