

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01061

研究課題名(和文) 数式処理とネットワークを対象にした教材開発支援ライブラリ

研究課題名(英文) Teaching material development kit for computer algebra and computer network

研究代表者

白石 啓一 (Shiraishi, Keiichi)

香川高等専門学校・通信ネットワーク工学科・准教授

研究者番号：80321503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：数式処理とネットワークを対象にした学習コンテンツ開発ライブラリの開発を目的に、以下の(1)~(2)を進めた。

(1)数式処理ライブラリの開発：ウェブブラウザ上で数式処理システムを動作させるため、C言語プログラムをJavaScript言語プログラムへ変換するEmscripten処理系の整備，MAXIMA推奨LISP処理系のコンパイル試験を実施した。

(2)ネットワーク構築演習ソフトウェアの開発：ネットワークシミュレータIMUNES改良に向けて，IMUNESに適合させたネットワーク構築演習問題作成，IMUNES改良ポイントの調査，IMUNES設定ファイルの自動変更プログラムの試作を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ICTを用いた学習e-Learningについて，クライアントであるウェブブラウザ側にも数式処理機能を提供し，学習管理システム(LMS)で配布する教材のインタラクティブ性に，数式におけるパラメータ変更やグラフ化など，数式処理機能を加える。不足していると言われるIT人材，特にネットワーク技術者，情報セキュリティ技術者の養成を助けるため，無料で入手できるネットワークシミュレータIMUNES用のネットワーク構築演習を作成し，提供する。演習しやすくするためのIMUNESの改良を行う。

研究成果の概要(英文)：To develop a teaching material development kit for computer algebra and computer network, we proceed the following.

(1) Teaching material development kit for computer algebra: Emscripten was installed to translate C language program to JavaScript program, to run a computer algebra system on a web browser. We try to translate a LISP language processor written in C language for computer algebra system MAXIMA.

(2) Teaching material development kit for computer network: We made exercises to set up routers with the network simulator IMUNES. We looked through the IMUNES source codes to improve it. We try to make a program to change an IMUNES configuration file automatically.

研究分野：情報工学

キーワード：数式処理 ウェブブラウザ LISP ネットワーク構築演習 ネットワークシミュレータ ネットワーク
仮想化 計算機仮想化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

LMS を用いて、自動採点できる課題を作るとともに、知識だけでなく実践を伴う教材を作成できないかと考えていた。数式処理システムとネットワーク構築の 2 種類で実現できるのではないかとこの着想に至った。

ICT を用いた学習である e-Learning では、学習者に対して教材や問題を配布したり、学習者のレポートや答案を回収するシステムを学習管理システム(LMS)と呼ぶ。現在、LMS には、WWW ベースのシステムが多く、一般的な LMS は、HTML の範囲で教材などを表示でき、多肢選択式問題や単語入力問題などを、自動採点できる。数学、物理、工学系科目の多くの教材は、数式やグラフを含んでいるので、LMS でも数式やグラフが使えれば、便利である。単に、数式やグラフを、あらかじめ画像ファイルに保存しておくなら、一般的な LMS で十分である。一方、Maple T.A. や STACK など、数式処理システムを応用した LMS は、(1)数式は、HTML で表現できる範囲で表示できる、(2)グラフの画像ファイルを作っておかなくても、システムが生成するので、教材上、数式を入力しておくだけでよい、(3)特殊な入力方法が必要なが、学習者が解答として数式を入力でき、システムで正誤判定できる、などの数式処理機能を持つ。我々は、さらに、クライアントであるウェブブラウザ側にも数式処理機能を提供したいと考えている。数式処理機能により、LMS で配布する教材のインタラクティブ性に、数式におけるパラメータ変更やグラフ化など、数式処理機能を加えることができる。数式処理機能は、HTML と JavaScript により実装する。

数式処理機能の実現には、数式処理システム MAXIMA を利用する。MAXIMA は、Common LISP で書かれているので、Common LISP 処理系をウェブブラウザ上に実装できれば、動作させることができる。Common LISP 処理系は、平成 23-25 年度の三谷君の卒業研究、特別研究の成果、引用文献により、骨格ができており、不足部分の実装を続けている。MAXIMA は、グラフ描画ツール GNUPLOT を必要としており、GNUPLOT-JS(<https://github.com/chhu/gnuplot-JS>)を利用できる(図 1)。

