

## インタラクティブなウェブ上での数式表示

後藤洋信† 坂本雅洋† 江見圭司†

インターネットを通じた教育を行う場合は、学習教材の配信だけでなく、コミュニケーションの機能が必要とされる。理工系の分野などでは、コミュニケーションを充実させるためには、文字以外に数式の入力や編集を容易にすることが必要である。本研究では、数式表示を可能にしたコミュニケーションシステムの開発の一端と実践例について述べる。

### Interactive Web Site with Math Equations

Hironobu GOTOH† Masahiro SAKAMOTO† Keiji EMI†

The interactive communication system is necessary for e-Learning or project collaboration. In the field of science and technology, we are supposed to make it easy to input or edit math equations, in order to get good communication. So we have developed communication systems with MathML that can render math equations with good visibility.

#### 1. はじめに

##### 1.1. ウェブ上での数式の扱い

インターネット上で教材を配信する場合、大きく分けて2つの役割が必要となる。1つは、コンテンツで、もう1つはコミュニケーションの機能である。コンテンツは、教材そのものとなる本文などが挙げられる[1]。コミュニケーションの機能とは、メールや掲示板などの質問とそれに対する返信ができるシステムなどがある。本研究においては、学生から教員に対して質問をし、その質問に対して教員が解答する機能や、学生同士でディスカッションするための機能をコミュニケーションと定義する。コンテンツとコミュニケーションを含めた機能は、Blackboard 学習システム[2]や Moodle[3]などの LMS (Learning Management System) で実装することができるが、運営コストや操作性に課題点がある。また、理工系分野や情報分野などの教材配信においては、本文に数式を表示する必要がある。

##### 1.2. 従来の数式表示

既存のサイトの多くは、PDF や、画像形式で本文を扱って表示している[4]。特に、学習者と指導者間のコミュニケーションを行う場合は、メールや掲示板などの文中での数式の扱いが必要である。現段階では、コミュニケーションシステムで、数式を表現する場合、テキスト形式で入力されている。従来の数式表示方法としては、テキスト、画像、PDF による表示方法などがある。画像形式で数式を扱う場合、Microsoft Word や一太郎などのワープロソフトで作成した文書を HTML 形式で保存し、本文がテキスト、数式部分が画像データとして保存される(図1)。この場合、のちに修正箇所が発生した場合の編集に問題が生じる。また、文書全体を PDF 形式で保存しする形式は、印刷媒体として使用する場合は視認性が高いが、編集の作業効率が悪い。

---

† 京都情報大学院大学

The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics

<解答> (1) 
$$\begin{cases} x+y=24 \\ 150x+120y=3210 \end{cases}$$

(2) 
$$\begin{cases} x+y=24 & \dots\text{①} \\ 150x+120y=3210 & \dots\text{②} \end{cases}$$

② $\div$ 30-① $\times$ 4より  

$$5x+4y=107$$

-) 
$$4x+4y=967$$
  

$$x=11$$

①  $x=11$ を代入して,  

$$11+y=24$$
  

$$y=24-11$$
  

$$=13$$

(答え) 150円の串揚げ11本  
 120円の串揚げ13本

図1 画像形式による数式の表現

メールや掲示板などのコミュニケーションシステムの場合、数式の記述はプログラミング言語に準じたテキスト表記方法を用いるが、明確なルールがなく、視認性が低い。特に図2のような「行列」は、テキスト形式で表現しにくい数式の1つだといえる。コミュニケーション機能に、メールの添付ファイルとして、画像やPDFを使った数式の表示も可能であるが、メール本文中に数式を表示することが困難であり、容量も多くなるので、コミュニケーションに適していない。

メッセージ

送信者: MOSW0015 後藤 洋信 ゴトウ ヒロノブ  
 送信先: すべてのセクション教員  
 CC:  
 件名: 行列に関する質問

(a b  
 c d)

