

XMLドキュメントからの練習問題自動生成システム： AEGIS

菅沼, 明
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

峯, 恒憲
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

正代, 隆義
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

<https://hdl.handle.net/2324/5585>

出版情報：マルチメディア時代の新しい教育研究会, pp.24-31, 2001-02-01
バージョン：
権利関係：

XMLドキュメントからの 練習問題自動生成システム:AEGIS

菅沼 明 峯 恒憲 正代 隆義

九州大学 大学院システム情報科学研究科

e-mail: {suga,mine}@is.kyushu-u.ac.jp, shoudai@i.kyushu-u.ac.jp

教育機関へのコンピュータや LAN の導入により, Web のデータを教材として使用する講義も行われている. しかし, 教材を電子化するだけでなく, コンピュータ世界の変化に対応した教育方法, 教育支援方法が必要とされている. 教材に沿った練習問題があり, ブラウザ上で解答できる環境が整っていれば, 学生は容易に練習問題にチャレンジすることができる. これにより, 学生の理解を深めることが可能になる. 本論文では, XML 文書から練習問題を生成するシステム AEGIS(Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) について述べる. まず, 学生の理解力に応じた練習問題を自動生成するための XML タグの設計を行った. これにより, 1 つの XML 文書から選択形式, 穴埋め形式, 誤り訂正形式の出題を可能としている. AEGIS は, 学生の理解度と問題の難易度を随時変更し, より適した練習問題の出題を行う仕組みを有している.

AEGIS: Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student with XML Documents

Akira SUGANUMA, Tsunenori MINE, and Takayoshi SHOUDAI
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering
Kyushu University

e-mail: {suga,mine}@is.kyushu-u.ac.jp, shoudai@i.kyushu-u.ac.jp

Popularization of computers and the Internet enable us to hold lectures using Web contents as a teaching material and even develop new lecture methods. If we arrange some exercises which follow a lecture note and prepare an answering mechanism for the exercises through the Internet, every student can try the exercises any time. In this paper, we propose AEGIS (Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) system which generates exercises of various levels according to each student's achievement level, marks his/her answers and returns them to him/her. In order to realize this feedback mechanism, we currently restrict the question-types which are generated to the following three types: multiple-choice question, fill-the-gap question, and error-correcting question. All question-types can be generated from the same XML document.

1. はじめに

インターネットの普及とそれに接続するコンピュータの低価格化によって、大学などの教育機関でもコンピュータの導入や LAN の構築が行われている。大学において、学生が一人一台のコンピュータを使用できる環境で受ける講義を開講することも可能になってきている。また、個人所有のコンピュータを大学のネットワークコンセントなどに接続し、公開されている講義資料を講義時間以外に参照する学生も増えてきている。

我々は、Web を使用した講義支援に関する研究を行っている^{[1][2]}。コンピュータリテラシー教育においてプログラムの実行を理解するためのツール^[3]に関する研究も行ってきた。これらは、九州大学の学部 1 年生を対象にして開講されるコンピュータリテラシーの科目で使用され、講義の効率を高めている。

教育を取り巻く計算機環境・LAN 環境の変化に対応した教育方法のひとつとして、教材を Web のデータとして用意する方法が多用されている。用意した教材を教師のブラウザで表示し、教師のディスプレイをスクリーンに投影して講義を行う。また、教師が参照している Web ページを学生のディスプレイ上のブラウザに同期表示するようなツール^[4]を使用して講義を行う。講義以外の時間に、学生の予習・復習のために Web のデータを使用する。このような形で講義を進めることが普通に可能になってきている。そのため、Web のデータとして用意された教材も増えている。

これらの教材に沿った練習問題があり、それを Web ブラウザ上に表示し、解答できる環境が整っていれば、学生は容易に練習問題にチャレンジすることができ、講義内容についての理解を深めることが可能になる。また、学生の自習にも使用できる。練習問題を作成するときには、解答する学生の理解度によって問題の難易度を変えられると、学習効果はさらに高まる。しかし、難易度毎に個別に練習問題を作成するのは教師

に対する負荷が大きくなる。そのため、教材として用意している HTML データを利用して、練習問題を生成するシステム AEGIS(Automatic Exercise Generator based on the Intelligence of Student) を設計し試作した^[5]。このシステムは、過去に学生が答えた履歴から学生の理解度を推定し、練習問題の難易度を変更して出題するものである。

