

大学における情報数理系科目のインタラクティブ教材の試作とその評価

石田 崇・小林 学

抄録

本研究では、大学の情報数理系科目を対象としたインタラクティブな電子教材の試作を行い、学生への効果に対する検証を行った。この教材は、主に学生が自学自習用に利用することを想定し、学生の入力に応じて対話的に結果が表示されるインタラクティブ性を持つものである。また、試作の際には、できるだけ一般的な環境で教材作成が可能なことや、オフライン性を持ち、マルチプラットフォームで動作可能なことも考慮した。本試作教材を実際に大学の授業で利用し、学生の特性に応じて本教材が及ぼす効果にどのような違いがあるかについて評価を行った。その結果、本教材は学習内容の理解が不十分な学生に対する補助教材として有用であるとの示唆を得た。

◎Key Words 電子教材, 電子教科書, 大学教育, 教材開発, 反転授業, 自学自習

Development and evaluation of prototype interactive educational materials for a class of information science in a university

Takashi Ishida and Manabu Kobayashi

Abstract

In this study, we made a development of prototype electronic educational materials with interactivity for a class of information science in a university and their effectiveness on students was evaluated. These materials are assumed to be used for self-learning and designed so that contents are interactively displayed according to inputs by the students. Additionally, in the trial production, it was made into consideration that the developing tools are as usual as possible, and these materials can be used in off-line environment and they work correctly on several types of devices and OS. The materials were actually used in a class in a university, and the difference of effect which arises with a student's characteristic was verified. It was suggested, as a result, that the materials are useful for the students with insufficient understanding of learning.

Keywords: e-learning material, electronic textbook, university education, teaching-materials development, flipped classroom, self-learning

連絡先: ishida@it.mgmt.waseda.ac.jp

Contact to: ishida@it.mgmt.waseda.ac.jp

1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末の爆発的な普及に伴い、電子書籍が利用される場面も今後急速に拡大するとみられている[1]。また、教育分野での教科書や教材の電子化も世界的に進められており、日本でも今後急速に普及することが予想されている[1]-[3]。

教科書や教材の電子化はICTの発展を基盤として、学習のスタイルを変えようとしている。OCW (Open CourseWare) や MOOCs (Massive Open Online Courses) によって教育がオープン化されたことで、学習の場所や機会が教室や大学キャンパス内に制限されることがなくなった。また、近年ではブレンド型学習 (Blended Learning) や反転授業 (Flipped Classroom)

[4]といった自学自習をより積極的に活用する新しいスタイルの授業のあり方が模索されるようになってきている[5]。

電子教科書や電子教材によって従来の紙による教科書、教材よりも付加価値を高めることが期待される一方で、端末やコンテンツ、プラットフォームに関していくつかの課題も指摘されている[1]。携帯性やバッテリー、コストなど端末についての問題点は、近年の急速な発達によって解消されつつあるが、コンテンツに関しては電子化されることのメリットを十分に活用した教材の開発、また、利用環境が端末やOSに依存しないマルチプラットフォームへの対応などが重要な課題となっている。

本研究では以上の背景をもとに、大学の情報数理系科目を対象として、これらの課題を克服する学生の自学自

習を補助する電子教材を試作する。さらに、本教材が学生に及ぼす効果についても検証する。大学での情報数理科目の授業では学生の事前知識や興味に大きなばらつきがあると考えられるが[6], 学生の特性に応じて本試作教材の効果にどのような差が生じるかについて検討する。