図2 テキスト形式による数式の表現

ウェブ上の、アセスメント機能において、行列やベクトルを記述する方法としては、HTMLの<Table>タグを用いた穴埋め問題などを提供している事例もある[5]。

### 1.3.新しいウェブ上での数式の扱い

画像やPDFなど従来のウェブ上での数式表示の方法には、視認性や編集の手間や、記憶容量など作業効率に問題があった。それらを解決する手段として、最近では様々な数式表示方法が登場している。ウェブ上で数式を扱う方法は主に3つの系統がある。画像系、JavaScript系、XML系である。画像系はサーバ側のプログラムによって画像が生成される形式でmimeTeX[6]などがある。Wikipediaなどでは、Blatex[7]によって数式が記述されている。いずれの方法もTeX形式で入力し、画像形式の数式が生成される。このような画像によって生成された数式は、拡大時や印刷して使用した場合に視認性が悪くなる。また、これらの形式はサーバ上に専用プログラムを準備する必要があり、サーバ負荷などの問題もある。XML系は、MathMLやOpenMathなどXMLのタグによって数式を表示する方法である。MathMLはW3C規格のマークアップ言語である[8]。MathMLで記述されたウェブページは、Microsoft Internet Explorer (IE)や、Mozilla Firefoxなどに対応している。IEの場合は、MathML表示のための専用プラグイン「MathPlayer」[9]が必要であったが、Internet Explorer 8 Beta 1 for Developers ホワイトペーパー[10]によると、MathMLの表示に標準対応する。MathMLは、図4のように、HTMLのタグ内に直接XMLベースのタグによって数式を記述することができるので、編集作業や記憶容量などの問題は軽減される。しかし、タグが長くなってしまふ。JavaScript系は、JavaScriptによって、独自のフォントを用いて数式が表示される方法である。

タイトル	math-math
名前	object
	$\vec{a} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$

図3 ASCII MathMLによる数式入力例

ASCII MathML[11]や、jsMath[12]といったJavaScriptがインターネット上において公開されている。ASCIIMathMLは、TeX形式で入力した文字によって、MathMLタグが生成される。jsMathはMathMLを用いずに独自の形式を使用している。いずれの方法も、画像による生成のように、拡大時や印刷時に問題は発生しない。本研究においてはASCII MathMLを用

いたシステムを構築した。ASCII MathMLは、ウェブ上での数式表示におけるXML系、JavaScript系両方の性質を持った仕組みである。

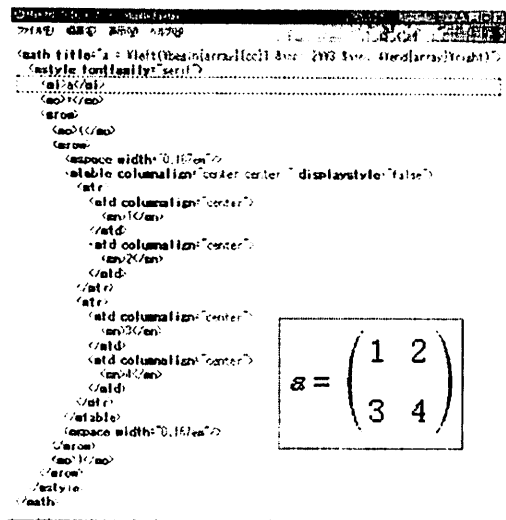


図4 MathMLによる数式の表現

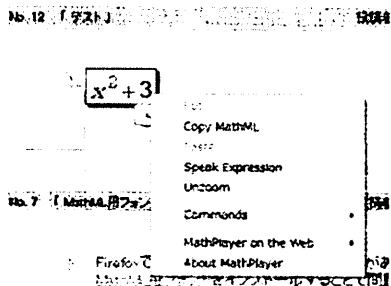


図5 Internet ExplorerとMathPlayerでの表示

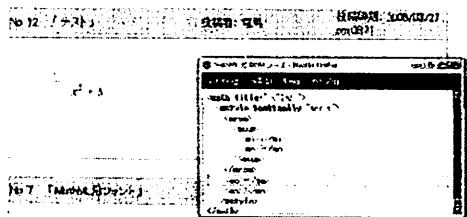


図6 Mozilla Firefoxでの表示

## 1.4.数式の入力と編集

TeX形式による数式入力は、ふだんTeXを使い慣れている場合は、容易に扱うことができるが、不慎れな学習者にとってはかえって入力に手間がかかる。しかし、今までの数式の扱いの多くが、TeX形式で行われてきたことから、TeXは有効な数式の入力手段だといえる。本研究においては、コミュニケーションシステム使用のために、TeXの記述方法や、コミュニケーションシステムの使用方法を対面授業において講義をした後に、実際にコミュニケーションシステムを使用させるを試みる。TeX以外の入力方法としては、数式エディタの使用がある。エディタの多くは、クライアント上で動作するソフトウェアがほとんどで、入力時にはエディタで記述した数式を一度、コピーしてコミュニケーションシステムに張り付ける必要があるが、ウェブ上で扱うことのできる数式エディタ「BrEduMa」もある[13]。

