

Adobe Alchemy を用いた Web 上の言語処理系

東山 裕徳^{†1} 香川 考司^{†1}

初めてプログラミングの学習を行う場合に、言語処理系の導入が最初の障害となることがある。Adobe Alchemy を用いて、Web ブラウザ上で動作するプログラミング学習用の言語処理系を実現する研究を行った。Web ブラウザ上で動作させることで、ユーザはインストールの手間なく簡単にプログラミングの学習が可能となる。JVM (Java Virtual Machine) 上に言語処理系を実装する方法も考えられるが、既に C/C++ 言語によって実装されている処理系もあり、これらの処理系を JVM 上に実装することは現実的ではない。そこで、C/C++ 言語で Flash の作成ができる Alchemy を用い、C 言語インタプリタの XCI が動作するシステムの開発を行なった。

A programming environment that runs on Web browsers using Adobe Alchemy

YASUNORI HIGASHIYAMA and KOJI KAGAWA

Installation of a programming environment may be an obstacle to novice learners of programming. We have developed a programming environment for learning that runs on Web browsers so that learners can start learning programming without installation. There are some programming language implementations that run on the JVM (Java Virtual Machine). As for other language implementations written in the C/C++ language, however, it is not realistic to port them to Java or other JVM-based languages. Therefore, we have developed a system that uses Adobe Alchemy in which we can create Flash files with the C/C++ language.

^{†1} 香川大学 工学部
Faculty of Engineering, Kagawa University

1. 背景

初心者がプログラミング学習を行う際に言語処理系の導入の手間が問題となることがある。また、グラフィックスを扱うようなプログラミング学習を行うにはライブラリの導入が必要になる場合があり、実行環境に大きく依存することになる。一般に広く普及している Flash 上で動作する言語処理系を開発することで、Web ブラウザと Flash Plugin の導入だけでプログラミングの学習が可能となり、またグラフィックスを扱うプログラミングの学習も可能となる。

JVM を用いて同様に Web ブラウザ上でプログラミング言語処理系を動作させるシステムはドリトル¹⁾、Pen²⁾ や Wapen³⁾ 等いくつか存在する。しかし、C/C++ 言語で作成された処理系しか存在しない言語もあり、初心者の学習に用いられることも多い C 言語は Java 言語による実装がほとんど存在しない。Alchemy は C/C++ 言語のソースコードを AVM2 (ActionScript Virtual Machine 2) をターゲットとしたコードにコンパイルすることができる。

C 言語の学習では、最初は標準入出力を用いるだけの初心者にとって飽きやすいプログラムの学習が中心となる。Web ブラウザを利用することで、グラフィックスを扱うような初心者が興味を持てるプログラムの実行が可能となると考えられる。

2. 目的

本研究の目的は以下の通りである。

- C/C++ 言語を利用して作成された言語処理系を Flash 上で動作させる
- 標準入出力に相当する機能の実装
- グラフィックス出力機能の実装

C/C++ 言語で処理系を作成する場合には Bison/Flex が同時に用いられる場合が多く、これらのツールが生成したコードを Flash 上で動作させることができるかを初めに調査した。Alchemy は既存の C/C++ 言語で作成された暗号化やマルチメディアのためのライブラリの移植が大きな目的であり、言語処理系の実装が可能であるか、必要な修正があるかも含めて調査を行った。特に学習用途では入出力を多用し、無限ループを含むような間違ったプログラムを実行しなければならない。

グラフィックスの出力機能は、再帰等の繰り返しを利用して模様を描くようなプログラムの実行を想定しており、線の描画のような単純な機能の実装を目的とした。

3. システム概要

本システムは図1のような構成となっている。構文エラーが合った場合もエラーメッセージがHTML上へ出力される。HTML上への出力はJavaScriptが行なっている。Flexにコード文字列を渡す場合に、通常はFILE*から行う読み込みを行う部分を、任意のパッファからの読み込みを行なうよう変更した。

本研究ではXCI⁴⁾というC言語で実装されたC言語インタプリタを利用した。XCIをAlchemyでコンパイルし、Flashのコンポーネントファイルであるswcファイルを作成してこれをActionScriptで記述したFlashファイルから利用した。

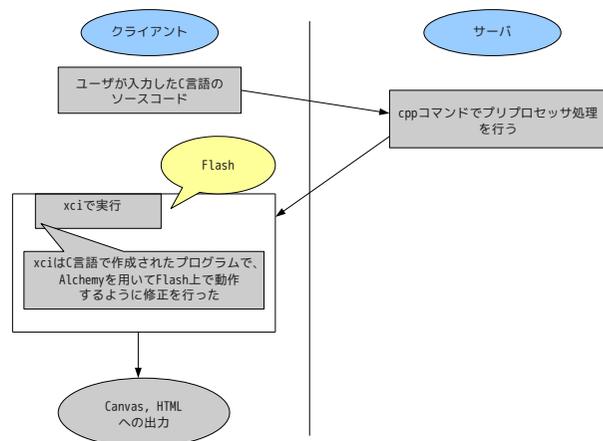


図1 システム概要

当初はFlashのみでコードの入力エリアも実行結果の出力エリアも実装していたが、この方式では以下の問題があった。

- プログラムの実行部分で長時間ループに入った場合Flashが応答しなくなる
- 入力待ちをするダイアログの実装が難しい

前者については、処理系のソースを修正し、実行が進む度に一旦実行ループを抜ける処理を追加することで対処可能だが、その場合は他の処理系の移植時に汎用性がなくなる。そこ