2. 教材の試作事例

2.1 対象と概要

本研究では理工系大学の情報工学科3年生対象の情報セキュリティの授業における RSA 暗号関連の項目について、自学自習のための補助教材の試作を行う。

試作する電子教材は、学生が入力した内容に応じて対話的に結果が表示されるインタラクティブ性をもつものとする。インタラクティブ性により、例えば複雑な数値計算を伴う計算アルゴリズムを学習する際、学生が設定した値に応じて詳しい計算過程が表示されるので、自分で手計算したものと比較しながら少ない時間で多くのパターンの繰り返し学習をすることができる。一般に講義中に提示できる例題や演習の数には限りがあり、多くのパターンを提示することは困難であるが、本教材を活用することで学生が自分の理解度に応じた自学自習を行うことができる。また、あえて条件に合致しない数値を設定して計算過程を確認するなど、アルゴリズムがうまく機能しない例を検証して理解を深めることも容易に可能であると考えられる。本教材が対象とする項目では、数値計算が多く用いられるため、複雑な数式でも動的に生成され、ある程度見やすく表示されることが必要となる。

さらに、今回の試作では、小まめな教材のメンテナンスや、教材の共有・転用が容易となるようにできるだけ一般的な環境で教材作成ができることも考慮する。ここで、一般的な環境とは教材を作成する際に OS を選ばず、特定のアプリケーションソフト（アプリ）を必要としない環境を表す。また、現在は教材を端末室や自宅などの PC 上で利用することを念頭においているが、将来的には Niche Learning（すきま学習）が可能のように、タブレット PC などの携帯端末上で、時間・場所を選ばずに学習できるように発展させることも想定する。

以上の点を総合的に満足するような教材の検討を行い、試作した[7],[8]。

2.2 関連する先行研究

学生の自学自習をサポートする電子教材の開発については、非常に多くの研究報告がなされている。豊富なマルチメディアコンテンツを活用した小中学生向け教材や、外国語学習用教材が目立つ一方で、主に大学生を対象と

した情報数理科目の教材開発事例も存在している（例えば、[12]-[20]）。その中でも、数式表現を考慮した教材としては、まず、インタラクティブな数式表示は特に想定しておらず、従来の方法で静的な数式を用いているもの[14]や Moodle 上にインストールされた TeX を利用して解説画面や小テスト画面に静的な数式を表示するもの[16]がある。本研究と同様に対話的な数式表示を想定しているものとしては[18],[20]が挙げられる。[18]の教材では、数式処理ソフトの Maxima[21]の形式に従って入力フォームに入力された数式が MathJax[9]によって教材内の解答欄に組み版された数式として表示される。Maxima 形式で入力された数式は代数的な評価ができ、自動採点も可能である。また、[20]の教材は入力された値に応じて Maxima で演算処理を行い、MathML 形式[22]で出力された結果がブラウザ上に表示される。[18],[20]はいずれも数式処理がサーバ上の Maxima によって行われるため、基本的にはインターネットに接続された環境での使用を想定していると考えられる。[18],[20]の両報告では、教材を実際に授業で使用して学生への効果を検証した結果についての言及は特ないが、本研究では学生に対する教材の有効性についての検討も行う。また、本研究の教材で行われる演算処理はすべてオフライン環境でも使用可能のように考慮する点も異なっている。

2.3 試作教材

実際に試作した教材の項目を Table 1 に示す[23]。一例として拡張ユークリッド互除法のコンテンツを Fig. 1, 画像の RSA 暗号化・復号コンテンツを Fig. 2 に示す。

本研究では、HTML5 と JavaScript によりインタラクティブな教材を実現した。入力された値は JavaScript で処理され、入力の内容に応じて結果が対話的に表示される。数式のインタラクティブな表示に対しては、教材のオフライン化も念頭に置いて、MathJax[9]を利用することとした。MathJax は JavaScript による数式表記エンジンであり一般的なブラウザに対応している。HTML のヘッダ内に特定のコードを記述し、数式自体は本文中に LaTeX 形式かあるいは MathML 形式で記述することで自動的に組み版されてブラウザに表示される。実際の試作において値を入力する度に数式が新たに生成され、