## 2. ウェブ上での数式表示の実現

### 2.1.コミュニケーションシステムの構築

数学教育用のコミュニケーションシステムとして、数式表示可能な掲示板及びWiki、Blogを構築した。このコミュニケーションシステムはASCII MathMLによる数式表示をした。それぞれのシステム内の<Head>タグに、以下のように、ASCIIMathMLのスクリプトを読み込ませることで、文中に、TeX形式で数式を入力することができる[14]。TeXによる入力を実現すると、MathMLのタグに比べて簡潔に記述することができる。

```
<script type="text/JavaScript"
src="./ASCIIMathML.js"></script>
```

本研究では自作の掲示板や、カスタマイズ性の高いPukiwikiやBloggerをベースに開発を行ったので、<Head>タグ内に自由に、スクリプトを読み込ませることができた。いっぽう、JavaScriptの呼び出しができないBlogや、掲示板などでは、ASCIIMathMLを扱うことができない。ウェブブラウザMozilla Firefoxの場合は、プラグインGreasemonkey[15]を使用することで、クライアント側の設定によってJavaScriptを呼び出すことができる。ページそのものは編集を行っていないので、ブラウザごとに設定する必要があるが、JavaScriptの呼び出しに対応していないサービスなどでもASCIIMathMLによる数式表示が実現する。

(1) 掲示板

掲示板を実装するにあたっては、『PHP で WEB アプリケーション I LEMON STUDIO PHP!』によって配布されている PHP で開発された掲示板システムをベースに数式入力に対応させた。数式入力を実現する方法は、掲示板の記事表示を行う PHP ファイルにおいて<head>内に前述のような ASCII MathML を呼び出すための記述をするのみである。よって、他の PHP や CGI で作成された配布されているプログラムや、自作した掲示板での実装も可能である。

掲示板は、学習者が指導者に質問し、それに対する回答を指導者から学習者に提供するなどのコミュニケーションとして利用することができる(図7)。返信機能があるので、教員がコメントと学生の質問を区別しやすい。また、学生同士のディスカッションも可能である。

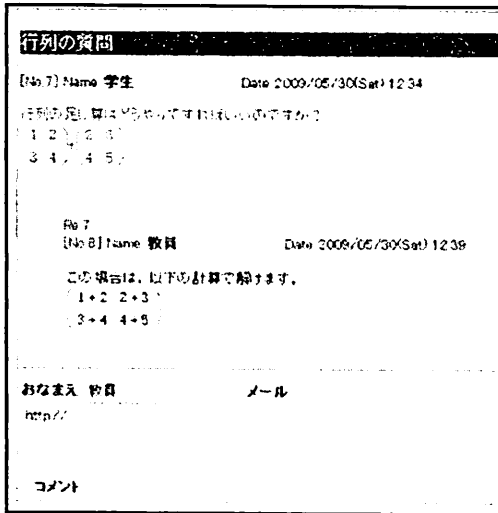


図7 数式対応掲示板

なお、LMS の Blackboard 学習システムには掲示板の機能が実装されているが、数式を画像添付のような形式で挿入するので、本文中に表示することができず、編集もできないので実用的ではない(図8)。数式を編集できないということは、学生から教員に送られた数式データの一部分を書き換えることができなくなるとのことである。そこで、本研究では LMS に実装されている掲示板とは別に、新しく掲示板を構築することにした。本文中に数式が表示でき、タグの部分がコピーして再度利用できることが特徴である。

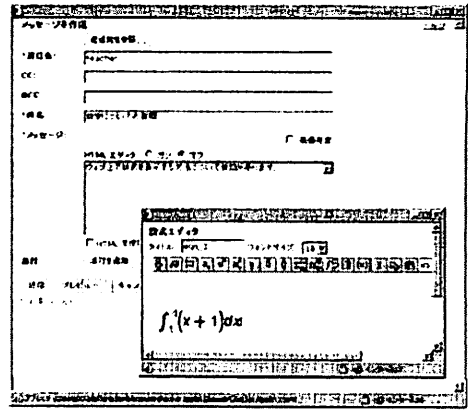


図8 Blackboard 学習システムの数式の扱い

(2) Wiki

Wiki を実装するにあたっては、PukiWikiPlus をベースに Wiki のスキン内に、前述のように ASCII MathML を呼び出す命令を記述した。実装方法としては、アイデアノート/MathML[16]を参考にした。

