

数式による解答と自動採点を可能とした SCORM 準拠の e-Learning コンテンツの開発

近藤隆司¹, 後藤善友², 大賀恭¹, 長屋智之¹

¹ 大分大学工学部, ² 別府大学短期大学部

Development of SCORM based e-learning contents for automatic evaluation of mathematical expressions

Ryuji KONDO¹, Yoshitomo GOTO², Yasushi OHGA¹, Tomoyuki NAGAYA¹

¹Faculty Of Engineering Oita University, ²Beppu University Junior College

This paper describes the development of e-learning contents and authoring tools for serving mathematical expressions to students in Ubiquitous learning situations. In order to enable mobile e-Learning, the contents are written in Javascript and support for Mathjax, and the student's mathematical expressions are evaluated by MAXIMA running on sever-side.

キーワード：数式処理，自動採点，SCORM，STACK，Web 標準

1 はじめに

数学や物理等の数理系科目の演習は，数式による解答が多くを占める。それ故，演習を e-Learning で実施する場合，数式による回答と自動採点の機能を，LMS が備えていることが望まれる。数式で答える問題を択一形式に書き換えた場合，テストとしては機能しても演習には不向きである。本プロジェクトでは，e-Learning コンテンツ自体に，数式を取り扱う機能を組み込んで，数式で答える e-Learning コンテンツの作成を試みた。

数式による回答を可能とするには，幾つかのポイントがあって，以下例をあげる。

ひとつには，回答表記の揺れへの対応がある。例えば "a + b" と "b + a" を同一の式と判断するなど，表記の違いを吸収する機能が必要である。これは Maple, Mathematica, Maxima⁽¹⁾ などの数式処理ソフトと言われるもので実現されていて，これらのソフトを用いれば，数式の自動的な簡約化や，代数的な処理が可能となる。例えば，採点する場合には，正解と回答を引き算してゼロとなるかどうか，両式の代数的な演算をすれば良い。これら数式処理ソフトを利用した e-Learning のシステムが幾つかあるが，Maxima を利用したものに，STACK⁽²⁾ というプロジェクトがあり，本プロジェクトでも STACK の成果を利用している。

この他，式の入力方法にも注意すべき点がある。可読が容易な数式を表示するには TeX 等のソフトウェアを利用する必要がある。しかし回答する際に，例えば TeX のソースを回答者に入力させることは適当ではなく，入力是一般的な四則演算の形である方が望ましい。これを実現するには，" $\frac{1}{2}$ " 等の形式で入力した式を，TeX のソース " $\frac{1}{2}$ " に自動的に変換する機能が必要

となる。

この他に，コンテンツの開発にあたって留意した点は，コンテンツが紙に書かれた問題を良く再現するよう図ったところである。従来の紙面上のコンテンツでは，問題掲示の文章や解答欄の配置に，ある程度の慣習がある。しかし LMS によっては，Web ブラウザの画面上で，問題を掲示する部分と解答欄が二つの領域に分かれるなど，一見して回答方法が分かりづらい場合がある。それ故，このプロジェクトでは，紙上の問題の慣習的な配置を再現するように努めた。

この他，LMS との連携を図るために，SCORM 規格に準拠した。これにより，Moodle や WebClass 等の SCORM コンテンツに対応した LMS で利用可能となり，LMS 間のポータビリティも有している。

また，コンテンツは HTML と JavaScript 等の Web 標準技術を用いて書かれている。そのため，コンピュータだけでなく，Web ブラウザを備えた携帯機器での利用も可能となっている。

2 コンテンツ概要

図 1 は本プロジェクトのコンテンツを Moodle 上で利用しているところである。Web ブラウザは Firefox で，パソコンでの利用である。Moodle では SCORM コンテンツに対して，iframe タグでマークアップされた矩形領域が与えられる。コンテンツを構成する要素には，大きく分けて，問題文，解答欄，入力欄があり，このうち入力欄は解答欄をクリックしたときのみ表示されて，図 1 のように問題文の左側に表れる。

