

Maxima とマッシュアップ技術による SCORM コンテンツ中での数式処理と可視化の試み

賈 雲 鵬^{†1} 永 井 孝 幸^{†2,†1} Muhammad Wannous^{†1}
喜 多 敏 博^{†3,†4} 中 野 裕 司^{†2,†4}

オープンソースの数式処理ソフトウェアである Maxima をクロスドメインから利用可能にする Web アプリケーションサーバを構築することで、LMS 等他サイトからロードされたコンテンツ中で、数式の処理、表示、グラフプロットをインタラクティブに行うことを可能にした。MathML, HTML5 を利用したグラフ表示の Flot ライブラリや jQuery による JSONP 通信を活用することで、ブラウザ側はプラグインが必要のない JavaScript だけで実装した。本システムを、eラーニングの標準規格 SCORM に応用し、SCORM コンテンツ中での動作を確認するとともに、クイズ等への活用に関して、サンプルを作成しその可能性を探った。

Algebraic Manipulations and Visualizing Graphs in SCORM contents by Maxima and Mashup Approach

JIA YUNPENG,^{†1} TAKAYUKI NAGAI,^{†2,†1}
MUHAMMAD WANNOUS,^{†1} TOSHIHIRO KITA^{†3,†4}
and HIROSHI NAKANO^{†2,†4}

Algebraic manipulations, mathematical formulas and graphs can be visualized in web pages loaded from any sites as learning management systems by developing a web application server that provide Maxima's functions in cross-domain communication, where the Maxima is a free open-source computer algebra program. The client web browser does not require any plug-ins, because the system is implemented by the combination of MathML, Flot (plotting library using HTML5) and JSONP communication (by jQuery). We tried to apply the system for an e-learning standard SCORM, and sought possibilities for quizzes etc. by building sample contents.

1. はじめに

理数系学習コンテンツにおいて、動的な数式処理やその結果のグラフ表示は学習内容の理解を助けると考えられるが、LMS (Learning Management System) 等の Web 上の学習コンテンツでこれを実現するには様々な問題がある。

数式処理を実現するには、Web インターフェースを含んだ専用の数式処理アプリケーションと場合によっては利用範囲に応じたライセンスが必要となる。また、数式表示には $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ 等で出力したもののイメージ化やプラグイン等が必要で、グラフ表示もプロットツールのイメージ出力や専用プラグイン等が必要な場合が多い。また、それらを動的に連携して用いるには、セキュリティ上の制約(クロスサイトスクリプティング)から、コンテンツ配信サーバ側に専用 Web アプリケーションを開発する等の必要があった。

これらの問題の解決には、数式処理ソフトの Web フロントエンド¹⁾ や入力プラグイン²⁾ 等で取り組んだ例が多いが、我々は、拡張性やコンテンツ配置の自由度を重視し、クライアントの JavaScript のみによる複数サービスのマッシュアップによる解決を試みてきた^{8),9)}。具体的には、オープンソース数式処理ソフト Maxima³⁾, JSONP⁴⁾, Ajax (jQuery), MathML⁵⁾, FLOT⁶⁾ (HTML5 の Canvas⁷⁾ 利用) を活用により、その実現性と応用可能性を示すことができた。

上記により、Web サーバに置かれた通常の Web ページ上で、本システムを参照することで、動的な数式処理やその結果のグラフ表示が可能であることを確認したが、eラーニングコンテンツ上で活用するには、eラーニングコンテンツの標準仕様である SCORM¹⁰⁾ 上での動作が望ましいと考えた。SCORM コンテンツは、その仕様をサポートする LMS 上に置いて利用するため、本システムのようにクロスドメインで利用できること、さらに、クイズのランダムな生成等にインタラクティブ性が要求されるため、本システムは非常に有利であると思われ、今回、実際にサンプルを作成することで、SCORM コンテンツ中で本システ

†1 熊本大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

†2 熊本大学総合情報基盤センター
Center for Multimedia and Information Technologies

†3 熊本大学 eラーニング推進機構
Institute for e-Learning Development, Kumamoto University

†4 熊本大学大学院社会文化科学研究科教授システム学専攻
Graduate School of Instructional Systems, Kumamoto University

