

# 多肢選択式問題を用いた学力評価システムの試作

津森 伸一

## Prototype System for Evaluating Academic Grades Using a Multiple-Choice Test

Shin'ichi Tsumori

### Summary

The purpose of this paper is to report on a prototype system for evaluating academic grades using a multiple-choice test.

Paradigms of multiple-choice problems are now widely used in entrance/-qualifying examinations, CAI/e-learning software, and so on. However, it is difficult to evaluate and explain grades accurately because of the algorithms for marking answers on multiple-choice problems.

I have been developing a system to make a new evaluation method using a multiple-choice test. This paper reports on the prototype system which has been designed using PHP, a type of programming language, and MySQL, a type of database.

Received Oct. 30. 2004

Key words:e-learning, Web-Based Training, Multiple-Choice Problem

### 1. はじめに

一般に、学習者が学習した概念を深い知識として定着させるためには、問題演習を用いた繰り返し学習が必要である。問題演習の結果は学力評価としてフィードバックされることにより、学習者が自身の学習達成状況や弱点事項等を知ることができる。特に CAI や e-learning 等のコンピュータ援用システムは、教師不在の状況で利用されることも多いため、学力評価結果は学習者にも分かり易く、また即時に応答される必要がある。

問題演習の形式としては、これまで多肢選択式問題（以下“選択問題”）、穴埋め式問題、記述式問題等が広く利用されている。中でも選択問題は、採点方法が単純で機械化が容易なこともあり、入学試験や資格試験、更にコンピュータ援用学習システムにも広く適用されてきた。一方で、選択問題は記述式問題等に比較して、問題に正解する知識を有していなくても偶然正

答する確率が格段に高いこともあり、得点をそのまま学力評価として扱うことには問題が残る。

筆者らは共同で選択問題を用いた Web-based の学力評価システム（以下“本システム”）の開発を行い<sup>[1]</sup>、授業や定期試験において試験運用を行っている。本システムの特徴は、知識を定量的・定性的な側面の両方から評価することであり、偶然の正答による得点を補正することにより、学力評価の信憑性を向上することを狙っている。

本稿では、プログラミング言語 PHP とデータベース MySQL を用いて実装した本システムのプロトタイプについて報告する。第 2 章では、本システムによる学力評価方法の概略を示す。第 3 章では本システムの動作環境と構成、第 4 章ではシステムの動作とユーザインタフェースについて述べる。第 5 章で現状と今後の課題を述べてまとめとする。

## 2. 学力評価方法

最初に本システムによる学力評価方法の概略について説明する。章中に示す評価用パラメータの詳細については文献 [1] を参照されたい。

本稿では、“ある学習領域の内容を理解している”とは、“当該領域に関する知識をより多く、より正確に習得している”と定義し、知識の量と正確さを測定することにより妥当な学力評価を行うことができるものとする。このことを測定するため、以下の要領で問題演習を実施する。

- 学力評価を行おうとする単元を選択し、単元中の問題に解答する。なお、各単元には各々複数問の問題が格納されており、学力評価のためには単元内の全ての問題に解答する必要がある。
- 学習者は各問につき、正解と思う選択肢 1 つと、その解答に対する確信度（自信の割合）を例えば 5 段階で入力する。

学習者が単元の問題に全て解答した後、システムは学習者の入力情報から、次に示す知識量、理解度、学習達成度の 3 つのパラメータを算出する。

- (1) 知識量：知識の定量的割合を示し、値が大きいほど対象領域に関する知識が豊富であることを示すパラメータである。単元の問題演習の素得点より無作為抽出による得点の期待値を減ずることにより求める。
- (2) 理解度：知識の定性的割合を示し、値が大きいほど対象領域に関する知識を正確に習得していることを示すパラメータである。単元の問題演習における確信度を、正解の場合は加算し、不正解の場合は減算することにより求める。
- (3) 学習達成度：知識量・理解度という 2 元の数値を学習者が理解し易いように 1 つの数値として表現する総合評価であり、知識量と理解度の関数である。

学力評価結果は上記の 3 パラメータで表され、これらを値に応じた学習コメントと共に学習者に提示する。

## 多肢選択式問題を用いた学力評価システムの試作

“知識の量と正確さを測定する”ことは、多肢選択式、穴埋め式、記述式等の出題方法に依存しない内容であるため、他の出題方式による問題演習についても知識量、理解度等のパラメータを別途定義し学習者に提示することにより、学習者は出題方式によらず常に同じ形式の評価を受けることになり、教師不在の環境においても学力評価が理解し易いものになる。