Table 1 試作コンテンツの項目

(1) MathJax テスト	(7) ユークリッド互除法
(2) 指数剰余の計算	(8) 拡張ユークリッド互除法
(3) ベキ乗法	(9) オイラーの定理
(4) エラトステネスのふるい	(10) オイラーの定理の修正
(5) フェルマーの小定理	(11) RSA 暗号化・復号
(6) 確率的素数判定法	(12) 画像の RSA 暗号化・復号



Fig. 1 拡張ユークリッド互除法コンテンツ

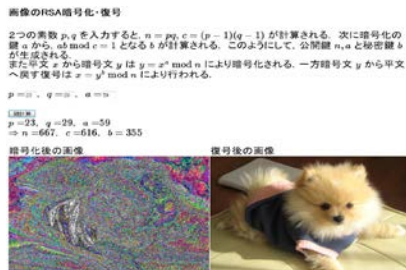


Fig. 2 画像のRSA暗号化・復号コンテンツ

複雑な数式も読みやすく表示されることを確認している。なお、あらかじめ MathJax サイト[9]より JavaScript エンジンダウンロードしておけばオフライン環境でも使用することができる。

また、Table 1 の(12)画像の暗号化では HTML5 の規格である canvas 要素と JavaScript を用いることで、ピクセル単位で処理された画像も表示でき、マルチメディアコンテンツに対してもインタラクティブ性を実現できた。

教材のオフライン性についてであるが、携帯端末では常にインターネットに接続された環境とは限らないため、オフライン時でも利用できるように教材を端末に配付しなければならない。また、端末の種類が多岐にわたることから複数の OS 上でも動作するマルチプラットフォーム化にも対応する必要がある。本研究では、この解決策として Adobe 社によるモバイルアプリ開発サービスである PhoneGap Build[10],[11]を利用して教材をアプリケーションプログラム(アプリ)化することとした。PhoneGap Build は、HTML と JavaScript で作成されたコンテンツを各プラットフォームに対応するアプリに変換する Web サービスである。試験的にではあるが実際に試作教材のアプリ化も行った。MathJax エンジンをおらかじめダウンロードして教材のコンテンツと同一のフォルダ内に配置し、PhoneGap Build を利用して Android OS 用のアプリを作成した。オフライン環境においてタブレット端末(Nexus7, Android4.2)上で数式表示及び画像処理の双方ともに問題なく動作することを確認している。

なお、本教材では現時点では Web ブラウザ上での利

用とし、将来的に PhoneGap Build によりアプリ化することを想定して HTML5 と JavaScript の技術のみを用いて実現している。したがって本教材の開発環境は OS を選ばず、特殊なツールを必要とはしていない。

3. 試作教材の学生への効果の検証

本研究では試作教材を実際に授業で使用し、学生アンケートによって本教材が学生に与える効果や満足度の評価を行った。情報数理科目を受講する学生は、特に事前知識や興味などの特性が多岐にわたると考えられることから[6]、学生の特性と本教材の効果についての関連性について検証する。

3.1 評価方法の概要

試作したインタラクティブ教材のうち、「べき乗法」と「拡張ユークリッド互除法」の 2 つの項目を取り上げ、実際に以下の手順で講義を実施した。なお、このときの受講学生数は 39 名である。

- (1)講義において、板書・口頭での解説
- (2)理解度確認テスト(1回目)
- (3)インタラクティブ教材による自主学習(自習)
- (4)理解度確認テスト(2回目)
- (5)アンケート調査

3.1.1 理解度確認テスト

理解度確認テスト問題の一例は以下の通りである。

- ・ $3^{13} \bmod 7$ の値をべき乗法で計算し求めよ。
- ・ 整数方程式 $ac + cd = 1$ について、 a と c の値が $a = 5, c = 11$ のとき、拡張ユークリッド互除法を用いて b, d の値を求めよ。

これを各 2 問ずつ計 4 問を 1 回目と 2 回目のそれぞれに出題して学生に解いてもらった。1 回目と 2 回目は同じ内容の問題であるが数値は異なるようにした。