練習問題を出題できても、学生への採点後の提示がなければ、学生も継続してチャレンジしなくなる。そのため、教師は学生の解答を採点して学生へ情報のフィードバックを行わなければならない。この作業は学生の数に比例して大きな負荷となる。そのため、練習問題を提示するシステムには、自動的に採点する機能が欲しくなる。AEGIS では、練習問題の出題形式を制限することで、自動採点を可能にしている。

2. 練習問題の出題形式

講義などで習った分野に関して問題を作成する場合には、論述式の問題からマークシート方式の問題まで様々な出題形式が考えられる。しかし、コンピュータによる自動採点を可能にしようとする、出題形式は限られてくる。例えば、論述式の問題であれば、学生が書いた文章を読んで内容を理解しなければ採点できない。文章の内容理解に関しては、自然言語処理の研究でも正確に行えていない分野である。そのため、このような問題を出題形式に選ぶのは妥当ではない。そのため、本研究では、下に示す 3 つの出題形式を対象として問題の自動作成を考えている。

- 選択問題： 文章中に空白が挿入されていて、その部分に最も当てはまるものを選択肢から選ぶ問題。
- 穴埋め問題： 文章中に空白が挿入されていて、その部分に最も当てはまるものを記述する問題。

選択問題	空白に当てはまる適当なものの下から選べ。 Data structures need to be studied <input type="text"/> order to understand the algorithms. (1) an (2) in (3) on (4) at (5) by
穴埋め問題	下の空白を埋めよ。 Data structures need to be studied <input type="text"/> order to understand the algorithms.
誤り訂正問題	誤りの箇所を指摘して、正しく訂正せよ。 Data structures need to be studied an order to understand the algorithms.

図 1: 3 つの出題形式

- 誤り訂正問題： 文章中のどこかに誤った表現が挿入 (もしくは置換) されていて、誤りを捜し出すとともに正しく修正する問題。

これら 3 種類の出題形式の問題は、正解の文章の一部を空白に置き換える、もしくは誤った表現に置き換えることによって作成できる。説明の都合上、以下では、空白に置き換える箇所もしくは誤った表現に置き換える箇所のことを『出題箇所』と呼ぶことにする。同じ出題箇所でも出題形式を変えた例を図 1 に示す。これらの例では、文中に現れる慣用句「in order to」の「in」の部分が出題箇所である。

問題文中の出題箇所を同じにしても上に示した 3 種類の出題形式で難易度が変化する。これは、問題用紙に載っている情報を考えることではっきりする。選択問題は、選択肢に必ず正解が含まれている。そのため、比較的容易な問題となる。次に、穴埋め問題は、空白に挿入すべき正解を学生自身が考え出して埋めなければならない。これは、正解の情報が問題用紙上に無いことを意味する。この点で、穴埋め問題は選択問題より難易度の高い問題と判断できる。誤り訂正問題は、問題文中にある誤りの箇所を探さなければならない。さらに、誤りと判断した箇所に対して正解の記述を学生が考えて訂正を行う。つまり、正解の情報が全くないばかりか、出題箇所自身も隠されている。そのため、誤り訂正問題が最も難易度が高いといえる。このことから、出題箇所を同じにした問題でも出題形式が異なれば、問題を解く学生にとって難易度

が異なる問題となる。

3. 問題の自動生成

3.1 出題に必要な情報

一般に教師が教材から練習問題を作成する手順は、以下のようになるであろう。

- (1) 出題箇所の決定： まず、何を練習問題として学生に出題するのかを定める。選択問題や穴埋め問題では、空白にする部分がこれにあたる。
- (2) 出題文の決定： 出題箇所が決まっても、出題箇所を含む前後の文脈がなければ問題にならない。そのため、出題文は練習問題を作成する上で重要である。
- (3) 選択肢の決定： 選択問題では、選択肢を作るために、出題箇所の表現に代わる表現を複数用意しなければならない。選択肢を選定する場合には、出題箇所に入れても不自然でない表現を揃える。選択肢にどのような表現を揃えるかは出題意図に大きく左右される。

上記 3 つの項目は、全て出題意図に関係している。このような情報を教材から自動的に抽出するのは困難である。そのため、AEGIS を設計する際には、出題者が教材にこれらの情報を書き込むことにした。次の節で述べるタグを使用して出題者が問題作成のための情報を埋め込み、埋め込まれた情報を元に AEGIS が学生の理解

```
<QUESTION>
Data structures need to be studied
<DEL CAND="an,on,at,by"> in </DEL>
order to understand the algorithms.
</QUESTION>
```