### 3. システム構成

#### 3-1. 動作環境

本システムは Web ベースのシステムとして構築した。これは、学習用のプラットフォームとしてパソコンだけでなく携帯電話や PDA (携帯用コンピュータ) の利用も想定している<sup>[2]</sup>からであり、コンテンツを別途開発するだけで Web ページを表示可能な携帯電話や PDA 上でシステムが利用できるようになる。

システムの動作環境の概要を表 1 に示し、以下表 1 の内容について説明する。

Apache<sup>[3]</sup>は世界中で圧倒的シェア (60%) を誇る Web サーバである。Web サーバとは WWW システムにおいて Internet Explorer 等の Web クライアントから要求された HTML 文書を返すためのプログラムである。静的に作成された HTML ファイルの内容を返すだけなら OS 上で Web サーバプログラムを起動するだけで Web サーバとして機能する。一方 Web クライアントからの要求の内容に応じて異なった Web ページを表示させる必要がある場合は、Web サーバの外部或いは内部モジュールにおいて、Web クライアントからの要求を受ける度に動的に HTML スクリプトを生成する必要がある。

表 1 システムの動作環境

OS	Linux または Windows Server
Web サーバ	Apache
インタプリタ	PHP
データベース	MySQL

本システムにおいては、後述するように問題を個々に作成し学力評価も個人別に提示する必要があるため、Web サーバ側で別途プログラムを動作させている。そのためのプログラム開発言語として PHP<sup>[4]</sup>を用いた。PHP は “PHP: Hypertext Preprocessor” の再帰的略称で、特に Web ベースシステムを開発するために作成されたインタプリタ型のプログラミング言語である。PHP を選択した理由は以下の通りである。

- Web ページのスクリプト作成言語である HTML で作成したスクリプトの中に PHP プログラムを直接埋め込むことができるため、システムの開発期間を短縮でき、またプログラムの可読性が高くなる。
- MySQL, PostgreSQL, Oracle 等の著名なリレーショナルデータベースとの強力なインタフェースを処理系がサポートしているため、データベースの利用の際にライブラリ等の別プ

プログラムを必要としない。

- サーバサイド技術としては CGI (Common Gateway Interface) が広く知られているが、CGI を利用した場合、図 1 に示すように、サーバ機上で Web サーバの他に接続中の Web クライアント数だけの CGI プロセスを動作させる必要があり、同時接続数が多い場合サーバ機の CPU に多大の負荷を掛ける。PHP は図 2 に示すように Web サーバ内の 1 モジュールとして動作させることができるため、同時接続数に拘らずプロセスが 1 つとなり、サーバ機の CPU 負荷が抑えられる。

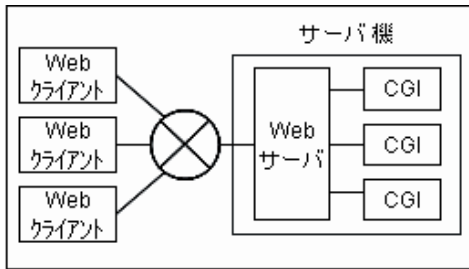


図1 CGIを用いたサーバ構成

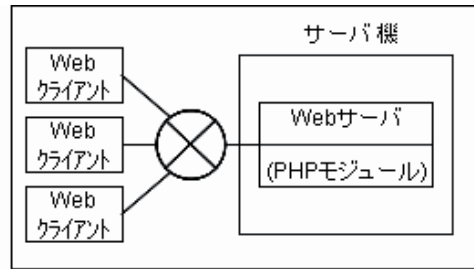


図2 PHPを用いたサーバ構成

データベースには MySQL<sup>®</sup>を用いた。MySQL はデータベース言語標準である SQL をサポートするリレーショナルデータベースであるが、他のデータベースに比して実行速度が速く、商用・非商用を問わず稼働実績が高いものとして知られる。

なお、本システムの開発は Linux 上で行ったが、Apache, PHP, MySQL の何れについても Windows や FreeBSD 等の他の OS 用実行ファイルがフリーで配布されているため、開発システムはそのまま Windows 環境でも実行することができる。

