

SOL 学習支援システムの設計と開発

(平成16年11月30日 原稿受付)

工学研究科 秋 吉 賢 治

工学研究科 横 尾 徳 保

工学研究科 重 松 保 弘

Design and Development of a SOL E-Learning System

by Kenji AKIYOSHI

Noriyasu YOKOO

Yasuhiro SHIGEMATSU

Abstract

In this paper, we present the design and development of a SOL E-Learning System which is a web based training system, and also show its efficiency. SOL is a programming language, which we have developed, for the purpose of natural translation from algorithms to programs. It has been able to download not only several guides but also an integrated development environment for SOL, however there was no support to learn SOL. Therefore, we have developed a SOL E-Learning System with the aim of the support to learn for the person who is interested in SOL. This system requires only the web browser to handle the Java Applet. This System provides many functions that "explanation", "exercise", "exam", "memo pad", and "report card", and makes conversational execution of program possible on the web browser. Furthermore, it is also able to manage the user information with user accounting.

1. はじめに

近年, IT 化が進み教育への IT 技術の利用が叫ばれる中, ネットワークインフラの発展に伴って E-Learning と呼ばれる学習スタイルが注目されている. E-Learning とは, 電子技術を利用した学習形態, 具体的にはコンピュータとインターネットを利用した学習形態を意味する. E-Learning においては, 「いつでも」, 「どこでも」利用できることが大きな利点であり, その他にもユーザが自分に適した学習コースを自由に選択できるなどの利点もある⁽¹⁾⁽²⁾. 有名な E-Learning プロバイダとしては, Blackboard⁽³⁾, GeoLearning⁽⁴⁾, Plateau System⁽⁵⁾などが挙げられ, Blackboard 社の Blackboard Learning System は, 日本でも国公立大学を中心として既に30を超える機関で導入されている.

一方, 筆者らの研究室では集合指向言語 SOL (Set Oriented Language) に関する研究を行ってきた. SOL は, アルゴリズムの自然な記述を目的としたプログラミング言語であり, 記述性および可読性に優れたプログラミン

グ言語である. 現在, 筆者らの研究室のホームページよりプログラミング環境, 入門書, 言語仕様がダウンロードできる. しかし, 現在の環境では SOL を理解してもらい広く利用してもらうためには不十分であり, 何らかの学習支援が必要であった.

そこで今回, ユーザが Web ブラウザのみで学習できる E-Learning による SOL 学習支援システムの開発を行った. 本システムは解説, 練習問題, 演習, 試験, メモ帳, および成績表など多くの機能を提供しており, 動的な Web ページの作成や対話的な操作の実現のために CGI および Java Applet を使用している. また, 本システムの手法は SOL に特化するものではなく, 解説の HTML や練習問題の問題データ, および演習のためのコンパイラを変更することで他のプログラミング言語への幅広い応用が期待できる. 本稿では, SOL の特徴を述べた後, SOL 学習システムの設計と実装について述べる. また, 他の E-Learning システムとの比較を行い本システムの評価をする.

2. SOL

アルゴリズムの記述は、集合や写像を用いることで簡潔に表現できる場合が多い。これは、集合や写像といった概念やその演算方法が広く知られているからである。しかし、従来のプログラミング言語では集合をそのまま記述することは困難であり、集合を扱う場合には他のデータ構造に置き換える必要があった。

そこで、アルゴリズムの自然な記述を目標に SOL を開発した。SOL は、Pascal をベースとして特に集合型の取り扱いが強化されている。基本型に集合型を導入し、また、写像関係や対応関係も構文としてサポートしている。さらに、集合演算などの数学記号をプログラムに直接記述できるようにすることで、プログラミングの効率化、プログラムの可読性の向上を図っている。SOL の特徴は以下のとおりである。

- (1) 集合を扱うことができる。
- (2) 集合演算子、関係演算子、全称、存在記号等の数学上の記号が扱える。
- (3) 外延および内包記法による集合の動的な生成が可能である。
- (4) 集合族（集合の集合）が扱える。
- (5) 写像、対応、逆写像、逆対応が表現できる。

