

テクニカルノート

多肢選択式試験 Web 学習システムの開発と運用 —内発的動機づけを促す方式の提案

尾崎 亮^{1,a)} 上嶋 明¹ 小畑 正貴¹ 南原 英生¹

受付日 2017年2月14日, 採録日 2017年4月10日

概要: 本論文では, 多肢選択式の Web 学習システムにおいて, 内発的動機づけに基づいて学習できる仕組みを提案する. この仕組みは, 解説文中のキーワードに次の問題へのリンクを張り, それをクリックすればその関連問題を出題するというものである. また, これを実現するためのデータベースの構成について考察している. さらに, IT パスポート試験を対象とした評価実験を行い, 本システムの有効性を示している.

キーワード: Web システム, 多肢選択式試験, 内発的動機づけ

Development and Operation of The Web-based Learning System for the Multiple-choice Test —Proposal of Scheme to Encourage Intrinsic Motivation

RYO OZAKI^{1,a)} AKIRA UEJIMA¹ MASAKI KOHATA¹ HIDEO MINAMIHARA¹

Received: February 14, 2017, Accepted: April 10, 2017

Abstract: This paper describes a procedure that learner can learn on the basis of intrinsic motivation in web-based learning system for multiple-choice test. This procedure is intended to implement by setting up links to keywords in explanatory texts, and by setting question which is related with one of these keywords by clicking on it. This paper also gives database configuration for implementing it. An experiment using IT Passport Examination shows the statistical validity of this approach.

Keywords: web-based system, multiple-choice test, intrinsic motivation

1. まえがき

多肢選択式の設問を反復して解かせる Web 学習システム (以下, 選択式 Web 学習システム) は, 主に資格試験対策としての活用が進むとともに, 学習効果の向上を見込んだ多くの研究がなされている [1], [2], [3]. 他方, 一般に, 学習者の「知りたい」「向上したい」といった内発的な動機によって積極的に行動を起こさせ, それを達成させることにより高い学習効果が得られるということが知られている [4]. 選択式 Web 学習システムにおいても, 本来外発的動機づけからはじめた資格試験対策のための学習に, 内発

的動機づけを付加することによって, 同様の高い学習効果が得られると考えられる. たとえば, 「まず, 設問に解答した後に解説を行い, その解説文中のキーワードにリンクを張る. 次に, 解答者にそれらの中から 1 つを選択させる. 最後に, 選択したキーワードに関連する設問を出題する」という手法 (以下, 本手法という) について考える. これは, 選択式 Web 学習システムにおいて, 学習者が学習対象を最も積極的に眺めようとするのは, 設問に解答した後の解説文を読んでいるときではないかという着想に基づく. つまり, 解説文中にあるキーワードを提示して, 学習者にその中の 1 つを選択させることにより, それに関連する問題を出題する. そのようにすることで, 学習者は, 提示されたキーワードを比較検討して, 「どれをより深く知りたいか」ということを自らに問い, それにより内発的動機づ

¹ 岡山理科大学工学部
Faculty of Engineering, Okayama University of Science,
Okayama 700-0005, Japan

a) ozaki@ice.ous.ac.jp

けを自然に行ったうえで学習したい項目を自ら選択することになり、より高い学習効果が期待できると考えられる。

コンピュータ支援教育 (Computer-Aided Instruction: CAI) により、学習者の理解度に応じた学習内容を提供するという試みは、日本においては 1980 年代から多くの事例がみられ、内発的動機づけを指向するという点で、本手法と類似性のある提案や、教材のパッケージ販売もいくつかなされている [5]。このようなシステムで本手法を実現しようとする場合、解説文中のキーワードと関連問題のリンクの構造が変化しないという前提であれば、容易に実現が可能である。しかし、メンテナンスやバージョンアップを繰り返すことにより、長期間の運用を可能とする Web 学習システムの特徴から、リンク構造の変化、つまり、設問の追加や削除に対して動的に対応できることが望まれる。本論文では、このような方針のもとで、解説文の表示時と、設問の追加や削除時に行う 2 つの処理手順と、この処理手順を前提として利用するデータベースの構成を新規に考案し、上述の仕組みを持つ Web 学習システムを実現した [6]。さらに、本システムを用いて IT パスポート試験学習システムを構築し、本学学生を対象として 1 カ月の運用試験を行った。その結果、従来のものと比較して、平均正解率と平均解答数の有意な上昇がみられた。