### 3-2. サーバ構成

図 3 に全体構成を示し、以下に各モジュールとデータベース内の各テーブルについて説明す

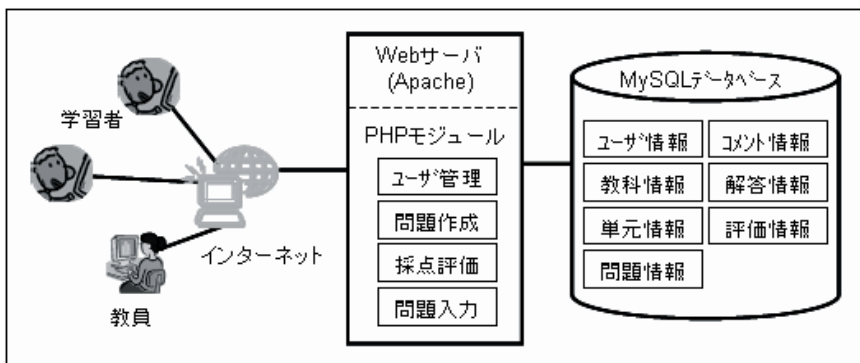


図3 システム構成

る。なお、モジュールの詳細（動作アルゴリズム）は第4章で説明する。

### 3-2-1. モジュール

モジュールはPHPで作成されたプログラムであり、以下の4つからなる

- (1) ユーザ管理モジュール：ユーザのログイン処理とセッション管理を行う。
- (2) 問題作成モジュール：学習者に提示する問題画面のHTMLスクリプトを生成する。
- (3) 採点評価モジュール：問題演習における学習者の解答の採点評価を行う。
- (4) 問題入力モジュール：問題入力画面を提示する（教師のみ実行可能）。

(1)のセッション管理について説明する。

WWWシステムにおけるWebクライアントとWebサーバのセッション（やり取り）は、WebクライアントからWebサーバへページを要求し、Webサーバから所望のページを返された時点、すなわち1往復で終了する。学習を行うためには、やり取りが複数回なされる必要があるが、Webサーバは前回要求を受けたWebクライアントと今回要求を受けたWebクライアントが同じものであるか否かを監視していない。従って、同じ学習者が学習を続けていることを監視する仕組みが別途必要になる。

セッション管理はWebクライアントとWebサーバ間のセッションを監視し、要求が既にアクセスのあったWebクライアントからのものか否かを判定する機能を提供する。PHP言語はセッション管理機能を有しているため、簡易な方法でWebクライアント（すなわち学習者）の識別を行うことができる。

### 3-2-2. データベース

本システムはMySQL上に構築した7つのテーブルを用い、全て第3正規化されている。

以下に各テーブルの概要とテーブルが持つフィールド内容を示す（同じフィールド名を持つフィールドは同じ内容を持つので説明は1回に止める）。なお、各テーブル構成図において灰色の背景で表示されているフィールドは各々のテーブルの主キーを意味する（主キーとはテーブル中のレコードを一意に決定するために必要なフィールドのことであり、同じテーブルに属する複数のレコードの主キーが重複することは許されない）。

#### (1) ユーザ情報テーブル（図4）

システムの全利用者（学習者・教師）個別の情報を保持するもので、ユーザ管理モジュールから利用される参照のみ可能なテーブルである。

##### a. ユーザID

ユーザを識別するための任意の文字列で、学籍番号等のユニークなものを用いる。

##### b. パスワード

ユーザIDと対で使用するためのパスワードで、任意の文字列である。

c. ユーザ氏名

ユーザの氏名を表す任意の文字列であり、表示用に用いる。

d. ユーザ種別

学習者と教師を識別するための数値である。教師と学習者で利用可能な機能を区別するために用いる。

ユーザID	パスワード	ユーザ氏名	ユーザ種別
-------	-------	-------	-------

図4 ユーザ情報テーブル構成

(2) 教科情報テーブル (図5)

教科名を保持するもので、問題作成、問題入力モジュールから利用される参照のみ可能なテーブルである。

a. 教科 ID

教科を識別するためのユニークな数値である。

b. 教科名

教科の名称を表す文字列であり、表示用に用いる。

教科ID	教科名
------	-----

図5 教科情報テーブル構成

(3) 単元情報テーブル (図6)