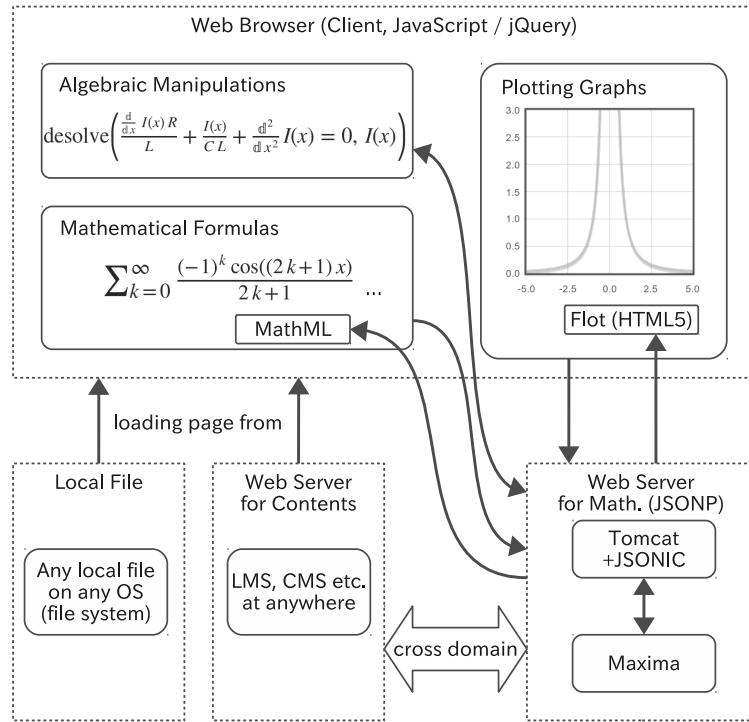


図 1 システム構成⁹⁾
Fig. 1 The system structure⁹⁾.

ムが利用可能であることを確認するとともに、その応用の可能性を探った。

2. システム構成

2.1 全体構成

図 1 に開発したシステム構成を示す。

大きく分けると、図右下の Maxima³⁾ の機能を提供する Web アプリケーションサーバと、図上部の Web ブラウザでその機能を利用可能にする JavaScript ライブラリからなる。Web アプリケーションサーバはクロスドメインから利用可能であるため、図左下のように、他の Web サイトが提供する Web コンテンツやインターネットに接続された PC であれば

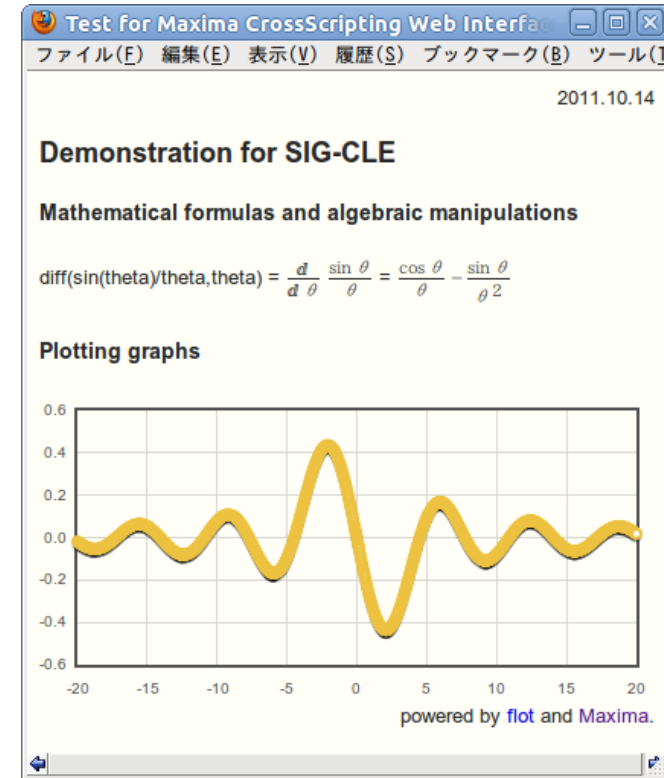


図 2 ブラウザ表示例
Fig. 2 An example shown in web browser.