2. 選択式試験 Web 学習システム

出題画面の例を図 1 に示す。この画面でユーザが解答すると、正誤判定を行った後、解説画面で解説文中のキーワードにリンクを張る (以下、ハイライト表示)。この例を図 2 に示す。そして、それらのキーワードから 1 つを選択すると、それに関連する設問を出題するという手順を繰り返す。関連する設問とは、それを設問文、選択肢、解説文のいずれか (以下、候補文書) に含む設問のことをいう。

データベースの実装においては、設問管理のための設問テーブルに加え、ハイライト表示のために、用語テーブル、

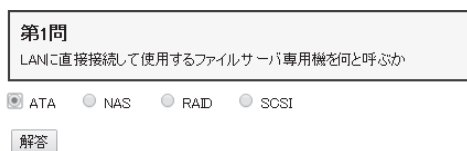


図 1 出題画面

Fig. 1 Example of question.

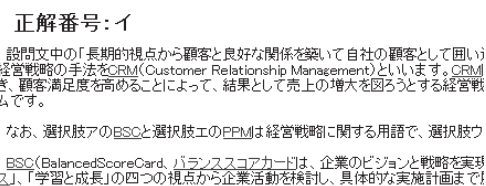


図 2 解説画面

Fig. 2 Example of explanation.

連結テーブルを必要とする。

本手法で用いる設問テーブルの項目の例を表 1 (a) に示す。PK は主キーを表す。処理の性質上、「設問文」、「解説文」が必須となり、その他は学習の内容により異なる。

表 1 (b) の用語テーブルでは、学習分野の専門用語をまとめたシソーラスを作成する。本手法での最低限の実装では電子辞書としての利用になり、「用語 ID」、「用語」、「品詞拡張」があればよい。「用語」には名詞を格納する。ここで、名詞とは、1 つの名詞または 1 つの名詞に 1 つ以上の単語が結び付いて新たな名詞となったものを指し、後者は「男/の子」や「割り/箸」などがこれにあたる。本手法では、後述するように、候補文書に形態素解析を施すが、これらの例での解析結果は「男の子」「割り箸」というようにまとまった名詞として解析される。他方、専門用語の中には、「ド・モルガン/の/法則」のように、形態素解析の結果まとまった名詞として認識されない場合もある。このような場合、名詞部分を「用語」に、助詞などの残りの部分を「品詞拡張」に格納する。この際、「品詞拡張」が「用語」に先行する場合には先頭に「-」を、後行する場合には「+」を付与する。格納パターンには冗長性があるがこれを許容する。たとえば、「ド・モルガン/の/法則」では、「用語」に“ド・モルガン”を、「品詞拡張」に“+の法則”を格納するか、または、「用語」に“法則”，「品詞拡張」に“-ド・モルガンの”を格納する。用語が名詞のみで構成される場合「品詞拡張」は空とする。

表 1 (c) に示す連結テーブルには、1 章で述べた中間生成物を格納する。表中の用語 ID は用語テーブル、設問 ID は設問テーブルと、それぞれ関係する。このテーブルは、設問の追加などで設問テーブルが変化すると自動生成され、解説文を表示する際に利用される。以下、生成手順を

表 1 テーブル定義

Table 1 Table definitions.

(a) Question		(b) Terminology	
名称	データ型	名称	データ型
設問 ID (PK)	int	用語 ID (PK)	int
設問文	text	用語	varchar
選択肢 1	varchar	最上位語 ID	int
選択肢 2	varchar	上位語 ID	int
選択肢 3	varchar	下位語 ID	int
選択肢 4	varchar	同義語 ID	int
正解番号	int	関連語 ID	int
解説文	text	品詞拡張	varchar
図	blob		