上記に述べた、インタラクティブ教材の単体利用も検討している。平成 23-25 年度の東君の卒業研究、特別研究の成果、引用文献では、英語を対象とした教材であるが、HTML5、JavaScript を用いて実装したインタラクティブ教材を PhoneGap (<http://phonegap.com/>)、および、iOS/Android 用開発環境によりアプリ化し、Apple 社製 iPad、および、東芝製 Android 端末で動作させている。また、平成 26 年度、住吉君の卒業研究の成果では、GNUPLOT-JS を VisualStudio によりアプリ化し、Microsoft 社製 WindowsRT 端末 SurfaceRT で動作させている(図 2)。

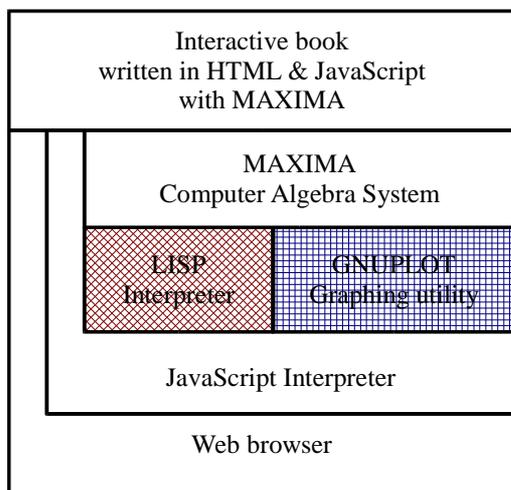


図 1: 数式処理システムの構成

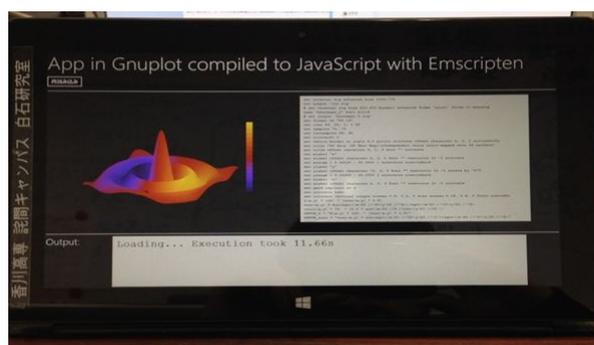


図 2: WindowsRT 端末上の GNUPLOT-JS

上記、GNUPLOT-JS は、C/C++言語プログラムを JavaScript 言語プログラムへ変換するソフトウェア Emscripten(<http://emscripten.org/>)により C 言語版 GNUPLOT を変換し、HTML によりユーザインタフェースを加えられている。したがって、Common LISP 処理系も、C/C++言語で書かれた処理系を Emscripten で変換することにより、ウェブブラウザ上で動作する可能性がある。それにより、数式処理機能のウェブブラウザへの実装を早期に実現できると考えられる。その一方で、変換によるオーバーヘッドも考えられるので、現在実装中の Common LISP 処理系の方が高速に、少ないメモリ使用量で動作する可能性もある。どちらが良いか、比較すべきと考えている。

数式処理機能をライブラリ化できたら、コンピュータネットワーク教材への応用を考えている。コンピュータネットワークは、暗号理論や待ち行列理論にも関連し、数式処理機能を活用できると考えられるからである。それに加え、ネットワーク構築演習も非常に重要であるので、WWW ベースの教材作成を行いたいが、開発期間が長期化を避けるために、WWW ベースの教材作成の前段階として、単体のネットワーク構築演習ソフトウェアと LMS の間で、演習結果をやりとりする

通信ライブラリを開発したい。LMS から配布された教材，および，ネットワーク構築演習ソフトウェアに通信ライブラリを組み込み，必要に応じて，両者の通信ライブラリが通信し，教材が LMS サーバへ演習結果を送る。教材は，演習課題を学習者に示し，学習者がネットワーク構築演習ソフトウェアを操作する。ネットワーク構築演習ソフトウェアとして IMUNES(<http://imunes.net/>)を検討している。