ローカルファイルからでも利用することができる。

クロスドメインからのアクセスは、JSONP⁴⁾ と jQuery (Ajax) により可能にしており、サーバ側は jsonic.jar library¹¹⁾ を利用して Java サブレットで実装している。

2.2 数式処理

数式処理に関しては、基本機能として、Maxima 形式の表現であれば殆どそのまま処理することが可能であり、その結果は、Maxima の出力形式または後に述べる MathML 形式で出力が可能である。

```
...  
var url = "http://...Server's URI...";  
maximaML("#eq0", "'diff(sin(theta)/theta,theta)");  
maximaML("#eq1", "diff(sin(theta)/theta,theta)");  
maximaPlot2d("#eq2", "diff(sin(theta)/theta,theta)", "[theta, -20,20]");  
...
```

図3 図2のJavaScriptソース(一部抜粋)
Fig.3 JavaScript source code (part) from Fig.2.

```
...  
<h5>Mathematical formulas and algebraic manipulations</h5>  
<span id="eq1i"/> = <span id="eq0o"/> = <span id="eq1o"/>  
<h5>Plotting graphs</h5>  
<div id="eq2p" style="width:400px;height:200px" />  
...
```

図4 図2のHTMLソース(一部抜粋)
Fig.4 HTML source code (part) from Fig.2.

図2のように数式を扱うには、図3のJavaScriptライブラリで提供しているmaximaML(HTMLエレメントのID, Maxima形式の数式);等のAPIを用いて、数式をMaxima形式で出力したり(ここでは省略)、後で示すようにMathMLで表示することができる。

また、数式によっては処理に時間がかかる場合もあるが、jQuery(Ajax)による非同期通信を行っているため、Webページ全体はすぐに表示され、数式部分は処理が終わり次第、エレメントIDで指定の箇所に表示される。

2.3 数式表示

Maxima形式で入力された数式やMaximaの出力を、MathML形式による数式表示のためのAPIをJavaScriptライブラリで提供している。MathMLは数式表示のための標準XMLで⁵⁾、Firefox、Chrome、Safari、Internet Explorer等の多くのブラウザで表示可能である(一部プラグインが必要)。

図2のように数式を表示するには、図3に示すJavaScriptソースにおけるmaximaML("#eq0", "'diff(sin(theta)/theta,theta)");やmaximaML("#eq1", "diff(sin(theta)/theta,theta)");で入力した数式を、図4のやといったエレメントにMathML形式で挿入することができる。

MathMLへの変換は、Maximaの拡張モジュールであるmathml.lisp¹²⁾を利用している。

また、図2中の θ のように、Maximaの書式では表せないギリシャ文字や添字をJavaScriptライブラリ中の変換によって追加機能として実現している。

2.4 グラフのプロット

Maxima形式で入力された数式を2次元グラフとして動的にプロットするためのAPIをJavaScriptライブラリで提供している。MaximaとFlot⁶⁾ライブラリの組み合わせで実現しており、Flotは、HTML5のCanvas⁷⁾タグを用いてグラフィックスを描画するため、FlashやJavaApplet等のプラグインを必要としない。

図2のようにグラフをプロットするには、図3に示すJavaScriptソースにおいてmaximaPlot2d("#eq2", "diff(sin(theta)/theta,theta)", "[theta, -20,20]");として数式及びプロット範囲を指定すると、図4の

<div id="eq2p" style="width:400px;height:200px"/>で指定した箇所にグラフを挿入することができる。

HTMLのFORMタグ等でユーザからインタラクティブに数式や変数を取得し、APIを動的に呼び出すことでグラフも動的に書き換えることが可能である⁹⁾。

また、数式同様に、グラフによっては処理に時間がかかる場合もあるが、非同期通信を行っているため、Webページ全体はすぐに表示され、処理が終わり次第、エレメントIDで指定の箇所にグラフが表示される。

2.5 SCORMコンテンツ

本システムは、クロスドメインから利用可能であるため、図1で示したように、インターネット上のどのWebサイトにあるコンテンツからも利用でき、さらに、インターネットに接続されたPCであればローカルファイルからでも利用可能である。

SCORM¹⁰⁾はeラーニングコンテンツの標準規格の一つであり、SCORM規格に従って作成されたコンテンツは、SCORMをサポートするLMSであれば、どのLMS上にも登録、配置でき、学習者の閲覧やクイズのスコア等の記録も残すことができる。Moodle、Sakai、CLE、Blackboard、WebCT等といった多くのLMSがSCORMをサポートしている。

SCORMコンテンツはLMSからロードされるため、LMS上に配置する必要がある。そのため、LMS以外のサイトと通信を行うことは基本的には難しかったため、何らかのサーバサイドの機能を追加するには、LMSにモジュールを追加するか、LMS自体を改造する必要が生じ、せつかくのLMS非依存性が失われてしまった。