問題文は，HTML で記述し，通常の Web ページと同



図 1: Moodle での利用

じ表現となる。画像も任意の位置に配置できる。問題文中で、数式を使用する場合は Mathjax の機能を利用する。これは TeX の数式をブラウザ上で利用可能とする JavaScript である。この Mathjax をコンテンツのヘッダーで読み込んであるので、問題文中で x^2 といった TeX の組版が利用できる。

解答欄は問題文上の任意の位置に配置できる。z-index が異なるため、問題文の上に重ねて配置することも可能で、問題文の表示内容に応じた配置がとれる。そのため、紙媒体で演習問題を作成する場合の慣習的な配置を再現することも容易である。解答欄には入力欄に記入された数式が組み版された数式となつて表示される。

入力欄は、通常の四則演算で解答を記入する。解答の記述は Maxima の数式の表記に従って記し、TeX のソース形式ではない。しかし解答欄に反映されるときには、自動的に $\frac{h}{p}$ に変換されて、最終的に解答欄には $\frac{h}{p}$ と表示される。この他、Maxima が取り扱う表記内で、下付、ギリシャ文字、関数の入力も可能となっている。

本プロジェクトのコンテンツは、LMS の採点機能を利用せず、独自の採点方法をとって、回答と正解を、数式処理ソフト Maxima を利用して、代数的に比較し判定をする。この数式処理機能はコンテンツ自身には含まれておらず、他のサーバーにある機能を利用することで採点している。そのため、回答正解の両方を、Maxima がインストールされている他のサーバーに送り、そのサーバー上に用意してある採点用の php スクリプトを実行

する。このスクリプトが、STACK の採点の部分呼び出して判定し、正誤の結果を LMS サーバーに返す。図 2 に示すように、利用者のパソコン（あるいはモバイル機器）、LMS サーバー、採点サーバーが連動して動作して採点等の処理をする。

他のサーバーのスクリプトを実行することは、一般にクロスドメインリクエストと呼ばれ、セキュリティ上の制限がある。Web ブラウザによっては、返信のヘッダーを適切に設定することで、サーバー間の通信が可能となるが、マイクロソフト社の Internet Explorer（以下、IE と略）では、両サーバーが http か、あるいは https で一致した場合のみ通信が可能となる。現在利用している大学のサーバーは、Web サービスが https であり、採点サーバーは http であつて異なるため、他の方法として、通信の機能を組み込んだ Flash を利用した。そのため IE を利用するのであれば、Flash を Web ブラウザに組み込んでおく必要がある。

正解はコンテンツに含まれる XML ファイルに記されている。採点サーバーを利用する際には、正解をネットワーク上に送信することになるが、firebug 等の開発ツールを利用すると、コンテンツの通信内容を傍受できる。そのため、正解を RSA 暗号を用いて、符号化した。図 3 は正解などを記述した XML ファイルの一部を抜き出したものである。TAns タグでマークアップされた要素が暗号化された正解である。

採点においては、STACK の評価関数を利用している。これには、正解と比較して恒等式となっているかを判定するものや、数学の計算問題の採点パターンで最後まで

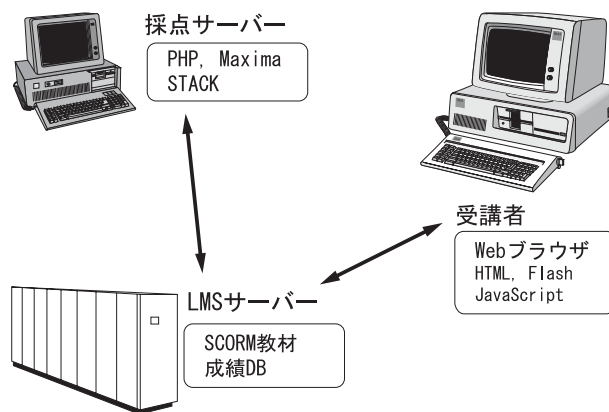


図 2: LMS サーバーと採点サーバー

```

. . . . .
<question>
<num>2</num>
<AnswerTest>AlgEquiv</AnswerTest>
<size>135</size>
<x>342</x>
<y>339</y>
<TAns>GWNQ0GoXjE5AeNrvY5PEOS4TOxk7mZSCSgrLj7TutgHaE1+Cdd4O1S
DtEGABGYDcHbamJZ6v2wSeJCYOFKog0Pt9lBm2PPOc9B1CelquyASqUTWOJm
G3Ohi8psZwqwbF2zvNomxAh7YwSCyLmvnzKyVYaluF7g3QHdjNI6JgzEQ=</
TAns>
<AnsTestOpt></AnsTestOpt>
</question>
. . . . .