Wiki は、複数の人間でコンテンツを構築するなどのアーカイブとしての使用が可能である(図9)。これらのコミュニケーションシステムは、通常のウェブと同様の感覚で使用することが可能であるため、LMS を十分に使いこなせない初心者でも容易に使用することができる。ただし、通常の掲示板と比べて Wiki は入力方法に慣れが必要であるが、プレビューしながら本文を書き込むことができる。

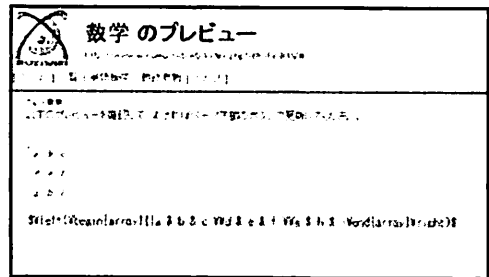


図9 数式対応 Wiki

Wiki を使えば教材コンテンツそのものとしても利用できる。プレビュー機能を利用すれば編集も容易なので、TeX による長い数式を入力する場合も実際の表示結果を確認しながら入力することができる。

(3) Blog

Blog 構築にあたっては、Blogger[17]のサービスを利用した(図11, 図12)。数式の入力と表示に対応

させる方法は、Blogger 管理画面の「レイアウト」において、「HTML の編集」を選び、 $\langle head \rangle$ タグ内に、ASCII MathML を呼び出す記述をした。

図 11 は数学検定の問題を教材としてブログ記事としており、実際に自学自習教材として使用できる。図 12 は、数学教材の開発プロジェクトにおいて、原稿の情報共有のスペースとしてしている。よって、Blogger のアカウント管理機能を利用して、教材開発者に限定して公開している。

Blog は通常のウェブサイトと同様の操作で扱え、コミュニケーション機能が装備されているので、e-Learning システムとして有効である[18]。Blog は、日記のような感覚で記事を投稿することが可能であり、基本的な本文の記述、コメントの記述、トラックバックの機能などがある。

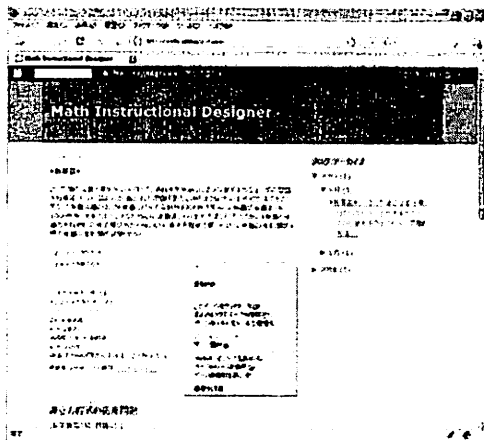


図 12 数式 Blog (数学教材開発)

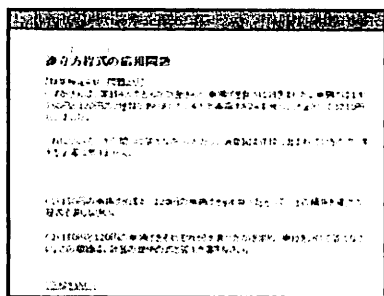


図 10 数式 Blog (問題)

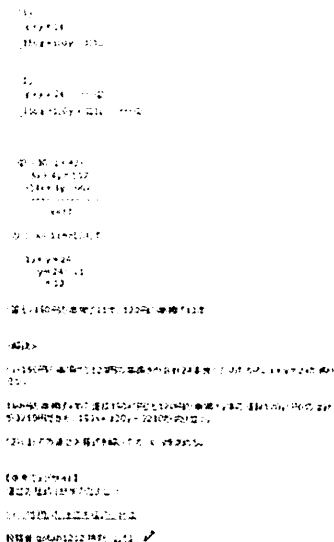


図 11 数式 Blog (解答)

