

## Web を利用した物理学学習支援環境

- Web 問題集の試作 -

宮武 明義\* 河田 進\* 矢野 米雄\*\*

### Web based Physics Learning Environment

- Web-based Problems Collection -

Akiyoshi MIYATAKE\* Susumu KAWATA\* and Yoneo YANO\*\*

### Synopsis

We are developing the Physics Learning Environment in which a learner can study on his/her own initiative. The environment consists of physics simulator and communication tools. In the final stage of learning, the learner should solve some "story problems". Then the learner can confirm his/her acquirement of knowledge and firmly fix the knowledge. So we supply the learner web-based problems collection. With this system, the learner not only can browse problems, but also can contribute their problems to this system. And the learner can write in comments to each problem respectively. These comments are useful for the learner to memorize his/her learning process and to discuss with co-learners. In this paper, we describe a prototype system of web-based problems collection.

#### 1. はじめに

物理学を学ぶ場合, 学習者は公式を覚えただけでは十分とは言えない. 学習者の問題解決能力を育成するには, 学習者が主体的に物理現象と公式の関係を学ぶことが重要である. そこで我々は, 学習者の主体的学習を支援する環境をWeb上に試作している<sup>1),2)</sup>. 本環境は, 力学を対象とし学習者が物理現象を体験するためのシミュレータ, 共同学習者と物理現象と公式の関係を議論するためのコミュニケーション・ツールからなる. これらのツールにより学習者の主体的学習を支援する. しかしそれだけでは, 学習者が物理現象と公式の関係を正しく理解したか, またどの程度問題解決能力が育成できたかを知ることができない. そこで, 本環境では学習者に物理問題集を提供する. 学習者が問題集を解くことで自らの問題解決能力を知ることができ, さらに知識の定着が期待できる.

本稿では, 2 章において我々の試作している物理学学習環境の全体概要, 3 章において Web 上に公開する物理問題集の仕様, 4 章においてその実現について述べる. 5 章では, 本問題集を用いた学習と問題登録時の例を示す.

#### 2. 学習者の主体的な物理学学習環境の概要

本環境は Web 上に構築しており, 学習教材を提供するサーバと学習者が学習を行うクライアントからなる. 現在サーバ側の環境は, Linux と Microsoft Windows の両 OS 上での動作を確認している. 本環境の全体構成を図 1 に示す. 本環境は Apache Web サーバ上に Web ページとして構築しており, トップページは学習テーマ一覧と学習補助ツール, 問題集へのリンクからなる.

各テーマのリンク先には, 学習者の個人学習支援と共同学習支援のためのページへのリンクを用意している. どのテーマも個人学習支援として, テーマの概要, シミュレータ, テーマで扱う現象の原理説明のページを提供している. 以上の環境により学習

\* 情報工学科

\*\* 徳島大学 工学部

者は物理現象の理解を深めることが期待できる。

また共同学習支援は、共同学習者と同期、非同期にコミュニケーションをとるためのツールを提供する。共同学習者と議論することで、疑問点の解消や行き詰まり状態の軽減が期待できる。

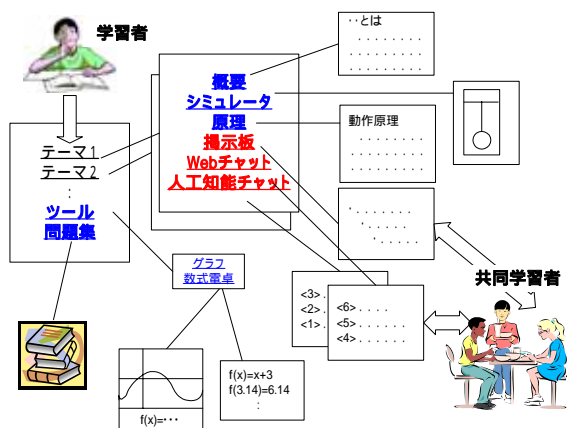


図1 物理学学習支援環境の基本構成

### 2.1. シミュレータと学習補助ツール

シミュレータと学習補助ツールは、Windows 上でSUNマイクロシステムズのJ2SDK 1.4.0 を用いて開発している。本シミュレータとツールは Java アプレットとして実現している。