平成 28 年度，短期留学生ラファエル君，松永君の卒業研究の成果により，IMUNES には，シリアルポートがない，ネットマスクを/24 のようにプレフィクス表現するなどの違いはあるが，ネットワーク業界で標準とされている Cisco 社製ルータとほぼ同様の使い方でネットワーク構築演習を実施できることが分かり，他のソフトウェアで実施していた演習を IMUNES に適合するよう修正した。

IMUNES は，OS の軽量仮想化機構と仮想ネットワークスタック機構を利用しているので，Emscripten による変換は困難である。そこで，IMUNES は，ウェブブラウザの外部で単体のソフトウェアとして動作させ，演習結果をウェブブラウザ越しに LMS へ送信する。Emscripten を使えば，C/C++言語で書かれたライブラリと JavaScript で書かれたライブラリを相互に呼び出すことができるので，上記の方法を用いれば，開発のしきいは下がると考えられる。さらに，IMUNES が OS の軽量仮想化機構を使用していることは，IMUNES 上でシミュレートしたホスト上に，ウェブサーバなどの各種サーバソフトウェアをインストールし，サーバソフトウェア管理演習やセキュリティ設定演習などを実施するなどの応用も考えられる。

以上のとおり，Emscripten や PhoneGap を利用した数式処理機能のライブラリ化，通信ライブラリ開発により，数式処理とネットワークを対象にした学習コンテンツ開発支援ライブラリを開発したい。

なお，以上に挙げたソフトウェア MAXIMA，GNUPLOT，Emscripten，IMUNES は，オープンソースソフトウェアであり，ソースコードを自由に取得，改変，再配布できる。現在，PhoneGap は Adobe 社の製品であるが，オープンソースソフトウェアライセンスで利用でき，Apache Cordova という互換オープンソースソフトウェアも利用できる。

2．研究の目的

本研究の目的は，数式処理とネットワークを対象にした学習コンテンツ開発支援ライブラリを開発することである。ICT を用いた学習である e-Learning は，現在，WWW ベースのシステムが多いので，WWW ベースの学習コンテンツを対象とする。JavaScript で数式処理システムを開発することにより，ウェブブラウザ上で数値計算だけでなく記号的な数式処理ができる。開発した数式処理システムのライブラリ化により，数式が現れる理工系の科目に合った学習コンテンツ開発を支援する。また，単体のネットワーク構築演習ソフトウェアと演習結果をやりとりする通信ライブラリを JavaScript で開発することにより，演習結果を e-Learning サーバへ送信できる。サーバ側のソフトウェアは，POSIX 準拠コマンドを主体に作成することにより，OS を選ばないものを目指す。

3．研究の方法

- (1) 数式処理ライブラリ開発：ウェブブラウザ上で数式処理システムを動作させるため，以下を実施する。
 - C 言語プログラムを JavaScript 言語プログラムへ変換する Emscripten 処理系を整備する。
 - Emscripten 処理系により，MAXIMA 推奨 LISP 処理系を JavaScript プログラムへ変換する。
 - LISP-C 言語トランスレータ機能を用いるため，LISP 処理系として ECL を使い，MAXIMA を C 言語プログラムへ変換する。さらに，Emscripten により，JavaScript プログラムへ変換する。
 - GNUPLOT-JS，LISP 処理系，MAXIMA を合わせ，ウェブブラウザ上で数式処理システム MAXIMA を動作させる。
- (2) ネットワーク構築演習ソフトウェアの開発：ネットワークシミュレータ IMUNES 改良に向けて，以下を実施する。
 - IMUNES に適合させたネットワーク構築演習問題とオリジナルの IMUNES を使い，授業中の演習に使う。
 - 演習後，アンケートを実施し，結果を評価し，演習問題を改良する。
 - IMUNES を改良する。
- (3) 通信ライブラリ開発：クライアント-サーバ間の通信を問題文中へ埋め込むため，以下を実施する。
 - LMS (サーバ側)の問題作成，および，通信方法について調査する。
 - IMUNES (クライアント側)の通信方法について調査する。
 - クライアント-サーバ間の通信を確立する。
- (4) 各種演習教材開発：ネットワークに関し，サーバソフトウェア管理演習，セキュリティ設定