Blog で教材を提供する場合、開発の工程の時間コストを軽減することができる。なぜなら、Blog はあらかじめシステムが実装されているので、静的なウェブページのコンテンツのようなページの構成などの開発作業が不要となる。また、教材として Blog 記事を投稿する際、本文中に、参考ウェブサイトへのリンク及び、他のブログ記事にトラックバックを張ることができる。これは、Blog 記事をリンク集のような役割として用いることで、ウェブ上にある既存のコンテンツをベースにした教材の提供が実現する。特に、トラックバックの使用は、ある教材コンテンツの前提知識や、発展的な内容についてリンクさせるなどが可能である。Blog を用いた教材は、一般的な教材よりも、関連するコンテンツを見つけ出しやすい手段である。掲示板などの一般的なコミュニケーションシステムと比べて Blog はコミュニケーションが活性化しやすいと考えられる。例えば、掲示板で質問を投げかける場合、何もない状態から新しいスレッドを立ち上げる必要があり、「何を質問すれば良いのか分からない」という状況が発生する。学習者が書き込んだ質問に対して、指導者が回答した場合であっても、他の学習者にとっては、どのコンテンツに関連した質問なのかを把握しづらく、質問に対する回答は、質問をした学習者以外にとっては価値が低い。いっぽう、Blog のコメント機能は、コンテンツ本文に関連した質問を学習者、あるいは指導者が書き込むことができる。どのコンテンツに関連した質問なのかが明確なので、コメントが書き込まれた 1 つの Blog 記事全体が Q&A 集として成立する。よって、学習者が質問を多くすればす

るほど、コンテンツが充実する。Blog 単体では、LMS におけるアセスメント機能を実装できないので、プラグインの導入や、Blog 機能のカスタマイズが必要である。そのためアセスメント機能実装という点では、LMS よりも Blog のほうが導入コストがかかるようであるが、本研究では Blog と LMS を併用して利用したため、アセスメント機能は LMS に含まれたものを利用した。また、Blog 内には、図 13 のような TeX 入力支援のためのマニュアルを準備した。Blog 内に、マニュアルを準備することで、マニュアルを参照しながら入力することができる。また、必要に応じて、TeX のタグをコピーアンドペーストして利用することができるので、TeX の入力に不慣れな学習者でも使うことができる。このマニュアル作成に当たっては、TeX 入力対応の掲示板を使用しているウェブサイト「数学ナビゲーター」[19]内の TeX 入力マニュアルを参考にした。

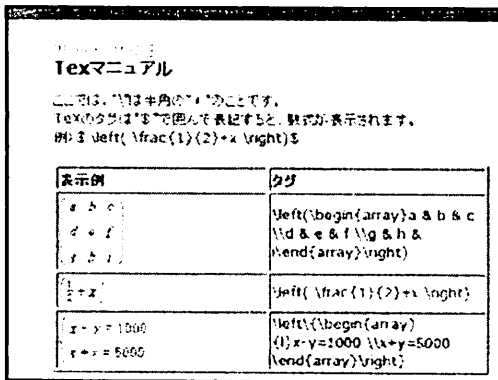


図 13 TeX 入力マニュアル

科書制作における情報共有システムとして使用している。前述のコミュニケーションシステムの構築内の Blog の部分で紹介している図 12 が、その教科書制作の原稿の一部である。このシステムを用いた教育実践としては、情報技術者向けの数学教育における教員と学生間のコミュニケーションに用いている。

### 3.2.eラーニング科目における実践例

本研究では、京都コンピュータ学院の学生を対象に数式掲示板の検証を行った。対象とした学生は、入学初年度の必須科目となっている「情報数学」の受講者である。情報数学の授業は、eラーニングの科目として、LMS で配信されるビデオ映像や補助教材によって行われる。そのため、教員とのディスカッションの場が少ないので、掲示板などによるコミュニケーションはより必要性が高まる。

検証方法は、補助教材として掲示板の使用方法について示した資料を準備し、受講者にテスト書き込みを依頼した。補助資料内でのサンプルとしては、行列の記述方法を示した(図 14)。