単元に関する情報を保持するもので、問題入力モジュールから作成・更新され問題作成モジュールにより参照されるテーブルである。

a. 単元 ID

単元を識別するためのユニークな数値である。

b. 単元名

単元の名称を表す文字列であり、表示用に用いる。

c. 選択肢数

単元中の問題が持つ選択肢の個数を示す数値である。

d. 作成者 ID

単元を作成した教師のユーザ ID であり、教師間で異なる内容を持つ同一名の単元を作成可能にするために利用している。

教科ID	単元ID	単元名	選択肢数	作成者ID
------	------	-----	------	-------

図6 単元情報テーブル構成

(4) 問題情報テーブル(図7)

問題に関する情報を保持するもので、問題入力モジュールにより作成・更新され、問題作成モジュールから参照されるテーブルである。

a. 問題 ID

問題を識別するためのユニークな数値である。

b. 問題文

問題の本文を示す可変長文字列である。

c. 図表ファイル

当該問題で図表を用いる場合に図表データのファイル名を示す文字列が格納される。

d. 正解

e. 選択肢の中の正解となる選択肢の番号を示す数値である。

e. 選択肢

選択肢を示す可変長文字列である。なお選択肢は最大10個まで格納でき、空の場合は“NULL”が格納される。

教科ID	単元ID	問題ID	問題文	図表ファイル	正解	選択肢1	選択肢2	...	選択肢10
------	------	------	-----	--------	----	------	------	-----	-------

図7 問題情報テーブル構成

(5) コメント情報テーブル (図8)

学力評価時に学習者に示すコメントを保持するもので、採点評価モジュールから利用される参照のみ可能なテーブルである。

a. 学習レベル

単元の問題演習の終了後、採点評価モジュールは第2章で示した知識量及び理解度を算出し、これらの値に応じた学習レベルに対応する特定のラベルを選択する。本システムではラベルを25種類(知識量5段階、理解度5段階を組み合わせたもの)用意しており、それらのラベルが格納される。

b. コメント

学習者に提示するコメントを示す可変長文字列である。

学習レベル	コメント
-------	------

図8 コメント情報テーブル構成

(6) 解答情報テーブル (図9)

問題演習時の学習者の各問に対する正否判定と確信度を一時的に保持するもので、採点評価モジュールにより更新・参照されるテーブルである。当該単元の問題に全て解答し、採点評価が終了するとレコードは削除される。

a. 正否判定

学習者が問題に正解(1)、不正解(0)したことを示す1ビットの数値である。

b. 確信度

学習者の解答に対する確信度を表す数値である。

ユーザID	教科ID	単元ID	問題ID	正否判定	確信度
-------	------	------	------	------	-----

図9 解答情報テーブル構成

(7) 評価情報テーブル (図10)

当該単元の問題に全て解答した後の採点評価結果を保持するもので、採点評価モジュールにより更新されるテーブルである。

a. 演習回数

当該単元の問題演習の回数を示す数値である。

b. 知識量、理解度、学習達成度

第2章で説明した知識量、理解度及び学習達成度を示す数値である。

ユーザID	教科ID	単元ID	演習回数	知識量	理解度	学習達成度
-------	------	------	------	-----	-----	-------

図10 評価情報テーブル構成

#### 4. 学力評価システムの動作とユーザインタフェースの概要

本章では第3章で示した各モジュールの基本的な動作と Web ブラウザによるインタフェースの画面例について説明する。最初に4-1で Web クライアントと Web サーバ間における動作を概観し、4-2以降で各モジュールの動作について説明する。

##### 4-1. システム利用の流れ (Web クライアント・Web サーバ間の動作)

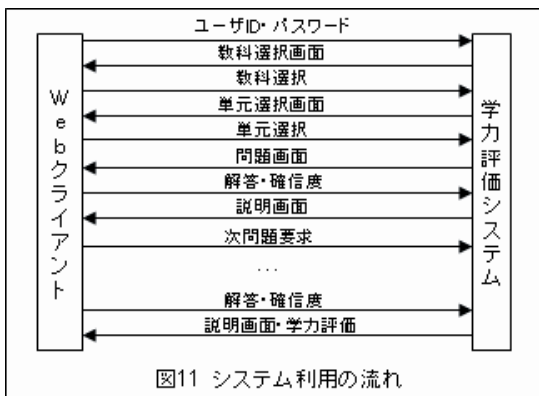


図11 システム利用の流れ

図11に本システムを用いた問題演習の流れを示す。

学習者はログイン後に問題演習を行う教科と単元を選択し、問題演習を開始する。問題演習は i) 問題画面の提示、ii) 解答及び確信度の入力、iii) 説明画面の提示を、単元中の全ての問題に解答し終わるまで繰り返すことにより行う。なお、iii)の説明画面の提示は表示しないようにすることもでき、例えば定期試験等の