演習の教材開発を行う。

4. 研究成果

- (1) 数式処理ライブラリの開発：ウェブブラウザ上で数式処理システムを動作させるため、以下を実施した（引用文献 ）。
C 言語プログラムを JavaScript 言語プログラムへ変換する Emscripten 処理系を整備した。Emscripten は、依存するソフトウェアのバージョンに厳しく、OS として Ubuntu の使用が最良であることが分かった。
Emscripten 処理系により、MAXIMA 推奨 LISP 処理系を JavaScript プログラムへ変換を試みたが、依存するライブラリの考慮が必要で、動作させられていない。
LISP-C 言語トランスレータ機能を用いるため、LISP 処理系として ECL を用い、簡単な LISP プログラムを C 言語プログラムへ変換した。LISP-C 言語トランスレータが出力する C 言語プログラムは、ECL のライブラリに依存するため、変換対象の網羅を進めている。
- (2) ネットワーク構築演習ソフトウェアの開発：ネットワークシミュレータ IMUNES 改良に向けて、以下を実施した（引用文献 ）。
IMUNES に適合させたネットワーク構築演習問題とオリジナルの IMUNES を使い、授業中の演習に使った。
演習後、アンケートを実施し（図 3）、結果を評価し、演習問題を改良した。演習問題の改良点は、IMUNES の演習結果のコピー方法を補足したことである。

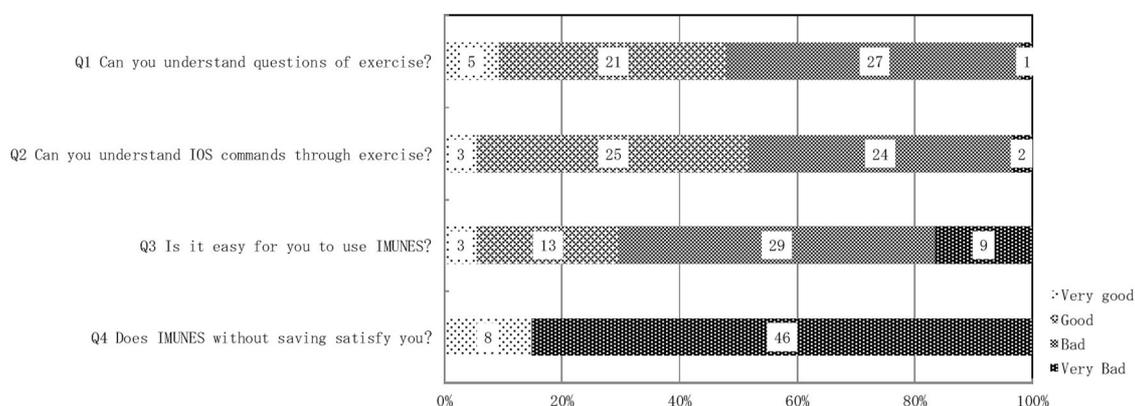


図 3：学生による IMUNES を用いたネットワーク構築演習の評価（N=54）

IMUNES の改良を目指し、setOperMode 手続き、および、deployCfg 手続きの内容を読み進めた。ダイナミックルーティングの演習実施に向けて、IMUNES 設定ファイルの自動変更プログラムを試作した。

- (3) 通信ライブラリの開発：クライアント-サーバ間の通信を問題文中へ埋め込むため、以下を実施した（令和元年度の宮武君の卒業研究）。
LMS（サーバ側）の問題作成について調査した。
- (4) 各種演習教材開発：ネットワークに関し、サーバソフトウェア管理演習、セキュリティ設定演習の教材開発について、以下を実施した（引用文献 ）。
IMUNES に付属している DRDoS 攻撃の設定ファイルを使い、デモンストレーション用演習書を作成した。