現在、モンキーハンティング、単振り子、球の投げ上げ、球の衝突のシミュレータを用意している。学習者は、シミュレータに付随する物理量(パラメータ)を自由に変化させることができるため、シミュレーション結果の違いから物理量と物理現象との関係を視覚的に把握できる。

学習補助ツールは、グラフ描画ツールと数式入力型の電卓からなり、物理量や物理現象、公式などの関係を数値的に確認できる。

### 2.2. コミュニケーションツール

シミュレータごとに、共同学習との情報交換を支援するツールとして、電子掲示板とWebチャット、人工知能チャットをPerl言語で記述されたCGI(Common Gateway Interface)として提供する。これらのCGIは、KENT WEB<sup>3)</sup>のホームページで配布されているフリーソフトを一部改造して使用している。学習者は共同学習者と電子掲示板による非同期コミュニケーション、そしてWebチャットによる同期コミュニケーションができる。また、共同学習者が存在しないときでも人工知能チャットで擬似的

に同期コミュニケーションをすることが可能である。

### 2.3. 問題集

本 Web 問題集は、サーバサイド・スクリプト言語 PHP を用いて実現している。また、問題検索には日本語全文検索システム Namazu とかな漢字変換システム Kakasi を使用している。Web 問題集の仕様と実現については、3章以降で述べる。

## 3. Web 問題集の仕様

### 3.1. 基本方針

これまで、Web上で問題集を公開する研究は多くなされている。基本となるのは、紙の問題集と同じ形式で問題と解答を提供することである。これに加え、小テスト(ドリル)形式で問題を提示し、学習者に答えを入力させ自動採点機能を実現する研究<sup>4)</sup>、問題作成を支援する研究<sup>5),6)</sup>、問題を自動生成し問題数の増加を図る研究<sup>7)</sup>などがなされている。

本研究では、学習者が主体的に利用することのできる Web 問題集の作成を目標としている。そこで、本 Web 問題集は以下の機能・特徴を実現する。

- ・紙の問題集と同等の編成
- ・問題の提示・検索機能
- ・管理者の問題登録支援
- ・学習者の問題投稿機能
- ・問題ごとにコメントの書き込み機能

以上を実現するため、第一学習社の「新編 セミナー物理IB+II」<sup>8)</sup>から 183 問を抜き出し仕様を決定した。

### 3.2. 問題の編成

問題は、単元、小單元ごとに、基本、発展、総合問題の 3 レベルの難易度に分類する。また、問題形式は、文章だけのタイプ、図を文章の右側に含むタイプ、図を文章の下に含むタイプの 3 形式とする(図 2)実際に調べた 183 問の内訳を表 1 に示す。また、各問ごとに解説と解答を用意する。