図 2: 問題を生成するためのタグ付きデータ

度に合わせた出題を行う。このような作業負担を考えて設計し実装した。

3.2 問題自動生成のための XML タグ

練習問題を自動的に作成する場合、上で述べた 3 つの情報を教材に埋め込む必要がある。AEGIS ではタグを定義し、それをういて教材から練習問題を自動生成する。これらのタグは XML の枠内で設計した。

- 出題文を示すタグ： 教材のどの部分を出題文とするかを示すために、QUESTION タグを使用する。このタグで囲まれた内容が練習問題の出題文になる。出題文には最低 1 つの出題箇所が含まれるので、このタグで囲まれた領域には、下に示す「出題箇所を示すタグ」が少なくとも 1 つは含まれる。
- 出題箇所を示すタグ： 出題箇所を指定するために、DEL タグを使用する。このタグで教材中の出題箇所を囲むことで、囲まれたテキストが出題箇所となる。囲まれた部分を空白にすれば、穴埋め問題は容易に作成できる。
- 選択肢を示す属性： 選択問題を作成する場合には、選択肢を用意しなければならない。選択肢は出題箇所に依存するので、出題箇所を示すタグの属性として記述できるようにするのが自然である。AEGIS では、DEL タグに属性 CAND を用意してそれに対処した。出題者が正解でない表現を属性 CAND の値として記述する。

ここまでで定義した 2 つのタグを使用すると、図 1 の問題を得るためのタグ付きデータは図 2 のようになる。DEL タグの内容「in」を空白に置き換えると、図 1 の空白問題になり、DEL タグの CAND 属性の値を使って選択肢を作れば、図 1 の選択問題になる。CAND 属性の値の 1 つを DEL タグの内容と置き換えると、図 1 の誤り訂正問題になる。

3.3 理解力に応じた生成のための XML タグ

問題を出題するだけであれば、上記の 2 つのタグで自動生成可能である。しかし、学生の理解度に応じた練習問題を出題するには、問題の難易度に関する情報が必要となる。AEGIS のタグでは、DEL タグの属性として LEVEL、GROUP、REF の 3 つを用意して、出題箇所の難易度を表すようにした。また、出題箇所と関係する表現に印を付けるためのタグ LABEL を追加した。

LEVEL 属性には出題箇所自体の難易度を指定する。この属性は、1~10 の数値の対になっており、出題する学生の理解度の範囲を表す。学生の理解度と LEVEL 属性の値を比較して、その DEL タグの箇所を出題するか否かを判断する。

GROUP 属性には出題箇所間の関連を指定する。出題箇所には、他の出題箇所が空白になることによって正解に到達しにくくなるものがある。これを出題箇所の依存関係と考える。複数の出題箇所に同じ GROUP 名を付けることで、依存関係があるとことを明示する。難易度を高くする場合には、同じ GROUP 名が付いている出題箇所をすべて出題する。また、難易度を低くする場合には、一部だけを出題し、出題しなかった箇所を一種のヒントとして示すこともできる。

REF 属性には出題箇所以外の表現との関係を指定する。GROUP 属性は出題箇所同士の依存関係を明示するために導入したが、出題箇所によっては、出題箇所以外の表現と依存するものもあるであろう。この属性は、次に述べる LABEL タグと対をなして、教材中のどの部分と依存関係があるかを明示するために使用する。

ある記述がある出題箇所の正解を得るための

```

<!DOCTYPE mondai [
<!ELEMENT question (#PCDATA|del+|label)>
<!ELEMENT del (#PCDATA)>
<!ELEMENT label (#PCDATA)>
<!ATTLIST del    cand    CDATA #IMPLIED
                level  NMTOKENS #REQUIRED
                group  NMTOKENS #IMPLIED
                ref    ID #IMPLIED>
<!ATTLIST label name  IDREFS #REQUIRED>
]>

```

(DTD 形式)

```

<QUESTION> 出題文 </QUESTION>
<DEL CAND="CANDIDATE"
    LEVEL="PAIR"
    GROUP="ID"
    REF="ID"      > 正解 </DEL>
CANDIDATE ::= W_S | W_S,CANDIDATE
W_S       ::= 語,または記号
           記号がカンマ(,)か2重引用符("),
           バックスラッシュ(\)を含む場合は,
           文字の前にバックスラッシュをつける.
PAIR      ::= LOW,HIGH
LOW       ::= 1~10までの数値
HIGH     ::= 1~10までの数値
ID        ::= 名前
<LABEL NAME="ID"> 参照内容 </LABEL>
ID        ::= 名前