3.1.2 アンケート調査

アンケート調査では、学生自身の特性と教材についての興味や満足度、有効性に関する質問を選択式回答項目 18 問、自由記述式回答 2 問を設定した。選択式回答は「非常にそう思う(+2)」、「そう思う(+1)」、「どちらでもない(0)」、「そう思わない(-1)」、「全くそう思わない(-2)」の 5 段階である。質問項目の一例を Table 2 に示す。また総合満足点を 10 点満点で回答してもらった。

3.2 評価の結果

3.2.1 理解度確認テストの結果

2 回の理解度確認テストの結果を Fig. 3 に示す。1 回目の正答数と 2 回目の正答数の 2 軸に対してその度数を

Table 2 アンケート質問項目（一部）

[この教材について]	
・興味を持った,	・内容は分かりやすかった
・あまり必要なかった,	・自分にとって満足だった
[講義だけの場合に比べて]	
・教材を利用したことで理解がしやすかった	
・教材を利用したおかげで確認テストが良くできた	
[自分自身について]	
・コンピュータの仕組みについて理解している	
・情報セキュリティについて興味がある	
[自由回答項目]	
・良かった点, 悪かった点	
[計算回数]	
・数値を設定したパターン数を回答してください	
[総合満足点]	
・教材の満足度を 10 点満点で答えてください	

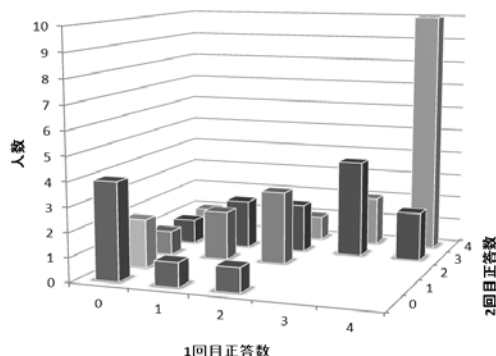


Fig. 3 確認テストの結果

縦軸にとっている。1 回目の正答数が 0 問（全問不正答）もしくは 4 問（全問正答）の学生は 2 回目も同じとなる傾向が多く見られる。また、1 回目の正答数が 0~2 問で 2 回目に正答数が増加している学生も多く存在している。1 回目の正答が 3~4 問の学生は 2 回目も 3~4 問正答している。なお、1 回目から正答数が増加した学生が 14 名、低下は 4 名、変化無しは 21 名であった。

この結果から、以下では 1 回目のテストの正答数に応じて Table 3 のように学生を層別して分析を行う。ここで、A 群の学生は 1 回目のテストの段階で学習内容の理解が進んでいると考えられる学生群、B 群は理解度が低いと考えられる学生群である。Table 3 より、それぞれの群における 2 回のテストでの平均正答数は、A 群では変化はなく（3.67 問→3.67 問）、B 群では向上していること（0.90 問→1.76 問）が確認できる。

3.2.2 アンケート調査の結果

(1) 各群の学生の特性の把握

学生自身に関するアンケート回答結果の一部を Fig. 4 に示す。なお、結果のグラフ化において、「非常にそう思う」「そう思う」を「そう思う」に統合、「全くそう思

Table 3 学生の層別

群	1 回目テスト 正答数	人数	平均正答数（各 4 問）	
			1 回目	2 回目
A 群	3/4 問以上	18 名	3.67 問	3.67 問
B 群	2/4 問以下	21 名	0.90 問	1.76 問

