

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500836

研究課題名(和文) プログラミング教材のWEBアプリケーション化の研究

研究課題名(英文) Development of a WEB Application Framework for Learning Programming

研究代表者

香川 考司 (KAGAWA KOJI)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：50284344

研究成果の概要(和文)：学習者にとって面倒なインストールや設定が不要で、教師にとってカスタマイズの余地が大きいという特徴を持つ、プログラミング学習用 Web ベース教材を作成するための Eclipse RCP に基づくプラットフォーム Wappen を構築した。多数のプログラミング言語に対して参照プラグインを作成し、画像や音声などマルチメディアを題材とするプログラミング学習のためのコンテンツを作成した。さらに、Ajax に基づき、よりユーザーインターフェイスのカスタマイズが容易なプラットフォーム WappenLite を作成し、WebSocket への対応、Web コンテンツの作成とドキュメントの整備を行った。

研究成果の概要(英文)： We have constructed an Eclipse RCP-based framework called Wappen for building Web-based applications for learning programming. Learners do not have to install and configure additional software except Web browsers, while Teachers can easily customize contents. We have also provided reference plug-ins for several programming languages as well as Web contents for learning programming that use multimedia data formats such as images and sounds. Moreover, we have built an Ajax-based equivalent called WappenLite where we can customize user interface more easily and can take advantage of the WebSocket API. We have also provided some sample Web contents and documents for Wappen-Lite.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 2009年度 | 700,000   | 210,000 | 910,000   |
| 2010年度 | 500,000   | 150,000 | 650,000   |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |

研究分野：計算機科学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：eラーニング・プログラミング

## 1. 研究開始当初の背景

オフィススイートやメールリーダーなどでは、どこでもインストール作業なしに気軽に利用できる Web アプリケーションの利用が広がっている。一方、プログラミングの学習

には、実際にプログラムを作成して実行するという行為が不可欠である。研究開始当初の Web アプリケーションは、プログラミングの学習に対しては Web の長所を活かすことができず、例えば言語処理系やライブラリ・例

題・テンプレートなどへのリンクを提供してダウンロードさせる、など限られたサービスを提供するにとどまっていた。

学習者からの問題点は、プログラミングの学習を開始するためのハードルが高いことである。処理系のインストールや設定・コンパイルなど、多くの Web ブラウザーの外での作業が必要となり、Web ブラウザーだけで完結するアプリケーションに比べて余分の手間がかかっていた。

一方、教師側からの問題点として、他の教師が作成した教材を再利用しにくいことが挙げられる。当時もプログラミング言語の学習を支援するためのツールは、数多く作成されていた。しかし、大部分は単層のアプリケーションとして作成されており、個々の教師がカスタマイズを加えることは難しかった。教師は、自分の教え方に適合しない教材や使用法の説明に時間をとられる教材は使用しにくいいため、教材にはカスタマイズの余地が大きいことが重要となる。

## 2. 研究の目的

本研究は、学習者にとって面倒なインストールや設定が不要で、教師にとってカスタマイズの余地が大きい、プログラミングの学習用途の Web ベース教材を作成するためのプラットフォームを提供することを目的とする。

## 3. 研究の方法

まず、Eclipse RCP に基づき Web リッチクライアントとして動作するアプリケーションフレームワーク Wappen を作成した。Wappen は **Web-based Application framework for Programming Paradigms Enlightenment** の acronym である。研究開始当初、Wappen の基となるシステムは Java 言語のみに対応していた。そこでこのシステムを多言語対応とするためのライブラリやツール群を構築した。この際、JFlex という Java 仮想機械上の字句解析生成系を利用して、Bison/Flex など字句解析が単純ではない言語用のエディタープラグインを構築した。

この Wappen に基づく Web アプリケーションを、コンパイラーやプログラミング言語論に関する、研究代表者の担当する演習で使用した。

そこで得られた教師側・学生側のフィードバックから、Ajax や Adobe Flash など、通常の Web ブラウザーをユーザーインターフェイス (UI) として使用するプラットフォームが必要という結論に至り、新しい Web アプリケーションフレームワーク WappenLite を設