このような特徴を活かして、SOL はフローグラフのインターバル解析⁽⁶⁾、意味ネットワークの記述等⁽⁷⁾において、その有用性が確認されている。また、リレーショナルデータベース言語 SQL のホスト言語として、従来のホスト言語と比較して言語間インタフェースが改善されることも示されている。また、マルチメディアデータベースへの対応なども考慮し、静止画像や動画画像および音声のマルチメディアデータに対応した MSOL、SOL の試用環境として SOL のプログラミングおよびコンパイル/実行を Web ブラウザから行うことができる遠隔実行環境である InetSQL も開発されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。現在、SOL コンパイラは Web 上で公開されており、Windows 上での SOL の実行環境である SolEditor も提供されている⁽¹⁰⁾。

3. SOL 学習支援システム

現在、筆者らの研究室のホームページより SOL の入門書、InetSQL、SolEditor などを提供しているが、これらのみでは SOL を理解してもらうためには不十分であった。そこで今回、ユーザが Web ブラウザのみで学習できる E-Learning による SOL 学習支援システムの開発を行った。

3.1 システムの要件

システムを設計する際の要件としては、E-Learning の

特徴である、「いつでも」、「どこでも」利用できる、またユーザが自分に適した学習コースを自由に選択できることが挙げられる。このような要件から、インターネットに接続し、Web ブラウザが利用できる環境であれば、いつでもどこでも学習することができる E-Learning の形態の 1 つである WBT (Web Based Training) を採用した。WBT とは、インターネット上で Web ページを利用する学習支援システムのことである。

3.2 システムの概要

本システムは、E-Learning による WBT 型の学習支援システムである。学習内容は SOL 言語である。システムを利用する際は、ユーザ登録が必要である。登録内容は、名前、メールアドレス、ログイン ID、およびパスワードである。使用言語は、HTML、および動的なページを作成するため Perl、JavaScript、Java Applet を使用した。本システムは、解説、練習問題、演習、試験、メモ帳、成績表、および管理機能から構成されている。学習順序は、解説により集合の概念および SOL の基礎的な知識を学習し、練習問題、および試験により知識の確認を行う。そして、メモ帳、および成績表により学習状況を確認し理解するまで繰り返し学習を行うように構成されている。

3.3 システムの構成と機能

システムの構成図を図-1に示す。クライアント側は、ブラウザから Web サーバへアクセスする。サーバは、主に Web サーバ、CGI プログラム、SOL コンパイラ、および問題データやユーザの学習データから構成されている。

3.3.1 解説

SOL についての解説を HTML で記述している。HTML で記述されているため書籍などとは違い、得たい情報が記述されている任意の場所へ容易に移動することができる。

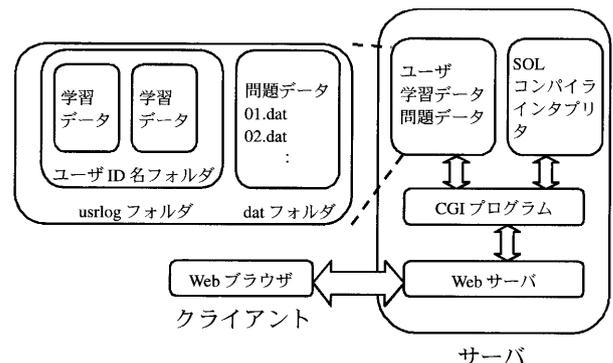


図-1 システム構成図

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1…集合, 対応, 写像に関する基礎概念 <ul style="list-style-type: none"> 1.1…集合の概念 1.2…集合の間の演算 1.3…対応と写像 1.4…写像に関する概念 1.5…添数付けられた族 2…SOL プログラミングの基礎 <ul style="list-style-type: none"> 2.1…InetSOL の使用方法 2.2…計算と制御 2.3…組と添数付き集合 2.4…写像と対応 2.5…不定型とラベル付き写像・対応 3…有向グラフの SOL プログラミング <ul style="list-style-type: none"> 3.1…組集合による有向グラフの表現方法 3.2…写像による有向グラフの表現方法 3.3…対応による有向グラフの表現方法 3.4…対応による二分木の表現方法 3.5…対応による有向グラフの動的生成 |
|--|