```

(BNF 形式)

図 3: 出題用のタグの定義

ヒントとなる場合もある。そのような箇所をタグで示しておく、誤った解答をした場合にヒントとして学生に示すことも可能である。このような処理をするために、AEGIS では LABEL タグを用意している。LABEL タグには NAME 属性があり、どの出題箇所と関係があるのかを指定する。

本研究で定義した3つのタグの定義を図3に示す。この図では DTD 形式と BNF 形式で記述している。

4. 学生の理解度と問題の難易度

4.1 学生の理解度の計算

AEGIS では、学生の理解度を使用して、難易度の異なる問題を出題する。そのため、学生の

理解度をどのように計算するかが問題となる。学生が初めて AEGIS を使用する場合、学生の理解度は便宜的に1が与えられる。その後、練習問題に解答する毎に学生の理解度は下に示した式で動的に計算される。

$$s_{i,t} = \begin{cases} 1 & [m_{i,t} = 0 \text{ の場合}] \\ \frac{1}{m_{i,t}} \sum_{j=1}^{m_{i,t}} q_{j,t} \cdot \delta_{i,j} & [\text{それ以外}] \end{cases}$$

ここで、 $s_{i,t}$ は時刻 t における学生 i の理解度を、 $q_{j,t}$ は時刻 t における問題 j の難易度を、 $m_{i,t}$ は AEGIS を使い始めてから時刻 t までに学生 i が解答した練習問題の数を表す。また、 $\delta_{i,j}$ は、学生 i が出題箇所 j に正解すると1となり、不正解であれば0となる定数である。

この式では、学生がこれまでに正解した問題の難易度の合計を、解答した出題箇所の数で割ったものを学生の理解度としている。出題されたほとんどの問題に正解した学生は、計算される理解度が大きくなり、それに伴い出題される問題の難易度も高くなる。この難易度の高い問題に正解すれば、さらに理解度は高くなる。逆に不正解が多い学生の場合には、式の分子の値が大きくならないため、理解度は低い値となる。そのため、比較的易しい問題が多く出題されることになる。この易しい問題に正解していくと、計算される理解度は高くなっていき、次第に難易度の高い問題に挑戦できることになる。

4.2 問題の難易度の変更

前節のように問題の難易度を基にして学生の理解度を計算しているので、問題の難易度は十分注意して与えなければならない。AEGIS では、教師が問題の難易度を DEL タグの LEVEL 属性で上限と下限を与える。しかし、教師が見積もっていた問題の難易度と、学生が実際に解く時の難易度とは差があると思われる。そのため、AEGIS では、LEVEL 属性に指定された値は問題の難易度の初期値として利用し、その後は

Calculate a New Difficulty of Q_j

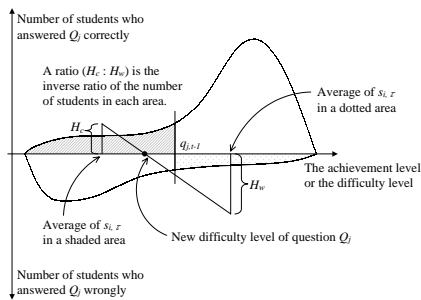


図 4: 問題の難易度の動的な変更

下の式に従って問題の難易度を動的に変更する。

$$q_{j,t} = \begin{cases} q_{j,t-1} + \frac{\sum_{i \in S} (s_{i,t} - q_{j,t-1}) \cdot \xi_{i,j}}{\sum_{i \in S} |\xi_{i,j}|} & \left[\sum_{i \in S} |\xi_{i,j}| \neq 0 \text{ の場合} \right] \\ q_{j,t-1} & \left[\text{それ以外} \right] \end{cases}$$

ここで、 S は時間間隔 $(t-1)$ から t の間に問題 j を解いた学生の集合を表し、 $s_{i,t}$ ($t-1 \leq \tau < t$) はこの問題を解答した時の学生 i の理解度を表す。また、 $\xi_{i,j}$ は、出題時の問題 j の難易度より低い理解度の学生 i が問題 j に正解した場合と、問題 j の難易度より高い理解度の学生 i が問題 j を間違えた場合に 1 となり、それ以外では 0 となる定数である。