(c) Highlighting

名称	データ型
連結 ID (PK)	int
用語 ID	varchar
設問 ID	int

3.1 節で、利用手順を 3.2 節で、それぞれ説明する。

3. ハイライト表示機能の実装

3.1 連結テーブルの実データ生成

追加する設問の設問 ID を Q_1 とする。

- (1) (形態素解析) 設問内の候補文書に対して形態素解析を施し、各素の品詞情報を得る。
- (2) (初期候補の生成) 形態素解析の結果を先頭から終端まで探索する。名詞が見つかった場合、その後に連続する名詞を 1 つにまとめ、用語候補としてキューに登録する。1 つだけ独立している名詞であっても、要素数 1 の用語候補として登録する。
- (3) (候補の検索) キューから用語候補を 1 つ取り出し、用語テーブルと照合する。用語候補が、あるエントリ用語と完全一致した場合、そのエントリ用語 ID を記録 (t とする) し、(4) に進む。エントリが存在しない場合には、(5) に進む。キューが空の場合、処理を終える。
- (4) (拡張) 「品詞拡張」が空の場合 (5) に進む。先頭文字が “+” であれば「品詞拡張」の 2 文字目以降の文字列と、候補文書における用語候補以降の文字列を照合する。“-” であれば逆に前方一致で照合する。いずれの場合も、完全一致すれば (5) に進み、一致しなければ (6) に進む。
- (5) (実データ生成) 連結テーブルの新規データの主キーを生成する (h とする)。表 1(c) の (連結 ID, 用語 ID, 設問 ID) = (h, t, Q_1) としてエントリを追加し、(3) に戻る。
- (6) (候補の分割) 用語候補の要素数が 1 の場合、候補を棄却する。要素数が 2 以上の場合、要素数を r とし、複合名詞候補の先頭から数えて $r - 1$ 個の名詞群と、末尾から数えて $r - 1$ 個の名詞群を作り、ともにキューに登録する。(3) に戻る。

3.2 ハイライト表示の手順

表示対象となる解説文の設問 ID を Q_2 とする。

- (1) (初期化) インデックス番号 $p = 0$ とする。
- (2) (用語抽出) 3.1 節の手順を実行する。ただし、(1) において、「設問内の候補文書」を「解説文」とし、(5) を「 $t_p = t$ とし、 p をインクリメントする。(3) に戻る」とする。手順を終えた後、(3) に進む。
- (3) (情報検索) 連結テーブルから、用語 ID が各 t_j ($j = 0, 1, \dots, p$) となるエントリを検索する。各 t_j に合致するエントリ数が 1 の場合、その t_j を破棄する。2 以上の場合には、設問 ID が Q_2 以外のエントリを保持する。これらの設問 ID 群を q_{jm} (m は自然数) とする。
- (4) (選択) 各 t_j に対する q_{jm} から 1 つずつ選ぶ。

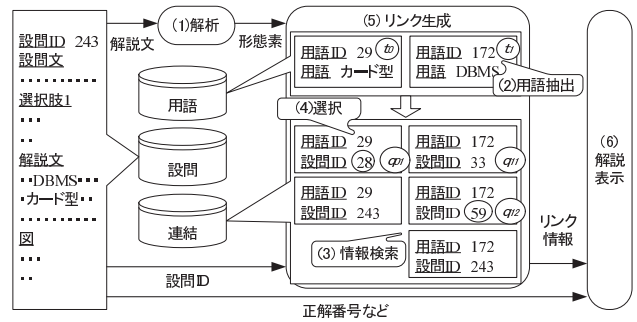


図 3 ハイライト表示の流れ

Fig. 3 Overview of highlighting words in an explanatory text.

- (5) (リンク生成) 選択した q_{jm} を設問 ID として出題するための HTML リンクを生成し、形態素における元の用語の直後にリンクとして埋め込む。
 - (6) (解説表示) 結果を表示する。
- 設問 ID を 243 とする設問に対して、解説文にリンクを埋め込む例を図 3 に示す。(1)~(6) は上述した手順のものに対応する。解説文には“DBMS”，“カード型”という 2 つの用語が存在するとしている。

4. 評価システムの実装と評価

4.1 評価システムの実装と運用

本システムを岡山理科大学工学部情報工学科（以下、本学科）のコンピュータ室に組み込み、IT パスポート試験学習システム（以下、提案システム）として構築した。サーバ側のソフトウェアとして、Apache 2.0.64, Tomcat 7.0, Struts 1.3.10, Postgresql 9.0.11, sen 1.2.2.1 を用いた。設問テーブルには 1,000 問を、用語テーブルには 2,000 エントリをそれぞれ表 1 の形式で登録した。

本学科に在籍する学生（約 400 名）のうち、学年ごとに半数の学生（以下、JA）に提案システムを、残りの学生（以下、JB）に従来型のランダム出題を行うシステム（以下、従来システム）を割り当てた。提案システムでは、初回のみランダム出題が行われるが、その後はハイライト表示を選択することによる出題しか行えないようにした。設問管理テーブルについては共有とした。全学生に対して両システムの違いと実験内容を知らせて 1 カ月間自由に利用してもらったうえで、全期間にわたりシステムを利用し、かつ 400 問以上解答している JA 15 名、JB 12 名を評価対象とした。