計・実装した。また、Web アプリケーションの利点を活かして、教師を支援するためのサーバー側のシステムの実験的実装を行った。

この WappenLite および従来型の Wappen を使い分けて、それぞれの特長を生かした Web コンテンツを作成した。また、他の教育者がフレームワークを利用できるようにするため、ドキュメントの整備を行った。

## 4. 研究成果

平成 20 年度は、Eclipse RCP に基づく Web アプリケーションフレームワーク Wappen を多言語に対応させるためのプラットフォーム構築を行った。

Wappen は Web ベースなので、可搬性のためにプログラミング言語処理系は、主に Java 仮想機械で動作するものを利用する。このような言語処理系は多く知られている。表 1 に、現時点で Wappen が対応しているプログラミング言語を挙げる。これらは、Java 仮想機械をターゲットとするコンパイラー方式、Java 仮想機械上で実行されるインタプリター方式、ネットワーク経由で遠隔ホストのネイティブなインタプリターを利用する方式など、さまざまな実行方式の言語処理系を含んでおり、Wappen の利用者の教師が、これらのプラグインのいずれかを参考にすれば、容易に新しい言語処理系に対するプラグインを実装することができると思われる。

| 言語          | 備考                |
|-------------|-------------------|
| Haskell     | GHCi (SSH 経由) 使用  |
| Scheme      | SISC Scheme 使用    |
| Prolog      | tuProlog 使用       |
| C           | NestedVM 使用       |
| JavaScript  | Web ブラウザー内の処理系使用  |
| Java        | Eclipse のコンパイラー使用 |
| 同 (Servlet) | Jetty 使用          |
| Oolong      | JVM 用のアセンブリ言語     |
| Flex        | C 言語用字句解析器生成系     |
| Bison       | C 言語用構文解析器生成系     |
| JFlex       | Java 用字句解析器生成系    |
| Jacc        | Java 用構文解析器生成系    |

表 1: Wappen 提供プラグイン一覧

一方、エディターの機能については処理系とのインターフェイスと独立に提供する必要はある。一般的な言語のキーワードの色分け程度ならば提供は難しくないが、Bison や Flex のように字句規則の複雑な言語や、通常

の言語でも構文解析が必要となるアウトライン表示のような機能について実装は容易ではない。例えば Eclipse に標準の Java や C 言語用のエディタープラグインでは、独自の構文解析生成系や手書きの構文解析ルーチンを用いているので、Java や C 以外の言語に対応させることはできない。

そこで、JFlex という Java 用の字句解析器生成系を利用して、Bison/Flex 用のエディタープラグインを構築した。このプラグインを参考にすれば、字句規則の複雑な新しい言語に対しても教師がプラグインを提供することが可能であると考えられる。図 1 に Wappen for Bison/Flex のスクリーンショットを挙げる。