しかし、近年、本システムも利用しているJSONP等のマッシュアップ技術を利用することで、クロスドメインで非同期通信を行うことが可能になり、LMS以外のシステムとSCORM

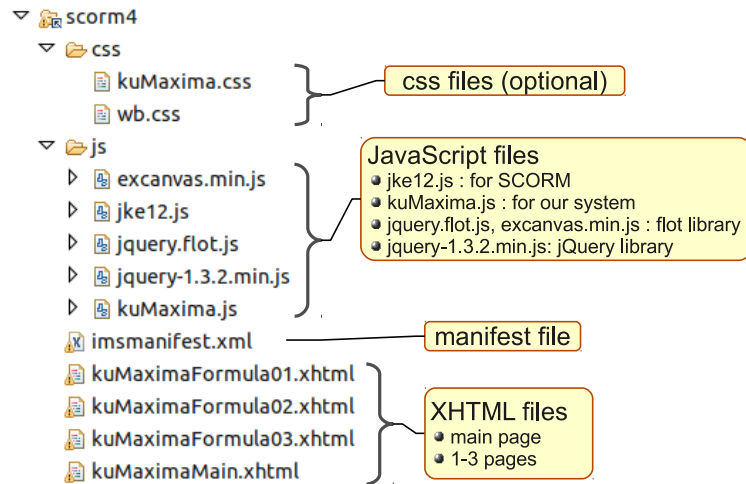


図 5 SCORM サンプルコンテンツの構成
Fig. 5 Structure of the Sample SCORM content.

コンテンツが通信することも可能になってきた。本研究では、次で示すように、LMS 外部にサーバを持つ本システムを SCORM コンテンツから利用するサンプルコンテンツを実際に作成し、SCORM コンテンツ中で本システムの数式処理、表示、グラフのプロット等の機能が利用できることを確認するとともに、その活用の可能性を探った。

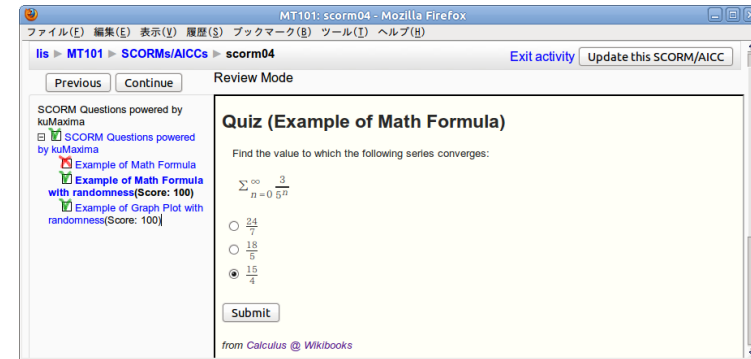
3. SCORM コンテンツへの応用例

3.1 作成した SCORM サンプルコンテンツの構成

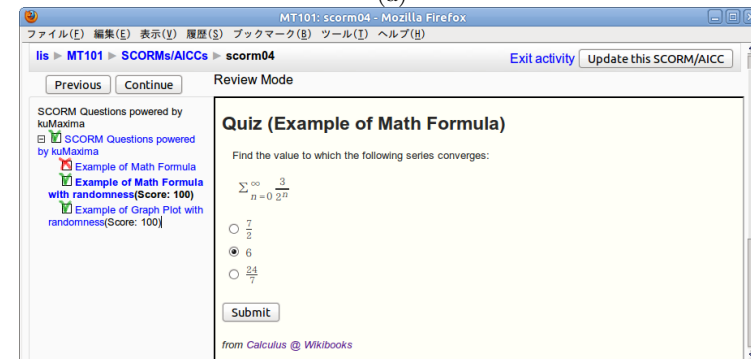
SCORM コンテンツ中で本システムの数式処理、表示、グラフのプロット機能が利用できることを確認するとともに、その活用の可能性を探るため、SCORM コンテンツを作成した。図 5 にその構造を示す。

SCORM コンテンツは、色々な可能性を探るため、自由にソースコードを書き換えられるように、特別な SCORM コンテンツ制作用アプリケーションは使用せず、直接 HTML 及び JavaScript のソースから作成した。図 5 に示すように、css 及び JavaScript をフォルダに分けた一般的な構成で作成し、Manifest ファイルにその構成及び設定を記述した。

図 2 のような通常の Web コンテンツは問題なく表示できたので、スコアが残るクイズに



(a)



(b)

図 6 SCORM コンテンツ例: 数式を用いた選択問題 (正解がランダムに変化)

Fig. 6 Sample SCORM content: selection type quiz including mathematical formulas with randomness.