4.2 学習効果の評価

両システムに学習効果の差があるかどうかを検証するために、学習初期の正解率と終期の正解率について調べた。実施にあたっては、後述するように、学習 1 回あたりの平均解答数に明確な差がみられたため、初期、終期の範囲として時間的な範囲（たとえば、週ごと）で区切ったのでは提案システムが有利になると考えられたので、解答数による

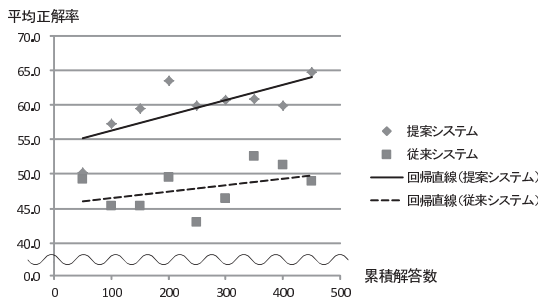


図 4 50 問ごとの平均正解率

Fig. 4 Average of accuracy rate every fifty questions.

表 2 提案システムの成績

Table 2 Results of using the proposed system.

(a) JA			(b) JB		
初期 正解率	終期 正解率	平均連続 解答数	初期 正解率	終期 正解率	平均連続 解答数
89.0	94.0	42.3	73.0	56.0	29.4
88.0	82.3	42.0	70.0	59.0	21.8
80.0	89.0	30.0	66.0	83.0	37.1
60.0	55.0	51.7	63.0	51.3	33.8
57.0	84.8	30.9	70.0	61.8	23.8
64.0	62.0	45.1	51.0	56.7	25.3
52.0	69.0	22.9	53.0	49.0	42.3
51.0	68.0	63.4	52.0	46.0	30.0
43.0	55.0	69.2	35.0	25.0	29.1
48.0	87.3	38.6	28.0	27.3	29.4
53.0	61.2	44.1	21.0	16.0	26.1
46.0	52.0	37.4	17.0	16.7	29.9
24.0	43.0	37.8			
33.0	49.0	44.6			
19.0	24.0	47.8			

範囲で区切ることとした。まず、50 問ごとの平均正解率を比較して定性的な評価を行い、次に、100 問目までの平均正解率（初期正解率）ならびに 400 問目以降の平均正解率（終期正解率）をそれぞれ比較して定量的な評価を行った。

まず、50 問ごとの平均正解率を比較した結果を図 4 に示す。横軸を累積解答数、縦軸を平均正解率とする。菱形および四角がそれぞれ提案および従来システムにおける 50 問ごとの正解率の推移を表している。また、各々の回帰直線を、提案システムは実線で、既存システムは破線で示している。この結果から、提案システムの平均正解率が従来システムのそれをつねに上回っているだけでなく、学習効果の高さを表す平均正解上昇率（回帰直線の傾き）についても、提案システムの方がよい値を示していることが分かった。

次に、初期正解率の比較を行った。提案システムおよび従来システム利用者の初期正解率を、それぞれ、表 2(a) および (b) の 1 列目に示す。この平均値の差が統計的に有意かを検証するために、有意水準 5% で、等分散を仮定した両側検定の t 検定を行ったところ、 $t(25) = 0.4914$, $p = 0.63$

表 3 聞き取り調査の結果（抜粋）

Table 3 Result of interviews.

Q1. 従来システムと比較してよいと感じる点	<ul style="list-style-type: none"> ・解説で理解が不十分なところを補強できる ・特定の分野を集中して学べる ・完全に理解している語句を排除できる
Q2. 従来システムと比較して悪いと感じる点	<ul style="list-style-type: none"> ・分野の選択ができない ・ランダム選択も併用できるとよい
Q3. 雑感	<ul style="list-style-type: none"> ・学びたい語句と関係ない問題がごく稀に現れる ・学びたい語句が現れてやめどきが伸びたりする

であり、有意の差は認められなかった。すなわち、初期の段階では両クラスの学力に有意の差はないと考えられる。

次に、終期正解率（表 2(a), (b) の 2 列目）の差を、有意水準 5%、等分散を仮定した片側検定の t 検定を行ったところ、 $t(25) = 2.50$, $p = 0.0097$ となり、両者に有意の差が認められた。すなわち、提案システムの利用者の学習効果が従来システムに比べて、より顕著であると考えられることができる。