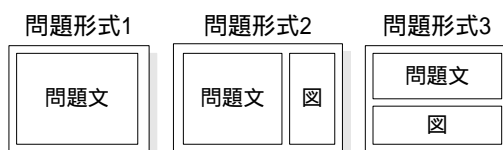


図2 3種類の問題形式

表 1 問題の分類

| 単元       | 小単元      | 基本  | 発展 | 総合 | 計   |
|----------|----------|-----|----|----|-----|
| 力と運動     | 物体の運動    | 6   | 6  | 0  | 12  |
|          | 物体の落下    | 7   | 6  | 3  | 16  |
|          | 力のつり合い   | 9   | 8  | 0  | 17  |
|          | 運動の法則    | 7   | 4  | 4  | 15  |
|          | 運動量      | 9   | 6  | 3  | 18  |
| エネルギー    | 仕事とエネルギー | 14  | 6  | 3  | 23  |
|          | 熱と温度     | 11  | 3  | 0  | 14  |
|          | 熱と仕事     | 6   | 4  | 4  | 14  |
| 運動とエネルギー | 円運動と万有引力 | 8   | 3  | 0  | 11  |
|          | 単振動      | 6   | 3  | 5  | 14  |
|          | 気体の分子運動  | 9   | 3  | 0  | 12  |
|          | 気体の状態変化  | 10  | 3  | 4  | 17  |
| 問題形式1    |          | 57  | 10 | 3  | 70  |
| 問題形式2    |          | 41  | 43 | 21 | 105 |
| 問題形式3    |          | 4   | 2  | 2  | 8   |
| 計        |          | 102 | 55 | 26 | 183 |

### 3.3. 問題の提示・検索機能

本問題集は、紙の問題集と同じように、単元と小単元、難易度に分類して問題を提示する。また、各問ごとにタイトルが付けられており、学習者は難易度別にタイトルを選んで問題を選択することもできる。

検索機能では、問題文をキーワードで検索できる。キーワード検索では、フリーキーワードだけでなく、あらかじめ登録された物理定数や問題に含まれる物体といったキーワードから選択することもできる。

### 3.4. 問題の登録・投稿機能

問題集は、正式問題とユーザ登録問題からなり、学習者、管理者ともいずれの問題も自由に閲覧可能である。正式問題への登録は、問題の質が重要であるため管理者にだけ許可する。問題の質とは、問題と解答が正しいか、問題としてふさわしいか、登録する単元・小単元、難易度が適当であるかなどである。

しかし一般に、学習者の解きたい問題が正式問題集に存在するかどうかは保証できない。そこで、学習者が解きたいが正式問題集には無い問題をユーザ登録問題として投稿可能とする。管理者は、ユーザ登録問題の中から適当と判断される問題を正式な問題集に追加登録できる。

### 3.5. 問題へのコメントの書き込み機能

学習者は問題ごとに用意されたコメントの書き込みを読んで理解の確認などができる。また、読むだけでなく、

自分の持つ疑問点の書き込みや他者の質問に対する回答の書き込みができる。コメント機能の利用により以下の学習効果が期待できる。

- ・自分の考えをメモする  
学習の記録として残すことで、一時解答を中断してもメモを見ることで解答の再開が容易となる。
- ・疑問点を書き込む  
共同学習者から回答を得ることで、疑問点の解消や知識の確認ができる。
- ・共同学習者の疑問に答える  
共同学習者へアドバイスの回答を与えることで、知識を定着することができる。
- ・コメントを読む  
他者の学習メモを読むことで、解法のヒントを得ることができる。

## 4. Web 問題集の実現

3章で述べた仕様にに基づき、Web 問題集をサーバサイド・スクリプト言語である PHP を用いて実現する。

### 4.1. 問題のファイル構成

問題は 1 問ごとに、問題文ファイル、図がある場合は図ファイル、解答ファイル、コメント・ファイルからなる。

問題文 ( 1.txt )

右のグラフは、x軸上を運動しているある物体の座標x[m]と時刻t[s]との関係を表している。この物体の速さはいくらか。

解答 ( 1a.jpg )

(考え方) 0~60s間のグラフの傾きを調べるとよい。

**解答**

$$v = \frac{40 - 10}{60 - 0} = 0.50 \text{ (m/s)}$$

問題の図 ( 1.jpg )

コメント ( 1m.txt )

```

-----<p>なまえ [まなぶ] 日時 [2004/12/16(Thu) 18:12:06]</p>
TITLE [初めての書き込み]

初めて書き込みます。
                    
```

図 3 問題番号 1 のファイル構成

問題の図と解答は、JPEG 形式の画像ファイルで実現する。解答を画像ファイルにするのは、問題形式のように図の数や位置を限定することが困難なためである。一方、画像ファイルにすることで、手書きの解答や紙の問題集をスキャナ等で取り込んで作