図-2 ドキュメント構成

る。また、重要な語句や情報は強調して表示することができ、ユーザの学習効率を上げることが可能となる。初めに、集合の概念について簡単な説明を述べると共に SOL の特徴について述べ、SOL の記述性および可読性について理解できる形にした。ドキュメントの構成を図-2 に示す。これらの各節はフォームのセレクトボックスにより「理解」、「未理解」、「要チェック」のチェックを選択することができる。選択された項目は CGI によりユーザ別にサーバに保存され、解説の目次により確認することができる。

3.3.2 練習問題

基本的な SOL の記述方法を学習するため、CGI を利用した穴埋め問題を用意した。数学上の記号の入力補助のため数学記号ボタン、およびヒント、答えボタンが設置されている。また、実行ボタンにより実行結果を表示することができ、ユーザが自分で入力した解答でどのように実行結果が変わるのか、どのようなエラーがでるのかなどを知ることができる。また、苦手な問題をメモ帳にメモしておくことができる。この穴埋め問題により、SOL の基本的な構文を習得することができる。問題は、解説の「2章-SOL プログラミングの基礎」の範囲内の問題を20問作成した。問題は管理機能により容易に作成することができる。詳細は4.1節で述べる。

3.3.3 演習

穴埋め問題の次のステップとして演習を用意した。演習では、InetSOL を使用して実際にプログラムを記述させ実行させる。InetSOL については4.2節で述べる。問

題は、SOL の応用的な範囲である解説の「3章-有向グラフの SOL プログラミング」の範囲内の問題を20問作成した。

3.3.4 試験

練習問題、演習で学習した内容を確認するために、穴埋め問題の試験を用意した。指定された5問の穴埋め問題をユーザが解答し、それをシステムが自動で採点する。この結果は自動的にユーザ別にサーバに保存され、最高点および平均点を成績表で確認することができる。

3.3.5 メモ帳

ユーザが自分の学習状況を把握するためにメモ帳を用意した。メモ帳では、解説で「未理解」、「要チェック」にチェックした項目または、練習問題で苦手な問題に追加した問題の一覧が表示され、これらを確認することができる。これらはチェック項目にリンクさせているので、チェックした項目をすぐに見ることができる。

3.3.6 成績表

メモ帳と同様にユーザが学習情報を把握するために成績表を用意した。成績表では、練習問題の正解率や最初に正解した解答数および試験の最高点、平均点などは全てユーザ別にサーバに保存されており、確認することができる。練習問題では、ユーザ全体の最初に正解した解答数の平均、試験では、ユーザ全体の平均点も表示しており、自分の成績と比較することができる。成績表の画面を図-3 に示す。

3.3.7 システムの管理

本システムは、ユーザ別に学習状況を把握するため、利用にはユーザ登録が必要である。登録が完了するとサーバにユーザ用のフォルダが作成され、ユーザの学習データを保存していく。学習データには前述したように、解説でのチェック項目、練習問題の結果、苦手な問題、および試験の結果などが含まれる。システム管理は、ユーザ登録データや学習データ、問題データなどの管理を行う機能である。システム管理の画面を図-4 に示す。まず、ユーザの ID、名前、メールアドレス、認証回数、および登録日からなるメンバーリストが表示される。項目を選択する機能としては次のようなものがある。学習情報は、各ユーザの成績表を見ることができる機能である。全ユーザの穴埋め問題の最初に正解した平均解答数および試験の平均点を計算する機能もついている。ログイン情報は、システムにログインしたユーザの ID、日付、ホスト、HTTP-USER-AGENT を見ることができる機能である。新規問題作成は、穴埋め問題の簡易作成 CGI を利用した、問題作成/編集機能(4.1節参照)である。


```
# ----- main ----- #
&read_comment;      #解答取得
if($time){          #解答回数取得
$time=$FORM{'time'};
}
if(( $submit eq "OK") || ($submit eq "実行")){
    &check_answer; #答え合わせ
    $time++;      #解答回数増加
    &result;      #答え合わせ欄作成
}elseif($submit eq "答え"){
    &solutionarea; #答え欄作成
}elseif($submit =~ /ヒント/){
    &hint;
}
&acol;             #解答欄作成
if( ($submit eq "実行") ){
    &compile;      #コンパイル
    $load="onLoad=OpenWin()";
}
&html;            #html 出力
```