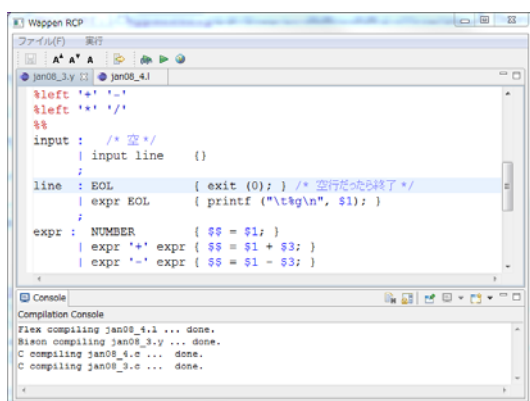


図 1: Wappen for Bison/Flex のスクリーンショット

平成 21 年度は、従来の Eclipse RCP に基づくフレームワークでは、ライブラリに機種依存性があるため、アプリケーションの配備が難しく、Eclipse API を使用するためプラグインの作成が難しいことが明らかになり、一般への普及の困難が予想された。特に UI のカスタマイズが難しいことが、教育上大きな制限となることが予想された。そこで、Ajax や Adobe Flex などの技術を利用できる UI のフレームワークの構築を行った。従来の Wappen の利点を継承し、プログラミング言語処理系に依存する部分と依存しない部分を分離して、さまざまプログラミング言語処理系に対応が容易な新フレームワークとして設計した。図 2 に WappenLite のアーキテクチャーを挙げる。この新フレームワークでは、通常の Java サーブレットとしてアプリケーションを作成することができる。また、機種に依存する部分を持たないため配備の手間が小さく、教師は通常の HTML/Flash などでフロントエンド (UI) を提供することができる。このため UI を教材の使われるコンテキストにあわせてカスタマイズすることが

容易になる。言語処理系を含むバックエンドは通常各クライアント PC で実行されるため、負荷分散やセキュリティの確保も可能にしている。一方でバックエンドをサーバーマシンで実行することも可能で、将来的にタブレットのような超軽量のクライアントに対応することも可能となっている。WappenLite についても表 1 に挙げる言語のほとんどに対して、参照プラグインを用意している。図 3 に WappenLite アプリケーションのスクリーンショットを挙げる。

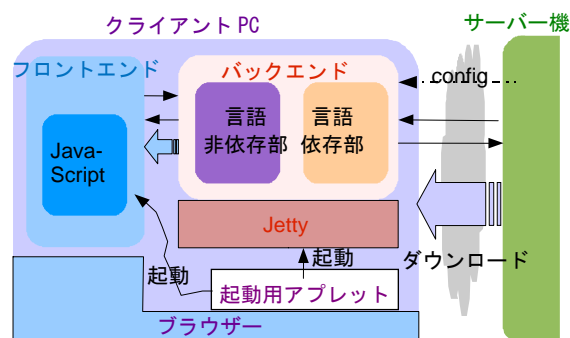


図 2: WappenLite のアーキテクチャー

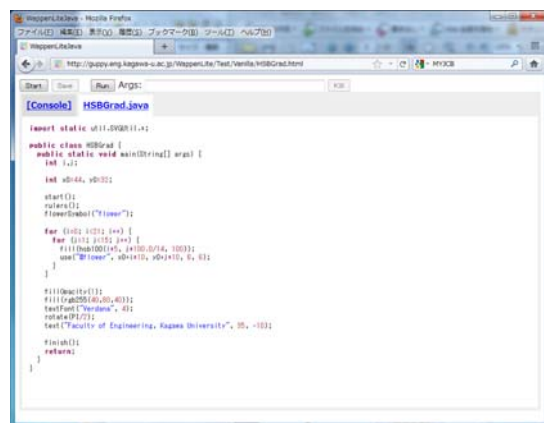


図 3: WappenLite のスクリーンショット

また、Web アプリケーションの利点を活かして教師を支援するためのサーバー側システムの実験的実装を行った。このサーバー側システムは自動採点や採点支援などの処理を教師がスクリプト言語によりカスタマイズ可能とすることを目的とした。ただし、サーバーサイド JavaScript を用いた現在の実装では、百人程度の受講生を持つ演習では十分な速度が得られないことが判明したため、効率の良いアーキテクチャーの設計と構築が今後の課題として残っている。

平成 22 年度は、平成 21 年度の研究で開発した新しい Web アプリケーションフレームワーク WappenLite の WebSocket 対応とフロン

トエンド (UI) 側ライブラリの作成、Web コンテンツの作成とドキュメントの整備を行った。

従来の WappenLite はバックエンド (Web サーバー) からフロントエンドへの Push 型の通信に Comet と呼ばれる技術を用いていたが、通信のオーバーヘッドが大きく、エラーが起こったときの処理の記述が煩雑で、フロントエンド側のスクリプトのモジュール化が難しいという欠点があった。しかし、バックエンド側で学習者の作成したプログラムを実行する WappenLite のアーキテクチャー上、プログラムの出力を取得するために Push 型の通信は必要不可欠である。そこで、HTML5 関連技術の一つである WebSocket を用いて通信が行えるよう WappenLite の拡張を行った。これにより unnecessary 通信が減るとともに、エラー処理が単純化された。