成することが可能となる．図3に，問題番号1の例を示す．ファイル名に含まれる数字は，問題番号に対応する．

#### 4.2. 問題集の管理テーブルとディレクトリ構成

単元と小単元，難易度，問題の定義情報は図4に示すテーブルの形で管理する．小単元テーブルは，各小単元名(Subcat)とそれが属する単元番号(Cat)を含む．また，問題の定義情報は難易度別に用意し，問題番号(No.)，問題のタイトル(Title)，問題形式(Type)，単元(Cat)と小単元番号(Subcat)の情報を含む．

問題文の検索に用いる検索キーワードも，物理定数や基本単位ごとにキーワードをグループ化したテーブルで管理する．



図4 問題管理テーブルの構成

各問題ファイルと管理テーブルは，図5に示すディレクトリ構成で格納する．トップディレクトリには，単元，小単元，難易度，問題検索用キーワードテーブルを格納している．問題ファイルは，難易度ごとにサブディレクトリ(Level1 など)を用意し管理する．難易度別サブディレクトリには問題の定義情報のファイルと問題検索用インデックス，問題・解答ファイル，コメント・ファイルを格納するサブディレクトリを用意する．

#### 4.3. 問題の検索

問題の検索機能は，PHP4 から Namazu 関数を呼び出すためのモジュールを用いて実現している．問題文ファイル中のテキストを検索対象とし，あらかじめ Namazu 検索用のインデックスを作成する．問題文中の図や解答は，画像ファイルなので検索対象外である．

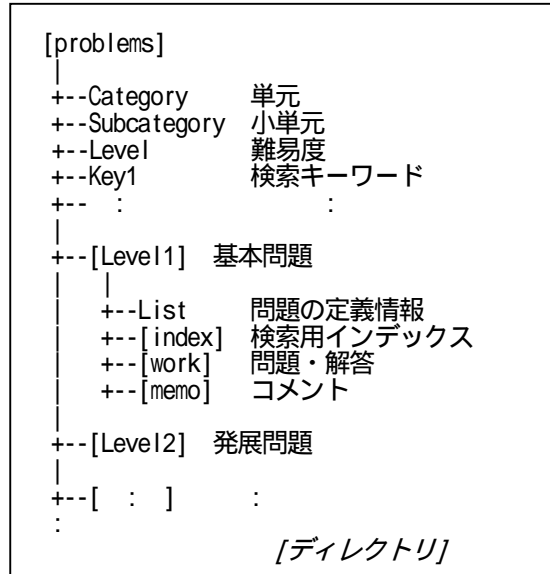


図5 問題集のディレクトリ構成

検索は，フリーキーワードだけでなく，あらかじめ用意した検索キーワードから選択することもできる．現在，物理定数，基本単位，補助単位，組立単位，物体の5種類を用意している．これらは，図4(e)に示すように，検索キーワードテーブルに格納される．テーブルのNo.0のKey値はキーワード項目名，No.1以降のKey値が選択可能なキーワードである．

#### 4.4. 問題文の表現

問題文によっては，数式などを含みテキストだけでは適切に表現することができないものがある．数式エディタなどを利用して数式を記述することも考えられるが，この方法では問題作成に時間がかかり問題作成者の負担が大きい．

そこで，本問題集では，最低限の HTML タグを用いた表現を利用する．問題作成者には HTML タグとその表示例の対応表を提示することで，タグをコピー，ペーストして問題を記述してもらう．現在提示している HTML タグを表2に示す．ここで，ベクトルや平均の表示に用いている RUBY タグは，Internet Explorer5 以上での対応となる．