< 引用文献 >

三谷 廣嗣, 白石 啓一, “e-Learning 用 Common Lisp 処理系の実装 - スペシャル変数とレキシカルスコープ - ”, 電子情報通信学会技術研究報告, 112(500), 査読なし, 91-94(2013)

東 勝也, 白石 啓一, “タブレット端末を活用した英語教材作成システムの開発 - JSON フォーマットと CSV フォーマット - ”, 電子情報通信学会技術研究報告, 112(500), 査読なし, 157-159(2013)

福岡 伸治, ウェブブラウザへの数式処理システムの実装, 平成 29 年度卒業研究論文, 香川高等専門学校通信ネットワーク工学科(2018)

福岡 伸治, ECL の C 言語トランスレータ機能を用いた JavaScript 言語への変換に関する調査, 令和元年度特別研究論文, 香川高等専門学校専攻科電子情報通信工学専攻(2020)

松野 哲也, Emscripten の CentOS 上での運用, 令和元年度卒業研究論文, 香川高等専門学校通信ネットワーク工学科(2020)

松永 統真, 白石 啓一, 高城 秀之: ネットワーク構築演習改良のための IMUNES の構造の調査, 平成 29 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, p.180(2017)

松永 統真, 白石 啓一, 高城 秀之, 糸川 一也, 村上 幸一: ネットワーク構築演習の作成と改良 - 構造調査とアンケートによる評価 -, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.469, pp.137-142(2018)

松永 統真, 白石 啓一, 高城 秀之, 糸川 一也, 村上 幸一: ネットワークシミュレータ IMUNES の動作に関する調査, 平成 30 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, p.199(2018)

白石 啓一, 松永 統真: FreeBSD ベースのネットワークシミュレータ IMUNES を用いたネットワーク構築演習, オープンソースカンファレンス 2018Kagawa(2018)

白石 啓一, 松永 統真, 高城 秀之, 糸川 一也, 村上 幸一: IMUNES を用いたネットワーク構築演習の改良(2018 年版), 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), 139(10), pp.1140--1145, 電気学会(2019)

白石 啓一: FreeBSD ベースのネットワークシミュレータ IMUNES のご紹介, オープンソースカンファレンス 2019Tokushima(2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松永 統真, 白石 啓一, 高城 秀之, 糸川 一也, 村上 幸一	4. 巻 なし
2. 論文標題 ネットワークシミュレータIMUNESの動作に関する調査	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 平成30年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松永 統真, 白石 啓一, 高城 秀之	4. 巻 なし
2. 論文標題 ネットワーク構築演習改良のためのIMUNESの構造の調査	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 平成29年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松永 統真, 白石 啓一, 高城 秀之, 糸川 一也, 村上 幸一	4. 巻 117
2. 論文標題 ネットワーク構築演習の作成と改良 - 構造調査とアンケートによる評価 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 137-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 白石 啓一, 松永 統真, 高城 秀之, 糸川 一也, 村上 幸一	4. 巻 139
2. 論文標題 IMUNESを用いたネットワーク構築演習の改良 (2018年版)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 1140 ~ 1145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.1140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

白石 啓一, 松永 統真: FreeBSDベースのネットワークシミュレータIMUNESを用いたネットワーク構築演習, オープンソースカンファレンス2018Kagawa(2018) (展示)
白石 啓一: 香川高等専門学校における情報セキュリティ対策とDDoSを体験できるネットワークシミュレータのご紹介, 香川県サイバーセキュリティ連絡ネットワーク会議(2019) (講演)
白石 啓一: FreeBSDベースのネットワークシミュレータIMUNESのご紹介, オープンソースカンファレンス2019Tokushima(2019) (展示, 講演)

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	高城 秀之 (Takajo Hideyuki) (30261118)	香川高等専門学校・通信ネットワーク工学科・准教授 (56203)	
研究 分担者	桑川 一也 (Kumekawa Kazuya) (30313430)	香川高等専門学校・通信ネットワーク工学科・准教授 (56203)	
研究 分担者	村上 幸一 (Murakami Yukikazu) (40370035)	香川高等専門学校・電気情報工学科・准教授 (56203)	