で実行部分のみをFlash内に実装し、結果の出力にはブラウザを用いることとした。後者については、JavaScriptのダイアログであればユーザへの問い合わせなどで実行をブロックすることが可能であり、処理系のコードに大きな修正を加える必要がなくなる。Flashのダイアログは他のGUI実行環境にあるようなユーザの操作を受けるまで実行が停止されるものではないので、入力待ちを行う処理をダイアログを利用して実装することはできない。長時間のループで応答不能になる問題はブラウザを利用した場合でも問題になるが、実行中にユーザへ実行を継続するか問い合わせを行うことが可能となり、ユーザが実行を止めることができる。

3.1 無限ループ対策

無限ループ対策として、ユーザが入力したコードの繰り返し開始部分に自動的に関数呼び出しを挿入し、この関数がループや関数の実行回数を数え、一定数を越えたらユーザに警告する機能を実装した。実行が長時間続いていると図2のような警告が表示される。一度警告を出したが、ユーザが処理の継続を選んだ場合は警告を出力する上限数を2倍にし、警告が出すぎないようにしている。この機能を使用するかどうかをユーザは実行前に選択することが可能である。

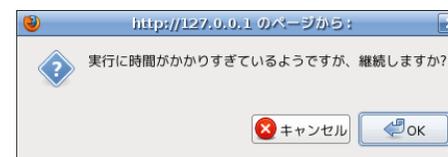


図2 無限ループ警告

「キャンセル」を選択すると実行を停止する。FlashからJavaScriptを呼び出しており、JavaScriptのダイアログである。

3.2 UIと機能

プログラムはHTMLのフォームに入力する。ユーザが入力したコードは一旦サーバに送信し、プリプロセッサ処理を行ってからFlashに渡される。Flash内のXCIにコードが渡され、実行が行われる。HTMLへの文字列の出力はFlashからJavaScriptが呼び出されて行われる。標準入力の代わりにJavaScriptの入力ダイアログを利用しユーザからの数値や文字列の入力を行っている。グラフィックスの出力にはHTMLのCanvasを利用しており、現段階では指定座標間に線を引く機能を実装している。

3.2.1 追加組み込み関数

次の2つの関数を追加し、ユーザが利用できるようにした。どちらの関数も `stdio.h` に定義が追加されているので、`stdio.h` をインクルードするだけで利用できる。

- `draw_line`
- `clear_screen`

`draw_line` 関数は指定された座標間に線を引く関数である。`clear_screen` 関数は文字列出力エリアに出力した文字列を一旦クリアする。対話的に実行するプログラムの場合に出力が多くなりすぎることが考えられるため実装した。

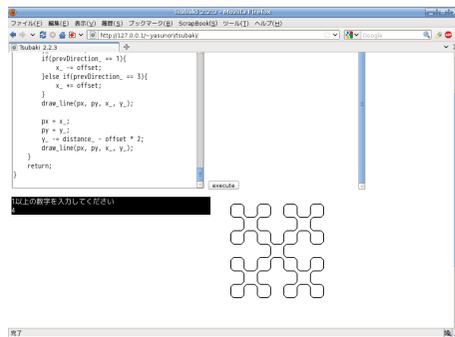


図 3 動作図

図 3 は再帰関数を用いてシェルピンスキー曲線を描画するプログラムの実行例である。画面左側に `printf` 関数等で出力された文字列を表示しており、右側に Canvas を配置し図を描画している。標準出力の出力エリアと Canvas を左右に並べることで実行結果を確認しやすくしている。何も入力しないか、キャンセルボタンを押した場合は実行が停止される。

`scanf` 関数が実行されると図 4 のようなダイアログが表示される。JavaScript のダイアログを利用して入力を受け取っている。入力された文字列と改行を画面左側の文字列出力エリアに表示することでコンソール上での動作に近付けている。`scanf` の後に改行が付くことを前提として次の出力を行う場合が多いので、既存の学習用コードを実行する場合に有効な機能である。