この方法だけでは決して十分とは言えず、分数や平方根の表現など問題が残っている。将来的には、MathML などの導入を検討したい。

表 2 HTML による記号や特殊文字の記述

| 意味      | HTML   | 表示例            |
|---------|--|----------------|
| 等号, 不等号 | &ne; &lt; &gt;<br>&le; &ge; &laquo;                                | < ><br>? ? «   |
| 数学記号    | &ang; &plusmn;   | ±              |
| ギリシャ文字  | &Delta; &Phi;<br>&alpha; &beta; &gamma;<br>&mu; &pi; &rho; &omega; | μ              |
| 上付き文字   | v<SUP>2</SUP>  | v <sup>2</sup> |
| 下付き文字   | t<SUB>0</SUB>  | t <sub>0</sub> |
| ベクトル    | <RUBY><RB>v</RB><RP><br></RP><RT> </RT><RP><br></RP></RUBY>        | v              |
| 平均      | <RUBY><RB>v</RB><RP><br></RP><RT> - </RT><RP><br></RP></RUBY>      | -<br>v         |

#### 4.5. 実行環境

本学習環境を提供するサーバ側の実行環境を表 3 に示す。表からもわかるように OS である Windows XP を除けば、必要なソフトウェアはすべて無料で入手できるため、LAN 環境を有する小規模な組織でも容易に本学習環境サーバを立ち上げることができる。

表 3 サーバの実行環境

| OS            | VineLinux2.6r4 | WindowsXP Home/Pro  |
|---------------|----------------|---------------------|
| 分類・用途         |                |                     |
| Webサーバ        | Apache 1.3.27  | Apache 1.3.29       |
| CGI記述言語       | perl 5.6.1     | ActivePerl5.6.1.635 |
| 日本語全文検索       | Namzu 2.0.12   | Namazu 2.0.12       |
| 漢字かな変換        | KAKASI 2.3.4   | KAKASI 2.3.4        |
| サーバサイドスクリプト言語 | PHP 4.2.3      | PHP 4.3.4           |