AEGIS で行っている動的な難易度変更方式の考え方を図 4 に示す。グラフの横軸は理解度を表し、縦軸は、上方向はその問題を正解した学生の数を、下方向はその問題に不正解した学生の数を表す。ある時間間隔に回答した学生に対して、正解者・不正解者の数はグラフに示した曲線のようにになると予想できる。問題の難易度より高い理解度の学生がその問題に正解することと、問題の難易度より低い理解度の学生がその問題に不正解することは当然のことであると考え、新しい難易度の計算に、この両者の学生のデータは使用しない。問題の難易度より低い理解度の学生が正解したのは、その問題の難易度が過大評価されていたためと仮定し、問題の難易度を下げる方向に動かす要因とする。ま

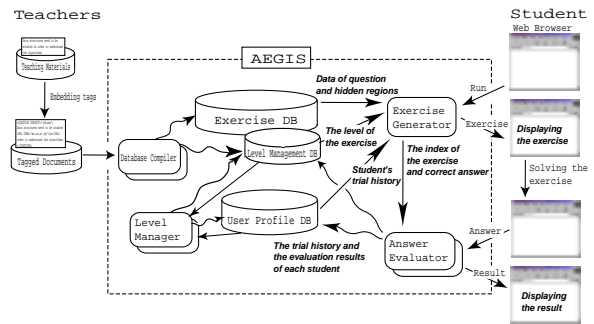


図 5: AEGIS による処理の流れ

た、問題の難易度より高い理解度の学生が不正解したのは、その問題の難易度が過小評価されていたためと仮定し、問題の難易度を上げる方向に動かす要因とする。それぞれの領域に属する学生の理解度の平均をもとめ、そこに長さが学生数の逆比となる線分を縦軸と並行に引く。この線分の頂点を結ぶ直線が横軸と交わる点を問題の新しい難易度とする。この方法で、ある時間間隔に解答した学生の理解度を基に、問題の難易度を動的に変更する。

ここで計算した問題の難易度は、ある出題箇所をある出題形式で出題する場合の難易度である。この計算で新しくした難易度を用いて、誤り訂正形式の難易度をその出題箇所の難易度の上限とし、選択形式の難易度をその出題箇所の難易度の下限とする。これにより、出題箇所の新しい難易度の範囲が計算される。

5. XML 文書からの練習問題自動生成

AEGIS は Perl を用いて作成され、Web ブラウザから CGI (Common Gateway Interface) として起動される。AEGIS はデータベースコンパイラとレベルマネージャ、問題生成部、採点部とから成っている。AEGIS の処理の流れを図 5 に示す。

既存の教材に問題作成用のタグを埋め込んだ XML 形式の教材を出題者が用意する。AEGIS では、データベースコンパイラ部がその教材を解析し、難易度データベース (LMDB) と問題データベース (EDB) に登録する。この際に、

前節では、2つの整数の和を計算し表示するプログラムを学んだ。算数には基本演算として4つの演算がある。これらについてはパスカルプログラムではどのように記述されるかをこの節では見ていく。

<QUESTION>

下のプログラムは、2つの整数を入力すると、積と商を計算し表示するプログラムである。

```

program enzan;
uses wincrt;
var x, y : integer;
    seki, shou : integer;
begin
  write('Input two integers : ');
  readln(x, y);
  seki := <DEL CAND="x,xy,x X y,x mul y"
        LEVEL="1,5"> x * y </DEL>;
  shou := <DEL CAND="x / y,x ÷ y,xdivy,x mod y"
        LEVEL="1,5"> x div y </DEL>;
  writeln('積 : ', seki);
  writeln('商 : ', shou);
end.
</QUESTION>

```

8行目で積を計算し、9行目で商を計算している。このことから、積と商の演算は、算数での記述とは異なる記述をすることを確認して欲しい。

図 6: タグ付き教材の例

提供された XML 文書が設計したタグの要求を満たしているかをチェックする。一方、学生が AEGIS をひとたび使用すれば、その学生のユーザプロファイル (UPDB) を作成する。これには、出題した出題箇所と出題形式、正解 / 不正解の情報が記録される。この UPDB に記録された情報を用いて、レベルマネージャが前節で説明した方法で、学生の理解度と問題の難易度を計算する。