図-7 解答 CGI の main 部分

```
sub check_answer{
    $answer =~ s/^\s*&quot;;
    $flag = 0;
    if($answer =~
/^\s*(\s*&quot;a=&quot;\s*\s*a\s*)\s*\s*$/){
    }else{
        $flag = -1;
    }
    :
}
}
```

図-8 check_answer 関数

部を図-8に次に示す。\$answerはフォームから送信された解答、\$flagは正解、不正解を判別する変数である。正規表現を使用することで、正解の文字列を直接指定するだけでなく、スペースを0個以上含むなどの条件を指定して表記のゆれを考慮して判別することができる。

result 関数 check_answer 関数によって判別された結果を答え合わせ欄として表示する。

solutionarea 関数 「答え」ボタンが押されたら問題データの解答（表示）を答え欄に表示する。

hint 関数 「ヒント」ボタンが押されたら問題データのヒントをヒント欄に表示する。

acol 関数 問題数だけ解答欄を作成する。解答数が問題データに指定されたヒントを表示する解答数であれば「ヒント」ボタンを表示する。また、ヒントが全て出されていたら「答え」ボタンを表示する。

compile 関数 ユーザが入力した解答に対する実行結果を表示する。解答を問題の穴に埋めたプログラムソースをサーバに保存し、SOLコンパイラによってコンパイルを実行する。その実行結果を子ウィンドウに表示させる。

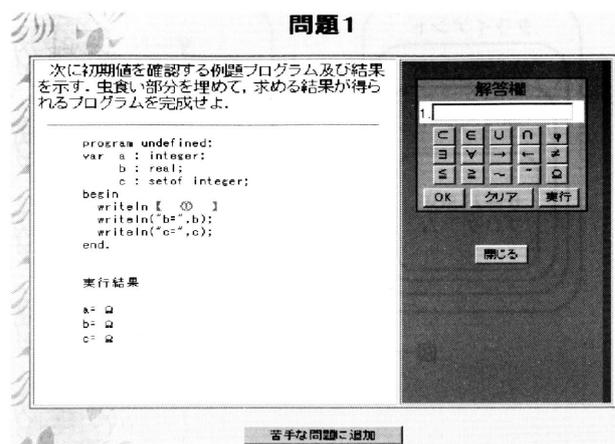


図-9 出題例

html 関数 html を出力する。出題例を図-9に示す。穴埋め部分は赤字の「問題番号」で強調され、問題数に応じた解答欄が表示されている。

4.2 プログラムの遠隔実行

演習には、筆者らの研究室で開発した InetSOL を利用した。しかし、InetSOL は試用目的の遠隔実行システムであり学習目的で利用するにはインタフェースや操作性に問題があった。そこで、本システムで利用するにあたりこれらの問題点の改良を行った。

従来の InetSOL

InetSOL とは、SOL のプログラミングおよびコンパイル/実行を Web ブラウザから行うことができるクライアント/サーバシステムである。InetSOL は、ブラウザがあれば利用できるため、ユーザが SOL を学習するにあたり特別な環境を用意する必要がない。以降、ソースコードの入力および、実行結果の表示を行うユーザ端末をクライアント、実際に SOL プログラムを実行する側をサーバとする。

システム構成

クライアント側インタフェースには、Java Applet を用い、クライアント/サーバ間通信には、HTTP を用いて遠隔地のサーバ上で実行を行っている。現在のところ OS には UNIX (Solaris8)、Web サーバには Apache1.3.26 を用いている。InetSOL の構成を図-10に示す。クライアントが SOL ソースプログラムを編集し、アプレット上の実行ボタンを押すことで HTTP リクエストを発行する。サーバはリクエストがあれば CGI プログラムが SOL コンパイラ/インタプリタを起動し、実行結果をクライアントへ渡す。