ように解答中に正解を表示したくない時には説明画面は提示されない。

全ての問題に解答すると、学力評価結果が表示され、当該単元の問題演習が終了する。

#### 4-2. ユーザ管理モジュール

図12は本システムのトップページである。ここでシステムへアクセスしようとする図13のウィンドウが表示され、ユーザ名とパスワードを入力することによりログイン認証を行う。

認証に成功すると、ユーザ管理モジュールはログインしたユーザが学習者であるか教師であるかを図4のユーザ情報テーブルより判定し、セッションが継続している間ユーザ種別として保持している。後述する問題入力モジュールはユーザが教師の場合に限りアクセスを許可する。



図12 ログイン画面



図13 ユーザ名・パスワード入力ウィンドウ

#### 4-3. 問題作成モジュール

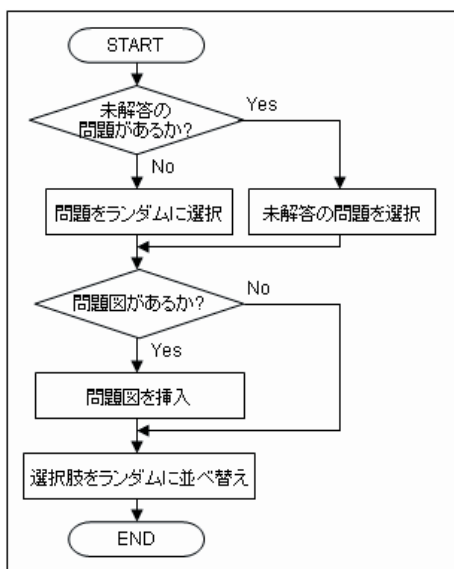


図14 問題作成モジュールの動作

ログインが完了し問題演習を行う教科及び単元を選択すると、問題作成モジュールが起動する。

図14に問題作成モジュールの動作アルゴリズムを示す。

モジュールは図7の問題情報テーブルと図9の解答情報テーブルを参照し、問題を出題したが解答を受信していない問題がないかどうかを確認する。これは、学習者がWebブラウザの更新(リロード)ボタンを押した場合や、解答前にWebブラウザを再起動した際に、別の問題が表示されるのを回避するために行う。出題後に解答を受信していない問題があればその問題を、なければまだ出題していない問題の中から次に出题する問題をランダムに選択する。

問題には任意に1つの問題図表を表す画像ファ

イルを貼り込むことができる。これが指定されている場合は図7の問題情報テーブルに示される画像ファイル名を取り込み、その後問題の選択肢をランダムに並べ替える。

問題や選択肢を個人別に並べ替えるのは、テスト時の不正行為を防止し、また同じ単元の問題を再演習する場合に同一出題順により解答がパターンの暗記されてしまうことを防ぐためである（システムの初期設定により問題や選択肢を固定順にすることも可能）。

問題生成モジュールは図14の方法により問題を作成し、問題画面となるHTML スクリプトを生成して Web クライアントに送信する。図15に出題された問題の例を示す。

**問題 11 (全 22 問)**

下図のシステムの稼働率は幾らになるか。但し下図において、装置Aの稼働率は0.9、装置Bの稼働率は0.6であり、装置A、装置Bは各々最低1台が稼働していればよいものとする。また、稼働率は小数第3位以下を四捨五入するものとする。

装置A	装置B
装置A	装置B

0.90  
 0.99  
 0.95  
 0.83

この解答が正解であることに確信はありますか？

← ○ ○ ○ ○ ○ →

(確信あり) 5 4 3 2 1 (確信なし)

図15 問題及び確信度入力画面

#### 4-4. 採点評価モジュール

採点評価モジュールは次の2つの内容を実行する。

- (1) 各問に対する正否情報（KR 情報）の表示
- (2) 単元の問題解答終了時の知識量、理解度、学習達成度の計算と学力評価結果の表示

図15の入力画面を用いて解答と確信度を送信すると、採点評価モジュールは図7の問題情報テーブルに格納された正解と学習者から送信された解答を比較し正否判定を行う。更に、正否