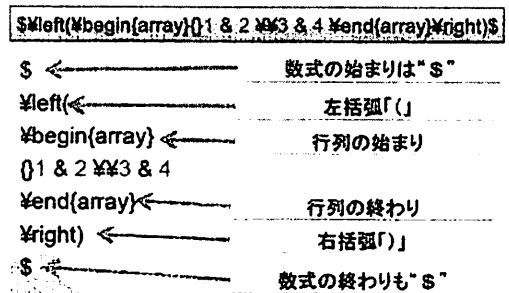


図 14 数式掲示板使用マニュアル (一部)

## 3. ウェブ上での数式表示のニーズと実践

### 3.1.実践方法について

本研究では主に、数学の基礎教育や、情報教育における数学的知識の内容に関するコミュニケーションを対象としたが、ウェブ上での数式を扱いやすくするニーズは様々な場面で想定される[20]。現段階で、数学教材を配信するウェブサイト「数学ナビゲーター」では、MathML による数式表示に標準対応し、mimeTeX による数式表示を実現している。他にも、ASCII MathML による数式の扱いを実装している掲示板が実装されている例がある[21]。本研究では、このようなシステムのプロトタイプの評価と実践を行っている。プロジェクト活動における実践としては、京朋社においての中等教育レベルの数学教

学生には、数式のテスト書き込みと同時に、数式入力についての感想を書かせた。感想は、「入力難しい」「慣れるのに時間がかかりそう」といった内容が中心であった。しかし、一方では「入力に慣れれば便利」、「使いこなせば便利」、「数式が表現できるのはいい」、「入力方法の改善が欲しい」などの書き込みが多かった。TeX 形式による数式入力は TeX に不慣れな学生が多かったが、掲示板の利用についてのニーズが多いといえる。図 15 に感想と数式の記入例を示す。

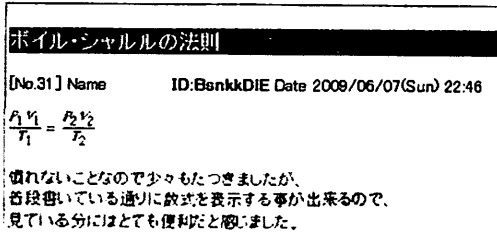
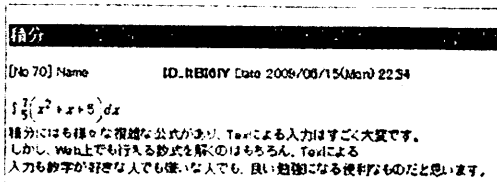


図 15 数式掲示板の利用

### 3.3. プロジェクト活動における実践

授業内における検証とは別にプロジェクト活動においても検証を行った。このプロジェクト活動とは、京朋社においての中等教育レベルの数学教科書制作における情報共有システムとしての利用である。10人以下の小規模のメンバーでの活動となるが、それぞれが blogger のアカウントを持つことによって、メンバーのみのアクセスが可能になる。図 16 は Blogger の認証画面である。

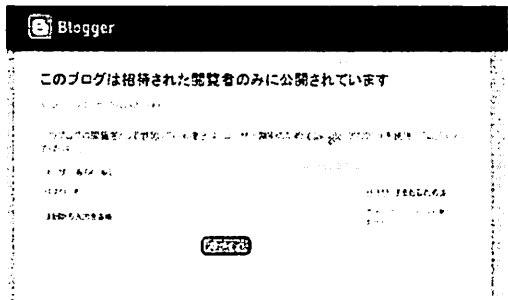


図 16 Blogger 認証画面

この検証では既存の Microsoft Word や一太郎などのワープロソフトで作成したデータをもとに、Blog 記事として書き込んだ。この時、ワープロソフトの本文をそのままコピーして記事として貼り付け、数式部分を TeX 形式で入力した。この作業では、ワープロソフトのデータをもとに作成したので作業の手間がかかったが、実際の原稿作成の場合は直接 Blog 記事として本文と数式を同時に書き込むことができ

る。アクセス権限を与えられたアカウントを持った者同士ならば自由に書き込みや編集ができるので、数式を扱うプロジェクト活動全般での利用が期待できる。また、この検証における活動は数学の教科書執筆のプロジェクトなので、TeX 形式による数式入力を習得しているメンバーが多く、数式エディタなどの GUI による数式入力よりも扱いやすいとのことである。