次にシステムを構成するプログラムについて述べる。ク

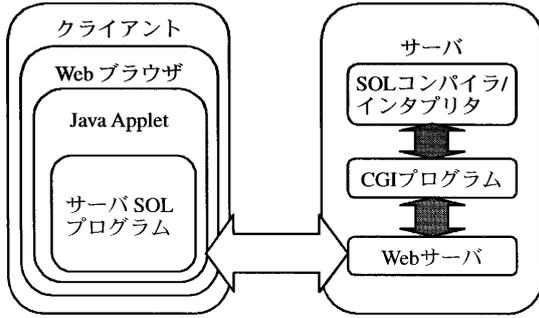


図-10 InetSQL の構成

クライアントは、Java Applet 表示用 HTML ファイルと、Java クラスファイルから成っている。これらのプログラムは全てサーバに保存されており、必要に応じてクライアントにダウンロードして実行することになる。サーバは、CGI プログラム、C++ 実行ファイルおよび SOL コンパイラ/インタプリタから成っている。クライアント、サーバが持つ機能をそれぞれ表-1, 2に示す。

InetSQL の問題点

従来の InetSQL にはユーザインタフェースの問題が挙げられる。InetSQL のユーザインタフェースは Java Applet で作成されており、主に source エリア、console エリア、list エリアに別れており起動直後には source エリアのみ表示されている。他のエリアを表示させるためには Applet 下部のチェックボックスにマークすることで表示

表-1 クライアント側プログラム

ファイル名	機能
index.html	Applet 呼び出し用 HTML ファイル
SolEditBox.class	クライアントインタフェース構成オブジェクト
MyURLEncoder.class	文字コード変換機能付オブジェクト
ExecuteSolThread.class	遠隔実行用スレッドオブジェクト

表-2 サーバ側プログラム

ファイル名	機能
ExecuteSol.pl.cgi	SOL ソースプログラムの受信用 CGI.
InputOutputSol.pl.cgi	実行中入出力送受信用 CGI.
GetResultSol.pl.cgi	実行結果リストファイル送信用 CGI.
isolserver	SOL コンパイラ/インタプリタを別プロセスで実行し、UNIX Domain Socket を用いて通信するためのサーバプログラム
isolclient	SOL コンパイラ/インタプリタを別プロセスで実行し、UNIX Domain Socket を用いて通信するためのクライアントプログラム
fsol_inet	SOL コンパイラ/インタプリタ

させることができるが、HTML に埋め込まれていてサイズが決まっているためエリアのサイズは変更することができない。そのため、タイトル部分をクリックすることでそれぞれ独立したウィンドウを表示できるようになっている。しかし、この動作ごとに Applet を再描画しなければならない。コンピュータの性能によって違いはあるが動作が重く再描画に時間がかかってしまう。ユーザが快適に作業を行うためにユーザインタフェースや操作性の改善が必要であった。

4.2.1 ユーザインタフェースの改良

上記のような従来の InetSQL の問題点をふまえて、ユーザインタフェースの改良を行った。開発言語は Java、開発環境には Eclipse を使用した。

開発環境

Eclipse Eclipse とはオープンソースの統合ソフトウェア開発環境 (IDE) の 1 つである。Java 開発者を中心に急速に普及しており、ソフトウェア開発の共通プラットフォームの標準になると予想されている。

Java GUI コンポーネント 従来の InetSQL のテキストエリア、ボタンなどの GUI 部品はすべて AWT に用意されている GUI 部品を使用していたが本研究においては Swing の方が高機能であるため、Swing に用意されている GUI 部品を使用する。

AWT AWT とは Java に標準で付属されているグラフィックス関連のクラスライブラリである。Java で開発されたアプリケーションソフトに実行環境によらない統一されたグラフィカルユーザインタフェースを提供する。しかし、ネイティブなピアに描画を依存したため動作が同じでも、OS による見た目の違いがある。

Swing Swing とは AWT に比べ、環境による振る舞いの差をなくし、実行速度を高め、多くのバグを取り除き、HTML に対応するなどの改良が施されているクラスライブラリである。

実装

InetSQL クラス InetSQL のメインクラスを構成する。ユーザが快適に作業を行うために、InetSQL を HTML に埋め込むのではなく 1 つのウィンドウで形成し、HTML には起動および終了のボタンのみを表示するようにした。InetSQL を 1 つのウィンドウで形成することにより、エリアごとに独立したウィンドウを開く必要がなくなり、かつユーザが本体のサイズを自由に変更できるようになった。

SolEditBox クラス InetSQL のメインウィンドウを構成する。Checkbox での標示、非表示を切り替えて再描画する手間を省くため Swing の JSplitPane を使用した。JSplitPane はコンポーネントを分割し管理することができ