3.3 動作環境

サーバ側は GNU `cpp` コマンドと Perl が動作する必要があり、必要なインクルードファイ

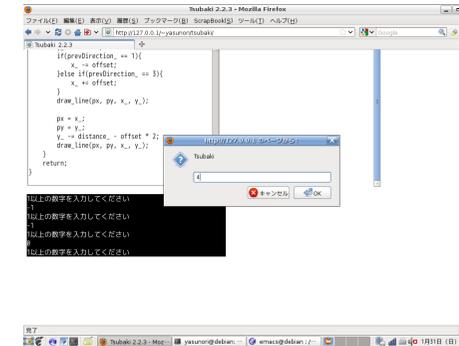


図 4 scanf 関数の実行例

ルを配置しておく必要がある。GNU `cpp` は C コンパイラから呼び出されるプリプロセッサで、これを呼び出して処理するための CGI を Perl で作成した。クライアント側では Flash Player 10 と Firefox 1.5 以降等の Canvas がサポートされたブラウザが必要である。また、JavaScript の実行を許可しておく必要がある。

4. まとめ

今回のシステムでは以下の機能を実装した。

- 無限ループに対する警告機能
- 他の処理系移植にも利用できる入出力関係の JavaScript および ActionScript のコード
無限ループに対する警告機能は前述のようにユーザが入力したコードに関数を追加することで行った。この方式であれば処理系にあまり修正を加えることなく実現可能である。他の C 言語処理系を移植する場合はほぼそのまま利用可能である。

今回のシステムで ActionScript で記述した処理系呼び出しを行う処理や、処理系から呼び出される文字列出力関数は他の処理系を実装する場合にもそのまま利用可能であると考えられる。

4.1 今後の課題

現在のシステムでは以下のような問題が考えられる。

- サーバ側で一部の処理を行うため、クライアントだけで実行できない
- リダイレクト入力に対応する処理が行えない

今回のシステムに利用した XCI は C 言語インタプリタのみで、プリプロセッサは外部のプ

プログラムに依存していたため、サーバでプリプロセス処理を行うことにした。C/C++言語で作成されたプリプロセッサであれば同様の手法でFlash上で動作させることができると考えられるが、インクルードファイルをどのように渡すかが問題となる。文字列としてFlashファイル内に持たせておくことも可能だが、独自のヘッダファイルを利用する場合は対応できなくなる。

入力された文字列を内部で `sscanf` 関数を用いて読み込んでいるので、内部で入力された文字列を保持し、`sscanf` で読み込んだ部分を削除していけばダイレクト入力に近い処理が実現できると考えられる。大量のデータや2次元の表を読み込んで処理するプログラムを学習者が書く場合に必要な機能であると思われる。このような機能が実現できれば、教師が指定したテストデータを学習者が簡単に利用できるようになる。

また、初心者の学習に用いる場合は以下の機能不足が問題となると考えられる。

- グラフィックス出力機能が貧弱である
- ファイル入出力機能がない
- エラーメッセージが不親切

線の描画以外にも円等の基本図形の描画や色の指定機能なども必要であると考えられる。また、コンピュータ上での座標では画面上がY座標の0であり、あまり直感的でない部分があるので、座標系の変換や回転などの機能も必要である。

現在のインクルードファイル同様にサーバに配置すれば、サーバを利用する必要があるという問題はあるが、ファイル入力機能は実現できる。ブラウザ上からローカルにファイルを出力することはできないので、標準出力が出力するブラウザ上の要素とは別に表示すれば擬似的にファイル書き込みプログラムの学習が可能だと考えられる。サーバが必要となるが、そのまま結果をサーバに転送するような拡張も考えられる。

現在は構文エラーはXCIが出力するものをそのままブラウザ上に表示しているが、プログラミング初心者が理解しやすいものではない。ブラウザを利用しているので、構文エラーがあった場合はそのエラーに対応した解説ページを表示するような拡張も考えられる。

このシステムの応用や拡張としては次のようなものが考えられる。

- デバッグのための機能
- 学習用の言語処理系の実装

デバッグのための機能としてはブレークポイント機能やステップ実行機能が考えられる。無限ループ警告機能同様に何らかの関数を追加し、停止した時点でのローカル変数の値などをダイアログで表示すればブレークポイント機能に近い機能が実装できると考えられる。また、

スタックの値をブラウザ上に図と共に表示できればデバッグと同時にプログラムの動作の理解にもつながると考えられる。

今回は学習に多く用いられるC言語処理系の実装を目的としたが、プログラミング初心者のための限定的な言語処理系を作成して実装することも可能である。

謝辞 本研究は科研費 20500836 の支援を受けている

参 考 文 献

- 1) 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井真吾, 久野靖: 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装. 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.SIG11, pp.78-90, 2001.
- 2) 中村 亮太, 西田 知博, 松浦 敏雄: 初学者用プログラミング学習環境 PEN の実装と評価. 情報処理学会論文誌, Vol.48 No.8, pp.65-71, 2005.
- 3) Yusuke Mimoto, Koji Kagawa: A Framework for Web-based Applications for Learning Programming using Eclipse RCP, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-Media 2008), Vienna, Austria, pp.2253-2258, June 2008.
- 4) 権藤克彦, 川島勇人: コンパクトなANSI CインタプリタXCIの設計と実装. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-D-I. No. 3, pp.159-168, 2003.