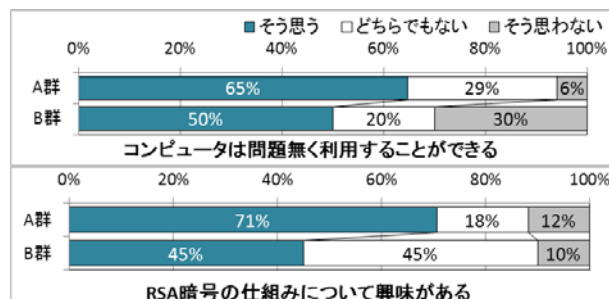


Fig. 4 学生の特性に関する回答項目（一部）

ない」「そう思わない」を「そう思わない」に統合して示している。A 群ではコンピュータを問題無く利用できると思っている学生が 65%、思わない学生が 6%である一方、B 群では利用できると思う学生が 50%、思わない学生が 30%であり、B 群ではコンピュータ関連の知識に乏しいと自覚している学生が多い。また、教材の項目である RSA 暗号について、興味がある学生は、A 群で 71%なのに対して B 群では 45%であった。この結果からも、コンピュータに関する事前知識や授業内容への興味に大きな差があり、これが確認テストの結果に影響を与えていることが確認できる。以降ではこのことを念頭に置いて結果の検証を行う。

(2) 繰り返し計算数

自分で数値を設定して教材で計算を行った回数の結果はそれぞれの群で以下の通りであった。

A 群： 平均 4.8 回，標準偏差 1.87 回

B 群： 平均 4.4 回，標準偏差 2.47 回

平均回数は A 群と B 群で大きな差が見られない一方、B 群でばらつきが大きかった。B 群では理解度の差が大きく、教材の活用方法も変わってくるためと考えられる。

(3) 教材に関する回答項目の結果

教材に対する総合満足点（10 点満点）の結果は以下の通りで、A 群よりも B 群で総合的な満足感が平均的に高く、ばらつきが小さいことがわかった。

A 群： 平均 7.76 点，標準偏差 1.73 点

B 群： 平均 8.23 点，標準偏差 1.25 点

次に、教材に関するアンケート結果の一部を Fig. 5 に示す。これらの回答項目は教材の総合満足点と相関関係がみられる項目であり、図中にそれぞれの相関係数の値（ r ）も示している。まず Fig. 5 の(1)で、教材を満足と思う学生は A 群が 61%、B 群で 76%となり、B 群の学

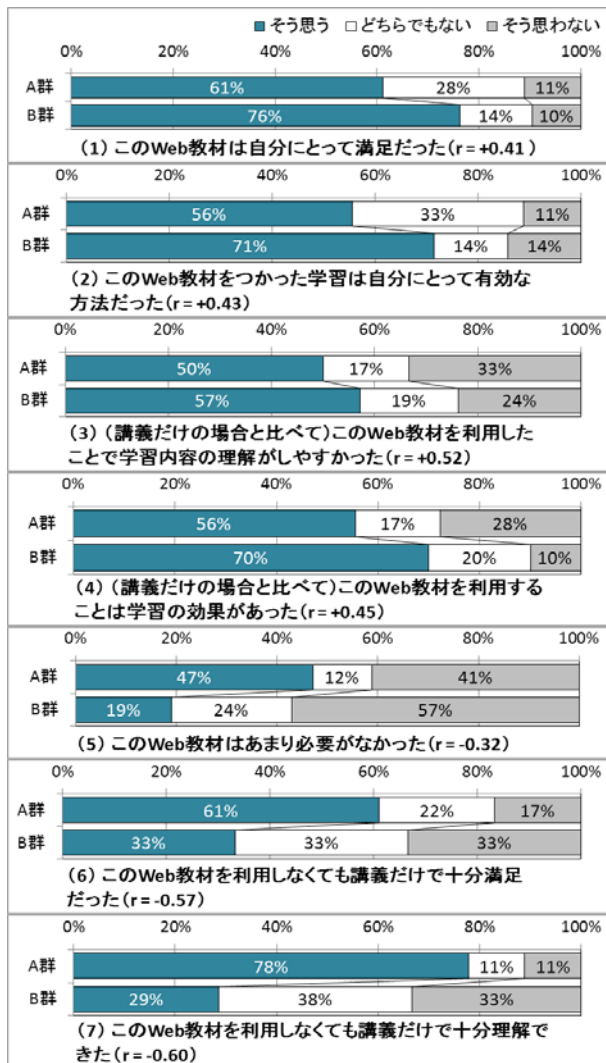


Fig. 5 教材に関する回答項目 (一部)