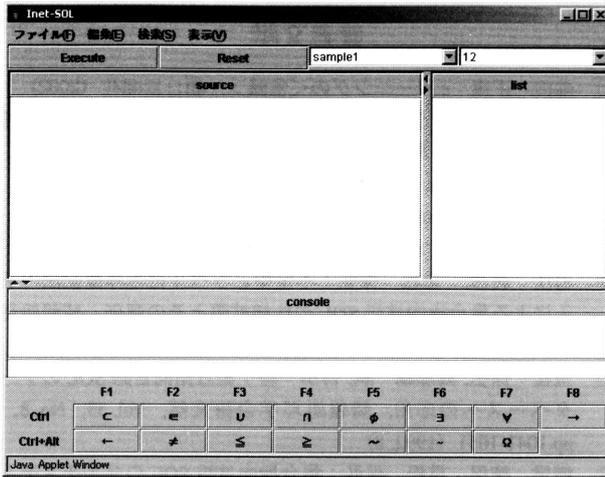


図-11 InetSQL の起動画面

きるコンテナである。JSplitPane を使用することでそれぞれのエリアを表示、非表示を切り替えて再描画することなく、1つのウィンドウでユーザが自由にそれぞれのエリアのサイズを変更できるようになった。また、それぞれのエリアのタイトル部分をクリックすることでそのエリアを全画面表示させることができる。また、その後タイトル部分をクリックすることで元のサイズに戻すことができる。InetSQL の起動画面を図-11に示す。

MyMenuBar クラス InetSQL のメニューを構成する。メニューには「ファイル」、「編集」、「検索」、「表示」がある。「ファイル」メニューには、「開く」と「保存」の項目がある。本来ならばローカルファイルに保存するべきであるが、Java Applet では、セキュリティの関係でローカルファイルへのアクセスはできない。ローカルファイルへのアクセスを可能にするためには、ユーザ個人がポリシーファイルを書き換える必要がある。ポリシーファイルとは、セキュリティチェックの対象となる各操作について、Applet ごとにどの操作を許可するかを設定するためのファイルである。ポリシーファイルを使用することで、自由なセキュリティ設定ができローカルファイルへのアクセスも可能になる。しかし、一般の不特定多数のユーザに対してポリシーファイルを書き換えさせる方法はあまり現実的とはいえない。ここでは CGI を利用して HTTP レスポンスヘッダに Set-Cookie ヘッダを含め保存データをクライアントに送信し Cookie に保存している。「編集」メニューには、「元に戻す」「やり直し」「切り取り」「コピー」「貼り付け」「全て選択」の項目がある。「検索」メニューは「検索/置換」「上を検索」「下を検索」の項目がある。「表示」メニューは「数学記号」の項目がある。「数学記号」を選択すると Symbol クラスで構成されている数学記号ダイアログが開く。にクラスの分割を行いクラスの再利用を容易にした。

表-3 InetSQL のユーザインタフェースを構成するクラス

クラス名	機能	行数
InetSQL.class	InetSQL の起動、終了	29
SolEditBox.class	メインウィンドウ	459
MyMenuBar.class	メニューバー	172
Symbol.class	数学記号ツールボックス	34
Search.class	検索	167

実装結果

改良を行った InetSQL のユーザインタフェースを構成するクラスとそれぞれの機能を表-3 に示す。起動ボタン、ウィンドウ、メニュー、ツールボックス、および検索ダイアログと機能ごとにクラスの分割を行いクラスの再利用を容易にした。

4.3 評価

本節では、SOL 学習支援システムとその他の学習支援システムと比較し、評価を行う。今回は、無料で使用することができる神奈川大学工学部経営工学科情報システム工学研究室の Java e-Learning System (Java 学習支援システム)¹⁰⁾を比較対象とした。

Java e-Learning System Java e-Learning System は神奈川大学工学部経営工学科 助教授 博士 (工学) の内田智史氏の情報システム工学研究室の卒業研究の一環として作成しているもので、「Java プログラミング徹底入門—基礎変—内田智史著」に基づいて作成した、Java プログラミングの入門用のシステムである。研究のための実験システムであるので無料で利用することができる。しかし、テストシステムを利用するにはユーザ登録が必要である。授業には、日本 IBM のホームページ・ビルダー e-ラーニング教材作成エクステンションを使用して作成した動画とスライドを一体化したコンテンツを利用している。