```

図 3: 暗号化された正解

メイン

問題文

解答欄

info

解答欄を追加

削除

解答欄: 2

順位を上げる

更新

座標 (x, y)

342

339

評価方法:

代数等価

選択

AT Option:

正解: h / p

```

<question>
<num>2</num>
<AnswerTest>AlgEquiv</AnswerTest>
<size>135</size>
<x>342</x>
<y>339</y>
<TAns>h / p</TAns>
<AnsTestOpt></AnsTestOpt>
</question>

```

問: 下記の空欄を適当な語句または式で埋めなさい。ドブロイは光が粒子の性質をもつというアインシュタインの光量子説をヒントに、粒子と考えられている電子は波の性質をもつと考え、この波を (1) と呼んだ。その波長 λ は、粒子の運動量を p とすれば、

$$\lambda = \text{(2)}$$

と表される。この式で、 h はプランク定数である。

(1) 物質波・ドブロイ波

(2) $\frac{h}{p}$

図 4: コンテンツ作成用 Web アプリケーション

式変形がなされているかどうか判定するもの等がある。

採点結果は、LMS が提供する SCORM の API を利用して、LMS のデータベースに記録される。本コンテンツが記録している項目は、獲得点数と解答内容の二つである。次回、受講者が学習を再開するときに、前回の学習で、最後に記入した解答内容が再現される。

コンテンツ作成の効率を上げるために、作成用のツールを Web アプリとして用意した (図 4)。Web アプリであるので、ネットワークに繋がったパソコンであれば、インストールすることなく利用できる。図 4 は正解を設定しているところである。解答欄の位置はドラッグして自由に移動可能である。正解の他に、採点方法を指定するが、これは STACK の評価機能に対応した項目で、恒等式として評価するか、数学の計算問題の採点なのか等々を決定する。この他、問題文を作成する機能と、最終的に SCORM コンテンツとして纏めあげる機能を持っている。

3 終わりに

本報告のコンテンツは、すでに実際の講義で利用している。パソコン教室を使用している場合には、初回の講義で、解答方法を説明して入力練習をしている。その際は 70 名程度の受講生が、同時に採点サーバーにアクセスすることになり、このときがもっとも負荷がかかる状況である。現在の採点サーバーは Core 2 Quad 2.4GHz の CPU を搭載した普通のパソコンであるが、このときもパソコンの負荷はさほど高くはならず、十分に処理可能であった。

従来は、例えば物理の分野であれば、演習を e-Learning で実施する場合、数式で答える問題を数値で答える問題に書き換えることが必要であった。本コンテンツを利用することによって、過去の教育用の資源を、そのまま活用可能となって、作題の負担はかなり減少することとなった。また、受講者は自身の解答の正誤を、教員の説明を待つことなく、即座に知ることになる。この点は、紙媒体を用いて課題を課す場合には、実現できない機能である。e-Learning であっても、解答方法が択一形式であれば、即座に解答の正誤を受講者に知らせると、教育効果がほとんど無くなると予想される。

SCORM 規格に準拠したことによって、導入されている LMS がどのようなものであっても、同一のコンテンツが利用できる。そのため、広く大学間でコンテンツを共同利用することも可能になると思われる。我々としては、今後、基礎的な物理のコンテンツの拡充を図っていく予定である。

参考文献

- [1] 横田博史：“ はじめての Maxima ”，工学社，東京 (2006)
- [2] 中村泰之：“ 数学 e ラーニング 数式評価システム STACK と Moodle による理工系教育 ”，東京電機大学出版局，東京 (2010)