判定結果と学習者から送信された確信度を図9の解答情報テーブルに格納する。

その後図16に示すような正否情報（KR 情報）の HTML スクリプトを作成して Web クライアントに送信する。

単元の問題に全て解答すると、採点評価モジュールは図9の解答情報テーブルを参照して知識量、理解度等を計算し、図10の評価情報テーブルに記録する。更に、知識量、理解度に応じたコメントを図8のコメント情報テーブルから獲得し、図17に示すような学力評価の HTML スクリプトを作成して Web クライアントに送信する。

ちなみに、図17は10問中7問正解した時の一例である。従前の方法によると（配点が全て同じであれば）100点満点で70点と評価されるところであるが、本システムによる学力総合評価結果である学習達成度は50であり、素得点と評価結果が一致しないことを読み取ることができる。

**あなたの解答:**

0.95

**確信度 (1～5):**

4

**メッセージ:**

不正解です。

正解は『0.83』でした。

図16 解答の正否情報画面

問題演習が終わりました。

成績は以下の通りです。

知識量	7
理解度	4.4
学習達成度	50
コメント	知識が少し不足しているので、知識のあいまいなところをもう少し勉強し直しておきましょう。

図17 知識量、理解度、学習達成度、コメント表示画面

#### 4-5. 問題入力モジュール

■問題文

■問題図(省略可)

■選択肢

1:

2:

3:

4:

■正解番号(上記の選択肢についた番号)

図18 問題入力画面

ログインしたユーザが教師である場合は、問題入力モジュールを起動することができる。

問題入力モジュールは図18に示す HTML スクリプトを生成し教師の Web クライアントへ送信する。教師はこのインタフェースを利用して、問題文、選択肢、正解番号を指定し、問題に使用する図表がある場合は別途作成した図表ファイルを指定する。ここで入力された情報は図7の問題情報テーブルに格納され、その時点から学習者に新たな問題として提示される。

## 5. おわりに

筆者らは、本稿で説明した学力評価システムを講義或いは定期試験において試験運用している。

本稿執筆の時点ではシステム上のトラブルは1度も発生していない。また、ユーザインタフェースも簡便であり、一通りの利用方法の説明程度で利用できる程度のものになっている。

今後の予定は以下の通りである。

### (1) 学力評価モデルの正当性の検証

筆者らは第2章で述べたような学力評価モデルを提案したが、モデルの正当性については未検証である。そこで、本稿のシステムを用いて、モデルの正当性を検証する。

### (2) 問題データベースの拡充

学力評価モデルやシステム構成については、学習教科や単元に依存しない汎用的なものを目指している。当初は情報処理関連分野の問題のみを扱っているが、今後は情報処理に関連しない教科や単元の問題データベースも構築する予定である。特に秘書検定試験、漢字検定試験等の資格・認定試験に向けた問題演習システムとしての拡張を検討したい。

### (3) 穴埋め式問題、レポート問題システムに関する学力評価モデル及びシステムの構築と検証

本稿で説明したシステムは、筆者らが別途研究を進めている統合 e-Learning 環境 “Ring Service Learning Management System”<sup>[2]</sup>の一機能と位置づけている。問題演習の環境としては、多肢選択式問題の他に穴埋め式問題、レポート問題を対象としたシステムを構築中であるが、これらについても多肢選択式問題と同様に知識量や理解度を測定し、学力評価を一元的に扱うことを検討している。そのための学力評価モデルとシステムの構築及び検証を行っている。

## 謝 辞

本稿の作成に当たり、共同研究者であり日頃多大な御指導を賜っている経済情報学部の磯本征雄教授、伊藤敏教授に深謝致します。また、活発な議論をさせて頂いている大学院経済情報研究科2年次の Alieu Dumbuya 氏初め経済情報研究科大学院生・経済情報学部磯本ゼミ生の皆さんに感謝致します。

## 参考文献・URL

- [1] 磯本 征雄、Alieu Dumbuya、津森 伸一：“多岐選択問題を用いた学力評価システムの WBT による実践利用”、教育システム情報学会誌、Vol21、No.4、pp.379-383 (2004)
- [2] Alieu Dumbuya, Yukuo Isomoto and Shin'ichi Tsumori: “A standard E-learning solution supported by the Ring Service Learning Management System”, Review of

多肢選択式問題を用いた学力評価システムの試作

Economics and Information Studies, Vol.4, No.1-4 (2004)

[ 3 ] “The Apache Software Foundation” :<http://www.apache.org/>

[ 4 ] “PHP:Hypertext Preprocessor” :<http://www.php.net/>

[ 5 ] “MySQL:The World's Most Popular Open Source Database”:<http://www.mysql.com/>