機能の比較

表-4 にシステムの機能比較表を示す。本システムはシステムを利用するユーザ全員がユーザ登録を必要としている。一方、対象のシステムは試験を行うユーザのみがユーザ登録を必要としている。そのため、対象のシステムでは試験のみの学習履歴しか管理することができない。それに対し、本システムは、試験のみでなく授業、練習問題、演習問題、試験など詳細な学習履歴を管理することが可能である。さらに、対象のシステムは学習環境が一方的なビデオ授業のみに対して、本システムは、ビデオ授業はないものの解説、練習問題、演習問題と豊富であり、対話的な学習が可能である。また、プログラ

表-4 システムの機能比較表

機能	SOL 学習支援システム	Java e-Learning System
ユーザ登録	システムを利用するユーザ全員が登録	システムの内テストシステムを利用するユーザのみ登録
授業	HTML による解説 穴埋め問題による練習問題 InetSQL による演習問題	動画とスライドを一体化したコンテンツ(基礎編, 応用編, プログラミング編)
演習	InetSQL	なし
試験	穴埋め問題による試験	選択問題, 穴埋め問題による試験
質問受け付けシステム	なし	簡単なキーワードであればシステムが自動で回答

ミング学習システムとして遠隔実行境の InetSQL を利用した演習が最大の強みである。欠点としては、ユーザからの疑問、質問などへの対応不備が挙げられる。しかし、本システムは、ユーザが自学自習支援を目的としたシステムであるため疑問や質問に対して自動で解答する機能の実装までは考えていない。ただし、質問や疑問に対してユーザ同士で情報交換することで学習効果の向上が期待できるため、掲示板のような機能の実装は必要であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、SOL を広く利用してもらうためにユーザが Web ブラウザのみで学習できる E-Learning による SOL 学習支援システムを開発した。本システムは、アカウント機能によりユーザを区別しているため、学習情報をユーザごとに管理することができる。学習内容は、HTML による解説、穴埋め問題による練習問題、InetSQL による演習が用意されており、それぞれ学習履歴を参照することができる。このように、ユーザにとっても管理者にとっても利便性の高いシステムとなった。また、CGI による穴埋め問題や遠隔実行環境を利用した本システムの手法は SOL に限定されるものではなく、解説や練習問題、および演習のためのコンパイラを変更することで他のプログラミング言語への幅広い応用が期待できる。なお、本システムは <http://www.cs.comp.kyutech.ac.jp/~kenji/mylearning/> にて公開している。

今後の課題としては、本システムを Web 上で公開し、実際にユーザに使用してもらいログファイルから解答傾向を解析し、ユーザが SOL を効果的に学習するためにより良い問題や学習方法を提供することが挙げられる。

参考文献

- (1) 森田 正康：e ラーニングの<常識>，朝日新聞社（2002）
- (2) 海老澤 信一，矢野口 聡：e-learning の現状と可能性，経営論集，第12巻 第1号 2002年133～153項
- (3) Blackboard Japan KK：http://www.blackboard-japan.com/
- (4) GeoLearning Homepage：http://www.geolearning.com/
- (5) Plateau System：http://www.plateau.com/products/training/
- (6) 迫江 義彦，重松 保弘：不定型とラベル付き写像記法の導入による集合指向言語 SOL の仕様拡張とその評価，情報処理学会論文誌，Vol. 38, No. 8, pp.1662-1665（1997）
- (7) 重松 保弘，與那覇 誠，吉田 将：集合指向言語 SOL のデータベースへの応用，情報処理学会論文誌，Vol. 33, No. 8, pp.1041-1051（1992. 8）
- (8) 横尾 徳保，重松 保弘：集合指向言語 SOL のマルチメディアデータへの対応，情報処理学会第31回プログラミング研究会，（2000. 11）。
- (9) 横尾 徳保，重松 保弘：WWW を利用した集合指向言語 SOL 遠隔実行環境の構築，情報処理学会論文誌，Vol. 41, No. 9, pp.2661-2664（2000. 9）
- (10) 重松 保弘：Windows による SOL 入門，（1999）
- (11) Java e-Learning system：http://133.72.82.65/e-learning/index.html