生の方が満足度が高いことがここでも確認できる。また、(2)～(4)の結果から、A群よりもB群の学生の方が教材による学習効果や有効性を感じていることも分かった。これら(1)～(4)の理解のしやすさや有効性に関する項目が総合的な満足感と正の相関関係にあり、いずれの項目でも「そう思う」の回答がA群B群共に過半数以上、また、B群の方がA群よりも高い比率となった。

次に(5)の教材は必要がなかつたか、の問いには、A群では、「そう思う」(47%)と、「そう思わない」(41%)がほぼ等しい比率であるのに対して、B群では、「そう思う」が19%、「そう思わない」が57%とより多くの学生が教材の必要性を実感している。同様に(6),(7)においても、A群では教材を利用しなくても講義だけで十分満足だったと思う(61%)、理解できたと思う(78%)学生が高い比率を占める一方、B群では「そう思う」「そう思わない」の回答がいずれも約3割で同じような比率となった。B群と比較してA群では講義だけである程度の理解や満足

Table 4 自由記述回答 (一部)

[教材の良かった点]

- ・自由に数値を記入できるのは良かった。
- ・答え合わせがすぐでき、問題もすぐ作れるところ。

[教材の悪かった点]

- ・表示がシンプルすぎる。
- ・理解が無ければ教材を見ても分からない。
- ・Tabキー、テンキーが使えない。

を得ている学生が多い傾向があることが伺える。(5)～(7)の教材の必要性に関する項目は総合的な満足感と負の相関関係にある。A群では「そう思う」学生がB群に比べて高い比率で存在し、全体的な満足感を低下させる要因になっていると考えられる。一方B群では「そう思わない」と答えた学生の比率が高く、教材の必要性も総合的な満足感に結びついていると考えられる。以上の結果から、本教材はB群の学生が必要性を実感し理解の補助として有効であるとの認識が高いことが分かった。

(4)自由記述回答

自由記述回答の一例をTable 4に示す。教材の良かった点としてインタラクティブ性のメリットを挙げる回答が多かった。一方、悪かった点として、学習の理解が不十分な場合は教材の内容も理解できない、表示が分かりにくい、などが数は少ないながらも存在している。Fig.3の結果において2回の確認テストで正答数が0問のまま向上しない学生(4名)が存在していることから、B群の学生の中に教材を使用しても理解が進まない学生が一部ながら残っている可能性は否定できない。この点を考慮するとさらに分かりやすい説明の追加など教材の改良の余地があることが考えられる。

4. まとめ

本論文では大学における情報数理系科目向けの自学自習用インタラクティブ教材の試作を行い、実際に授業で利用した際の学生に対する効果の検証を行った。その結果、今回試作した教材は理解が不十分な学生の補助として有用な教材であったとの示唆が得られた。なお、今回の教材でも内容を理解できない学生に効果のある教材や、既に理解が十分に進んでいる学生がより満足できる教材の開発についても今後検討していきたい。また、教材のオフライン化やマルチプラットフォーム対応により可能となると考えられる、すきま学習がもたらす教育効果や利用端末による学習への影響に関する評価も今後の課題とする。