また、教育者が容易に WappenLite 用コンテンツを作成できるように、WappenLite バックエンドと通信するための JavaScript (HTML 用) と ActionScript (Adobe Flash 用) によるフロントエンド側ライブラリを作成した。同時にこれらのライブラリの使用例を示す参照フロントエンドも作成した。これを基にカスタマイズすれば、教師が独自の工夫を加えたコンテンツを学習者に提供することが可能になる。

さらに高性能なフロントエンドの例として、Adobe Flash を用いて Scratch 風のブロック (タイル) によるプログラミングが可能な UI を持つフロントエンド、マルチタッチ (複数の指を同時使用する入力方式) を利用してプログラムで生成されたグラフィックス作品を操作できるフロントエンド、AMF と呼ばれるフォーマットを用いてバックエンド側に用意された構文解析プログラムと通信するフロントエンドなど、初心者向けのフロントエンドに今後必要と思われるさまざまな技術を用いたバリエーションを試作した。図 4 に初心者向けの WappenLite の Flash による代替フロントエンドの一例のスクリーンショットを挙げる。例えばこのフロントエンドでは色名や特殊文字などを、初心者には難しい数値による指定ではなく、GUI で選択して挿入することができる。このようなフロントエンドを発展させれば、プログラミングの学習の際に起こるさまざまな障壁にきめ細かく対応できるコンテンツを教師が提供することが可能になると考えられる。また、将来的にはタブレット、電子書籍などの端末でのプログラミング学習にも対応できると考えられる。

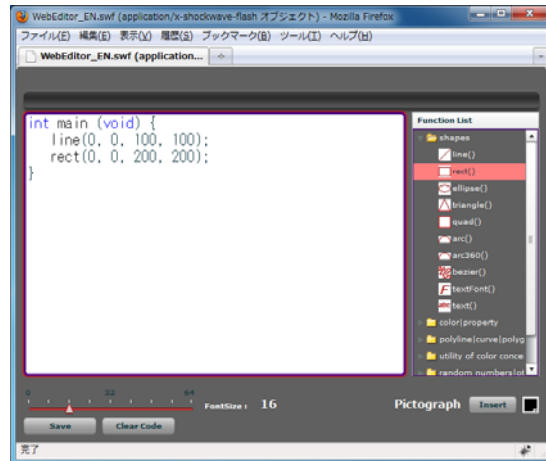


図 4: WappenLite の代替フロントエンドのスクリーンショット

また、プログラムが Web ブラウザーから実行されて、Web ブラウザーに結果を表示するという特徴を活かして、Web で使用されるファイル形式である SVG や SWF, PNG などの画像・アニメーション形式、WAV などの音声形式を生成する簡易ライブラリをいくつかの言語で作成した。このようなライブラリを利用すれば、マイナーで標準ライブラリがそれほど豊富でない言語でも、学習者の興味を惹く例題を考案したり、問題を出題したりすることが可能になる。

最後にフレームワークの普及のため、既存のコンテンツを自分の Web サイトに配備するライトユーザ向け・フロントエンドに工夫を加える教育者向け・新しいプログラミング言語に対応するバックエンドを開発する開発者向けに WappenLite に関するドキュメントを整備した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Koji Kagawa, “WappenLite: a Web Application Framework for Lightweight Programming Environments”, 9th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 2010), 査読有、pp. 21-26, 2010
- ② Zhe Chen and Koji Kagawa, “WappenLite and its Flash-based User Interface for Novice Learners”, The 2010 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA 2010), 査読有、pp. 840-845, 2010
- ③ Koji Kagawa, “A Web-based Application