ついて以下に検討した。また、クイズの場合、問題の内容や回答の番号をランダムに変更できるか等も含めて、どのような活用が考えられるか検討を加えた。

3.2 数式を用いた選択問題

SCORM コンテンツのクイズの中で数式を扱うことに関しては、問題なく行えた。そこで、問題の内容や回答の番号をランダムに変更した選択問題に関して、試してみた。

図 6 に作成したサンプルを示す。

```

...
for(i = 0; i < arraySize; i++) {
  maximaML("#eq"+(i+1), "ev(limit(nusum(3*(1/"+rand[i]+")^n,n,0,m),m,inf),simp:true)");
}
...

```

図 7 図 6 の JavaScript ソース (一部抜) 粋
Fig. 7 JavaScript source code (part) from Fig.6.

同じ数字を持たない乱数配列を発生させる部分を JavaScript で作成することで、数式の係数等をランダムに変更したり、正解の番号をランダムに変更することもできた。図 7 にソースコードの一部を示すが、ループ変数の i や事前に用意した乱数配列 $rand[i]$ を変数として API を呼んでおり、動的に表示する式を変更できることがわかる。図 6 の (a) と (b) は、まったく同じページを再読み込みしたものであるが、問題も回答も異なるものが表示されている。動的な数式処理と表示が可能なることから、このようなことが実現できるが、図 4 の場合に加えて、乱数発生、正解の変動、SCORM の API との接続等、かなりの JavaScript によるプログラミングが必要となる。ただし、このサンプルを作成する過程で、ある程度のライブラリ化が可能であることもわかった。

3.3 グラフを用いた選択問題

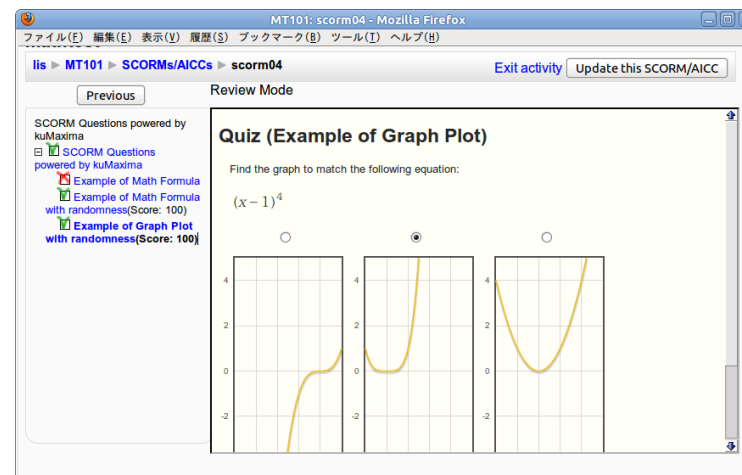
SCORM コンテンツのクイズの中でグラフのプロットを扱うことに関しては、問題なく行えた。そこで、数式の場合と同様に、問題の内容や回答の番号をランダムに変更した選択問題を作成した。

図 8 に作成したサンプルを示す。

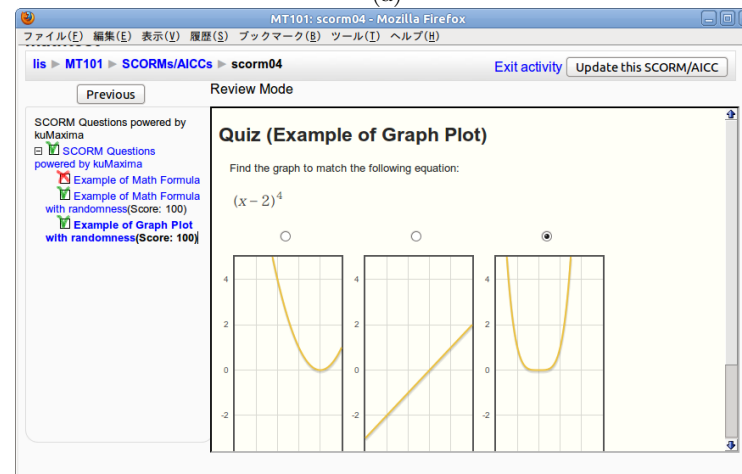
図 9 にソースコードの一部を示すが、ループ変数の i や事前に用意した乱数配列 $rand[i][j]$ を変数として API を呼んでおり、動的にプロットするグラフを変更できることがわかる。この場合も、図 8 の (a) と (b) は、まったく同じページを再読み込みしたものであるが、問題も回答のグラフも異なるものが表示されている。動的な数式処理とグラフのプロットが可能なることから、このようなことが実現できる。