問題生成部は、ユーザプロファイルの情報と LMDB の情報を比較して出題箇所を決定し、EDB から出題文・出題箇所のデータを取り出す。次に、3つの出題形式のうちどの形式を選択するかを決定する。学生の理解度が出題箇所の難易度の範囲の下限に近い場合には、選択問題として出題する確率を高くし、学生の理解度が出題箇所の難易度の範囲の上限に近い場合には誤り訂正問題として出題する確率を高くする。この様にして、同じ出題箇所でも出題形式を変化させることで、学生の理解度に応じた出題を



(a) 選択問題での出題



(b) 穴埋め問題での出題



(c) 誤り訂正問題での出題

図 7: AEGIS による出題の表示例

可能としている。

問題の生成時には、DEL タグで囲まれた内容をその出題箇所の正解とする。また、教師が選択肢になる表現 (誤りの選択肢) をCAND 属性に記述している。正解と誤りをランダムに並べて選択肢として学生に提示することで選択問題を生成する。また、誤り訂正問題では、DEL タグで囲まれた内容をCAND 属性に記述してある表現の1つで置き換えることで、問題文中に誤りを挿入する。

採点に関しては、DEL タグで囲まれた内容がその出題箇所の正解であることを利用して、学生の解答を採点する。選択問題と穴埋め問題では、出題時に出題箇所と出題形式、正解を採点部に伝え、学生が記入した解答と正解をマッチングすることによって採点する。誤り訂正問題では、採点部に伝えられた出題箇所と正解を学生の解答の「誤りの場所」と「訂正内容」とそれぞれ比較し、マッチングした場合を正解とする。採点が終了すると、出題箇所と出題形式、採点結果を UPDB に追記する。

AEGIS のタグを埋め込んだ教材の例を図 6 に示す。この例は、Pascal 言語のプログラムの教材で積と商を計算する演算式の理解を目的としている。この教材の目的から、プログラム中の積を計算する式と商を計算する式を出題箇所として選び、2つのDEL タグで囲んでいる。さらにプログラム全体とプログラムの説明文とを出題文にするためにQUESTION タグで囲んでいる。このタグ付き教材をAEGISで処理した結果が図7である。HTMLのフォームを使用して出題している。この図から、1つのタグ付き教材を使用して3種類の出題形式で出題できることがわかる。

6. おわりに

学生の練習問題挑戦への要求に応え、自動的に出題するシステムAEGISを構築した。教師が出題用のタグを教材に埋め込んでXML文書を作成し、これを使用してAEGISが練習問題を自動生成する。出題に際しては、過去の学生

の履歴を参考に学生の理解度を推定し、その理解度に応じた難易度の問題を出題することが可能である。

現在、AEGIS用のXMLタグは出題者がテキストエディタで入力している。タグの埋め込み作業は負荷がかかるので、これを支援するツールが必要である。また、DELタグで囲む出題箇所は、解答として曖昧さがないようにタグ付けされなければならない。現在のAEGISでは、曖昧さが無いことを出題者が保証することを前提にしている。曖昧さがある場合への対応は今後の課題である。また、AEGISは開発段階であり、講義等での実使用には至っていない。九州大学では、コンピュータリテラシーの教育を全学部全学生に対して行っている。この講義で使用する資料はWebで見れる形式になっているので、これを利用してXML教材を準備し、AEGISをこの講義で使用する計画である。

参考文献

- [1] R.Fujimoto, A.Suganuma, and T.Mine, "Development of a Classroom Management System on the Web", International Conference on Computers in Education, Vol.2, pp.756-759 (1999).
- [2] 菅沼 明, 藤本 竜之介, 峯 恒憲, "Webを用いた講義支援システムの開発とその適用", 情報処理教育研究集会, pp.631-634 (1999).
- [3] T.Mine, D.Nagano, K.Baba, T.Shoudai, and S.Hirokawa, "On-Web visualizing a mechanism of a single chip computer for computer literacy courses", International Conference on Computers in Education 98, Vol.2, pp.496-499 (1998).
- [4] A.Suganuma, R.Fujimoto, and Y.Tsutsumi, "An WWW-based Supporting System Realizing Cooperative Environment for Classroom Teaching", World Conference on the WWW and Internet, pp.830-831 (2000)
- [5] T.Mine, A.Suganuma, and T.Shoudai, "The Design and Implementation of Automatic Exercise Generator with Tagged Documents based on the Intelligence of Students: AEGIS", International Conference on Computers in Education, pp.651-658 (2000)