学習者が本環境を使用するためのクライアントは、Java 仮想マシン バージョン 1.1 以上の動作する Web ブラウザがあれば十分である。

#### 5. Web 問題集の使用例

図 6 に、現在試作した問題集の単元・難易度別の問題選択画面と問題の表示例を示す。



図 6 単元・難易度別問題リストと問題の表示例

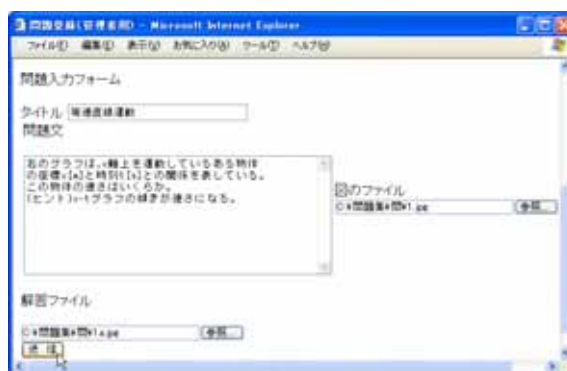


図 7 (a) 問題形式 2 の問題入力画面

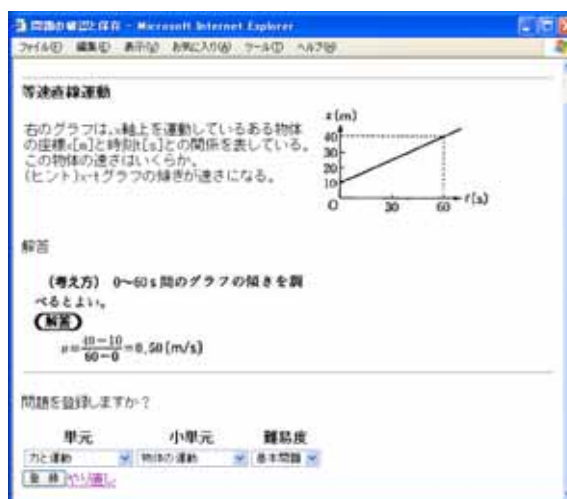


図 7 (b) 問題の確認・登録画面

紙の問題集と同様に表形式で問題番号を表示している。学習者は、適当な番号をクリックすることで問題が別ウィンドウに表示される。問題の下には、



解答とコメントの表示ボタンが付けられており、学習者はそれぞれ自由に表示・非表示を切替えることができる。

図7は、管理者による問題登録時の使用例を示す。問題形式を選択すると、問題入力画面が表示される。図7(a)は、問題形式2を選択したときの画面表示である。タイトルと問題文を入力するテキストエリア、あらかじめ用意した図や解答の画像ファイルを参照するボタンが表示されている。送信ボタンをクリックすると、問題の確認・登録画面(図7(b))が表示される。問題文と問題の図、解答が実際に問題表示したときの状態でプレビューされる。ここで表示に問題がなければ、単元と小単元、難易度を指定し登録することができる。



図8 キーワード検索の画面

図8は、基本問題から物理定数“重力加速度”，扱う物体“ばね”をキーワードに検索した結果である。問題番号、タイトル、問題文の一部が表示され、問題番号のボタンをクリックすると、選択した問題が別ウィンドウに表示される。

## 6. おわりに

本稿では紙の問題集に沿ったWeb問題集の試作について述べた。本Web問題集は、我々が開発している学習者の主体的な学習を支援する学習環境の構成要素であり、学習者の理解度を測り、知識の定着を目的としている。しかし、以下の問題が残されている。

- 問題の作成・入力が、管理者の手作業であるため問題数の増加に限界がある。また管理者は学習者の投稿問題を正式な問題集に登録することもできるが、これも手作業となる。

- 学習者の学習履歴をシステム側で記録していないため、システムから学習者への学習履歴に基づく支援ができない。学習者も自分が解いた問題と解いていない問題の把握が困難である。
- 各問におけるコメントの書き込みが無責任に行われる可能性がある。問題数が増えれば増えるほど管理が困難となる。
- 問題文をキーワードで検索することはできるが、モンキーハンティングなどの学習テーマと問題の関連性が明確でない。

また、実際の運用においては教育課程の変更に伴う問題集の再編成機能、問題文中における数式の表現力の向上、解答の検索機能なども必要であると考える。

以上をもとに、本環境の改良を図り有効性の評価を行う予定である。

**謝辞** 本研究の一部は、平成16年度科学研究費補助金基盤研究(C)「エージェントによるオンデマンド・グループ学習環境に関する研究」(課題番号14580249)の補助を受けている。

## 参考文献

- 1) 宮武明義, 河田進, 矢野米雄, Web を利用した共同学習支援環境-力学シミュレータと共同学習支援ツールの提供-, 電子情報通信学会 教育工学研究会技報, ET2002 - 100, pp.31-36, (2003)
- 2) A.Miyatake, S.Kawata, Y.Yano, "Web based Heuristic Learning Environment -Supply of Kinetic Simulators and Communication Tools-, " Proc. International Conference on Computers in Education (ICCE2003), pp.373-376, Hong Kong, Dec.(2003)
- 3) <http://kent-web.com/>
- 4) 高橋参吉, 松永公廣, 橋本はる美, 差の蘭美, C プログラミング教育における Web を用いた電子問題集の利用, 教育システム情報学会誌, Vol.18, No.1, pp.95-100, (2001)
- 5) 小田誠雄, 小田まり子, WWW 上の CAI 教材作成ツールの開発とその効果, 教育システム情報学会誌, Vol.17, No.3, pp.435-442, (2000)
- 6) 河崎雅人, 多肢選択型 Web 教材作成支援システムの開発, 電子情報通信学会 教育工学研究会技報, ET2004 - 3, pp.13-17, (2004)
- 7) 金西計英, 林賢太郎, 光原弘幸, 矢野米雄, 教材知識に基づき WBT 上で演習問題を生成する機能の実現, 教育システム情報学会誌, Vol.20, No.2, pp.71-82, (2003)
- 8) 第一学習社編集部, 新編 セミナー物理 IB+II, 第一学習社(1997)