4. まとめと今後の課題

オープンソースの数式処理ソフトウェアである Maxima をクラウドメインから利用可能にする Web アプリケーションサーバを構築することで、LMS 等他サイトからロードされたコンテンツ中で、数式の処理、表示、グラフプロットをインタラクティブに行うことを可能にした。



(a)



(b)

図 8 SCORM コンテンツ例: グラフを用いた選択問題 (正解がランダムに変化)

Fig. 8 Sample SCORM content: selection type quiz including graph plot with randomness.

```
...  
for (i = 0; i < arraySize; i++) {  
    maximaPlot2d("#eq" + (i + 1), "(x-" + rand[i][0] + ")^" + rand[i][1],  
    "[x,0,5]", null, {xaxis:{min:0, max:5},yaxis:{min:-5, max:5}});  
}  
...
```

図9 図8のJavaScriptソース(一部抜粋)
Fig.9 JavaScript source code (part) from Fig.8.

本システムは、クロスドメインから利用可能であるため、eラーニングコンテンツの標準規格であるSCORMへの応用が十分可能であると考え、サンプルコンテンツを実際に作成し、SCORMコンテンツ中で数式処理、表示、グラフのプロット等の機能が利用できることを確認するとともに、その活用の可能性を探った。

その結果、通常のWebコンテンツで表示可能なものはSCORMコンテンツ中でも問題なく表示できることがわかった。さらに、スコアが残るクイズについて調べた結果、問題中の数式やグラフプロットや、回答の番号を動的かつランダムに変更できることができた。

しかしその場合、乱数発生、正解の変動、SCORMのAPIとの接続等、かなりのJavaScriptによるプログラミングが必要となることもわかった。サンプル作成の過程で、ある程度のライブラリ化が可能であることもわかったため、今後、システムの改善とともにSCORM中のクイズ等の作成を支援するライブラリを追加していきたい。

参 考 文 献

- 1) webMathematica : <http://www.wolfram.com/products/webmathematica/> ,
MapleNet : <http://www.maplesoft.com/products/maplenet/> ,
Sage : <http://www.sagemath.org/> ,
MaximaPHP : <http://maximaphp.sourceforge.net/> 等
- 2) DragMath : <http://www.dragmath.bham.ac.uk/> ,
MathEdit : <http://wme.lzu.edu.cn/mathedit/> 等
- 3) ホーム : <http://maxima.sourceforge.net/>
- 4) 高橋登史朗 : jQuery 入門 魔法のJavaScript リファレンス&サンプル, 秀和システム, (2009/11) p.349.
- 5) ホーム : W3C Math Home, <http://www.w3.org/Math/>
- 6) ホーム : <http://code.google.com/p/flot/>
- 7) HTML5 Canvas :
<http://www.w3.org/TR/html5/the-canvas-element.html#the-canvas-element>

- 8) 中野裕司, 賈雲鵬, Muhammad Wannous, 永井孝幸, 喜多敏博 : 数式の処理と表示のマッシュアップを実現するMaxima活用システムの開発, 教育システム情報学会第35回全国大会発表論文集, pp.381-382 (2010).
- 9) Nakano, H., Nagai, T., Jia Y., Wannous, M. and Kita, T.: Mashup approach for embedding algebraic manipulations, formulas and graphs in web pages, Global Engineering Education Conference (EDUCON), 4-6 April 2011, Amman, pp.691-694 (2011).
- 10) ホーム : <http://legacy.adlnet.gov/Technologies/scorm/default.aspx>
- 11) jsonic.jar - simple json encoder/decoder for java,
ホーム : <http://jsonic.sourceforge.jp/>
- 12) mathml.lisp - MathML Conversion in Maxima
ホーム : <http://www.lurklurk.org/maxima.html>