さらに、各システムを利用して学習を行った場合の連続解答数の平均を比較した（表 2(a), (b) の 3 列目）。従来システムでの平均値は 28.5 問であったが提案システムでは 43.2 問であり、従来システムに比して約 1.5 倍の平均解答数になっていることが確認でき、内発的動機づけを組み込むという提案システムの提案意図が、学習意欲向上につながっていると考えることができる。また、不等分散を仮定した t 検定により、 $t(25) = 3.81$, $p = 0.00051$ となり、統計的に有意の差であることも確認できる。

最後に、JA から 5 名を任意に選び聞き取り調査を行った。その結果（質問内容と意識（抜粋））を表 3 に示す。Q1. の回答はいずれも、学生が自分の学力に応じて自然に語句を選んでいることが見てとれる。Q2. について、提案システムでは評価のためにランダム出題機能をあえて排しているが、これを併用できるようにし、たとえば、「ランダムに 1 問を問いてその解説を読んでから、その日に学びたい分野を決める」という選択肢のあるシステムとすることもできる。Q3. 前者の回答は、指定語句が不正解選択肢に現れる設問を対象としたために生じたと推察される。後者は提案システムを利用して学習を行った場合、平均解答数が従来システムより大きくなるとの評価結果を裏付けている。

5. むすび

本論文では、従来の選択式 Web 学習システムに、学習者の内発的動機づけを促す仕組みとして、解説文中のキーワードに次の問題へのリンクを張り、それをクリックすればその関連問題を出題するという新たな方式を実装した。

これは、この方式を導入しようとする際に生じる処理量の増大を、データベース構成とその利用手順を考案して分散させることにより実現した。また、本システムを IT パスポート試験学習システムとして実装し、大学生を対象に評価実験を行った結果、従来システムに比して平均正解率と平均解答数に有意な差を認めることができた。今後の課題として、長期的な視点に立った本手法の効果の検証があげられる。

参考文献

- [1] 舟生日出男, 穂山雅史, 平嶋 宗: 問題解決プロセスを利用した選択問題の誤選択肢及び解説の自動生成, 信学論 (D), Vol.J93-D, No.3, pp.292-302 (2010).
- [2] Huang, S.X.: A Content-Balanced Adaptive Testing Algorithm for Computer-Based Training Systems, *Proc. 3rd International Conference Intelligent Tutoring Systems*, pp.306-314 (1996).
- [3] 津森伸一, 海尻賢二: 理解状況に適応した多肢選択式問題の自動生成に関する構想, 教育システム情報学会研究報告, Vol.21, No.4, pp.3-8 (2006).
- [4] Ryan, R.M. and Deci, E.L.: Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being, *American Psychologist*, Vol.55, No.1, pp.68-78 (2000).
- [5] まつもとゆきひろ監修: ネットを支えるオープンソース: ソフトウェアの進化, KADOKAWA (2014).
- [6] 砂田翔平, 尾崎 亮, 上嶋 明, 小畑正貴: 能動的学習効果を期待した多肢選択式試験 WBT システムの実装と評価, 日本教育工学会研究報告集, JSET13-1, pp.177-182 (2012).



小畑 正貴 (正会員)

1985年神戸大学大学院博士後期課程修了。学術博士。1984年岡山理科大学助手。1996年同大学教授。2001年倉敷芸術科学大学教授。2004年岡山理科大学教授。現在に至る。計算機アーキテクチャ、並列処理、相互結合網、リコンフィギャラブルシステムに関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



南原 英生

1970年立命館大学理工学部電気工学科卒業。1972年同大学大学院修士課程修了。同年広島電機大学工学部助手, 同講師, 同助教授, 同教授を経て, 1993年岡山理科大学工学部教授。岡山理科大学名誉教授, 工学博士。主として, 音響信号処理, 環境評価 (騒音・振動) の研究に従事。



尾崎 亮 (正会員)

2000年岡山大学大学院修士課程修了。2002年岡山理科大学助手。2008年岡山大学大学院博士課程修了。博士 (工学)。2009年岡山理科大学講師, 現在に至る。画像工学に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



上嶋 明 (正会員)

1991年立命館大学理工学部情報工学科卒業。1993年同大学大学院博士前期課程修了。博士 (工学)。1998年立命館大学助手。同年10月神戸大学助手。2003年岡山理科大学講師。2010年同大学准教授, 現在に至る。並列処理, 計算機アーキテクチャの研究に従事。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。