### 4. おわりに

筆者らは以前、数式教育におけるコミュニケーションとして、数式表示可能な掲示板、Wiki、Blog を構築した。Blog による教材の提供は、一般的な Blog の機能に加えて成績管理（小テストなど）とアセスメント及び課題提出機能、それを含めた成績表などを構築することで、LMS と同等の e-Learning システムを実現することができる。また、実際に教材を公開するだけではなく、教材開発のために開発メンバーのみの情報共有の場としても用いることができる。数式を TeX 形式で入力するコミュニケーションシステムを用いることによって、TeX に入力が不慣れな者にとってはシステムが扱いにくいことが検証によって明確になった。しかし、数学の e-Learning 授業などにおいては数式を扱うことができる掲示板のニーズがあることも明確になった。今後のコミュニケーションシステムの改善すべき点としては、入力を容易にすることが第一に挙げられるといえる。

### 謝辞

システムの教育実践に協力いただいた京都情報大学院大学の作花一志教授、プロジェクトにおける実践に協力いただいた京朋社のメンバーの皆様にも、謹んで感謝の意を表する。

### 参考文献

[1] HironbuGOTOH, MasahiroSAKAMOTO, KeijiEMI  
 "Developing e-Learning and Communication Systems to Support Displaying Math Equations on Web-Pages, in 2009" (JeLa 2009 年度国際シンポジウム)  
 [2] Blackboard 社 <http://www.blackboard.com/>  
 [3] Moodle <http://docs.moodle.org/>  
 [4] (a) 高校数学の自習 <http://lykeion.info/suugaku/>  
 (b) 数学のいずみ <http://www.nikonet.or.jp/spring/>

[5] 南野公彦・松村 初・山西 徹・酒井辰也・江見圭司『ベクトル・行列の表示可能なeラーニングの実践に関する研究』

[6] mimeTeX <http://www.forkosh.com/mimetex.html>

[7] BlahTeX <http://gva.nockeon.org/blahtexml/>

[8] (1) MathML <http://www.w3.org/TR/MathML/>

(2) Pavi Sandhu "The Mathml Handbook" Charles River Media

[9] MathPlayer <http://www.dessci.com/en/products/mathplayer/>

[10] Internet Explorer 8 Beta 1 for Developers ホワイトペーパー <http://msdn.microsoft.com/ja-jp/ie/cc216837.aspx>

[11] ASCII MathML

<http://www1.chapman.edu/~jipsen/asciimath.html>

[12] jsMath

<http://www.math.union.edu/~dpvc/jsMath/welcome.html>

[13] BrEdiMa <http://bredima.sourceforge.jp/>

[14] 後藤洋信 他『数式表示可能なウェブ上でのコミュニケーションシステムの構築』情報処理学会 CE94-Vol.2008 No.42 pp.1-pp.8.

[15] (1) Greasemonkey <http://www.greasemonkey.net/>

(2) ASCII MathML for Hatena を作った

<http://d.hatena.ne.jp/suikan/20081018/1224316310>

[16] アイディアノート/MathML

<http://pukiwiki.cafelounge.net/plus/index.php?%E3%82%A2%E3%82%A4%E3%83%87%E3%82%A3%E3%82%A2%E3%83%8E%E3%83%BC%E3%83%88%2FMathML>

[17] Blogger <https://www.blogger.com/>

[18] 川原真生 他『教材配信の場としての blog の活用』武蔵工業大学 環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル 2006.4 第7号 pp.21-pp.29.

[20] (1) Web で数式を書く方法 | Okumura's Blog

<http://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/blog/node/2308>

(2) 行政書士の仕事日 Web 上に数式を表示する方法

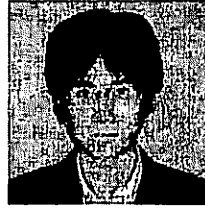
<http://godojimu.net/blog/archives/58>

[19] 数学ナビゲーター

<http://www.crossroad.jp/mathnavi/>

[21] けいじわん <http://dog.w3m.jp/bbs/spool/log.html>

## 著者紹介



後藤洋信 (学生会員)

京都情報大学院大学

応用情報技術研究科

ウェブビジネス技術専攻

修士課程



坂本雅洋 (非会員)

京都情報大学院大学

応用情報技術研究科

ウェブビジネス技術専攻

修士課程



江見圭司 (正会員)

京都情報大学院大学

応用情報技術研究科

准教授