Framework for Programming and Its Practice in Classes”, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2009), 査読有、pp. 3395-3403, 2009

- ④ Yusuke Mimoto and Koji Kagawa, “A Framework for Web-based Applications for Learning Programming using Eclipse RCP”, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2009), 査読有、pp. 2253 -2258

[学会発表] (計 13 件)

- ① 栗島聖大、香川考司、 “HTML5 を用いたリアルタイム性のある Web ベースの教育支援システムの開発”、情報処理学会第 108 回コンピュータと教育研究発表会、2011 年 2 月 5 日、東京農工大学小金井キャンパス
- ② 中山和也、香川考司、 “AMF を利用したプログラミング学習支援システム”、教育システム情報学会 2010 年度第 3 回研究会、2010 年 9 月 4 日、香川大学幸町キャンパス
- ③ 空田 卓也、香川考司、 “Adobe Flex によるグラフィカルなプログラミング学習支援環境”、教育システム情報学会 2010 年度第 3 回研究会、2010 年 9 月 4 日、香川大学幸町キャンパス
- ④ 東山裕徳、香川考司、 “Adobe Alchemy を用いた Web 上の言語処理系”、情報処理学会第 103 回コンピュータと教育研究発表会 (CE103)、2010 年 3 月 6 日、筑波大学東京キャンパス大塚地区
- ⑤ 三嶋宏資、香川考司、 “プログラミング学習に対応したサーバサイドファイル管理システムの設計”、教育システム情報学会第 34 回全国大会 (JSiSE2009)、2009 年 8 月 20 日、名古屋大学東山キャンパス
- ⑥ 松井一貴、香川考司、 “Graphviz を用いたプログラミング学習支援システム”、教育システム情報学会第 34 回全国大会 (JSiSE2009)、2009 年 8 月 20 日、名古屋大学東山キャンパス
- ⑦ 陳哲、香川考司、 “Adobe Flex によるプログラミング学習支援環境の構想”、教育システム情報学会第 34 回全国大会 (JSiSE2009)、2009 年 8 月 20 日、名古屋大学東山キャンパス
- ⑧ Koji Kagawa, “Wappen for Bison/Flex: A Web-based Application for Compiler Construction Exercises”, 14th ACM-SIGCSE Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science

Education (ITiCSE 2009), ポスター発表、2009 年 7 月 7 日、Université Pierre et Marie Curie, Paris, France

- ⑨ 近藤貴司、香川考司、 “Papervision3D によるプログラム動作可視化システム”、ゲーム学会「ゲームと教育」研究部会第 2 回研究会、2009 年 3 月 19 日、香川大学幸町キャンパス
- ⑩ Koji Kagawa, “WAPPEN: A Web-based Application Framework for Learning Programming”, The 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE 2009), ポスター発表、2009 年 3 月 6 日、Chattanooga, TN, USA
- ⑪ 國信真吾、富永浩之、林敏浩、 “記入式 Web 試験における C プログラム読解問題のオーサリングツールの開発”、教育システム情報学会第 33 回全国大会 (JSiSE 2008)、2008 年 9 月 4 日、熊本大学工学部キャンパス
- ⑫ 川ノ上真進、香川考司、 “Ajax によるプログラミング学習用エディタの実装”、教育システム情報学会第 33 回全国大会 (JSiSE 2008)、2008 年 9 月 4 日、熊本大学工学部キャンパス
- ⑬ 山下潔、香川考司、 “学習者に合わせて構文レベルを選択できるプログラミング学習支援環境の提案”、教育システム情報学会第 33 回全国大会 (JSiSE 2008)、2008 年 9 月 4 日、熊本大学工学部キャンパス

[その他]

ホームページ等

<http://guppy.eng.kagawa-u.ac.jp/Wappen/>

<http://guppy.eng.kagawa-u.ac.jp/WappenLite/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

香川 考司 (KAGAWA KOJI)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号：50284344

### (2) 研究分担者

富永 浩之 (TOMINAGA HIROYUKI)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号：80253251