謝辞

著者の一人石田は、本研究を行うにあたり大変貴重な

ご意見を頂戴した早稲田大学 平澤茂一名誉教授、後藤正幸教授、(株)日立製作所 梅澤克之氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 野村総合研究所, 2015 年の電子書籍, 東洋経済新報社, 2011.
- [2] 斎藤正武, 「(連載) 電子書籍をめぐる業界再編(2) 教育界への影響」, 経営情報学会誌, Vol. 19, No. 3, pp. 300-305, 2010.
- [3] 清水康敬, 小泉カエ, 堀田龍也, 「電子教科書の現状と我が国の課題」, 日本教育工学会研究報告集, No. 4, pp. 29-36, 2010.
- [4] Baker, J.W., "The "classroom flip": Using web course management tools to become the guide by the side," the 11th International Conference on College Teaching and Learning, Jacksonville, FL, U.S.A., 2000.
- [5] 中村太戯留, 脇田玲, 千代倉弘明, 田丸恵理子, 上林憲行, 「スキル習得型の学習における反転授業の活用法の検討」, 2012 年度日本認知科学会第 29 回大会, 2012.
- [6] 石田崇, 後藤正幸, 平澤茂一, 「大学の情報系授業における学生アンケートの分析」, CIEC 会誌 コンピュータ&エデュケーション, Vol. 18, pp. 152-157, 2005.
- [7] 小林学, 石田崇, 梅澤克之, 平澤茂一, 「大学教育のための電子教材の試作 ~ 情報数理教育向けインタラクティブコンテンツ ~」, 情報処理学会第 75 回全国大会, 2013.
- [8] 石田崇, 小林学, 梅澤克之, 平澤茂一, 「大学授業におけるインタラクティブ教材の活用」, 経営情報学会 2013 年春季全国研究発表大会, 2013.
- [9] <http://www.mathjax.org/>
- [10] <https://build.phonegap.com/>
- [11] 塩谷隆二, 中林靖, 「スマートフォンアプリ開発入門 - iOS vs. Android(4)」, 日本計算工学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 2817-2823, 2012.
- [12] 梅澤克之, 小林学, 石田崇, 平澤茂一, 「大学教育のための電子教材の試作 ~ マルチメディアコンテンツの活用 ~」,

情報処理学会第 75 回全国大会, 2013.

- [13] 川上 昌俊, 安田 浩, 佐々木 良一, 「情報セキュリティ教育のための e ラーニング教材作成システム ELSEC の開発と評価」, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 3, pp. 1266-1278, 2011.
- [14] 伊藤穰, 「HTML5 とスマートフォンによる情報理論教育 e-Learning システムの開発」, 跡見学園女子大学文学部紀要, Vol. 48, pp. A159-A171, 2013.
- [15] 島袋舞子, 安里肇, 兼宗進, 「プログラミングの講義支援を目的とした e ラーニングシステムの構築」, 情報処理学会研究報告 (コンピュータと教育研究会), Vol. 2013-CE-119, No. 4, 2013.
- [16] 稲葉宏和, 桶敏「数学補習用 eLearning システム構築の試み (2)」, 第 37 回教育システム情報学会全国大会, 2012.
- [17] 大林博一, 「電子演習書と連動の自学自習用基礎数学 の教材の開発」, 工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 556-557, 2009.
- [18] 近藤隆司, 後藤善友, 大賀恭, 長屋智之, 「数式による解答と自動採点を可能とした SCORM 準拠の e-Learning コンテンツの開発」, 教育システム情報学会研究報告, Vol. 27, No. 5, pp. 41-11, 2013.
- [19] 村本充, 「数学自学自習 e ラーニング教材の開発と運用」, 平成 23 年度工学教育研究講演会講演論文集, pp. 668-669, 2013.
- [20] H. Nakano, T. Nagai, Y. Jia, M. Wannous and T. Kita, "Mashup approach for embedding algebraic manipulations, formulas and graphs in web pages," 2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Amman, Jordan, pp. 691-694, 2011.
- [21] <http://maxima.sourceforge.net/>
- [22] <http://www.w3.org/Math/>
- [23] <http://publicweb.shonan-it.ac.jp/info/RSA/>

著者略歴

石田 崇 (いしだ たかし)

◎現在の所属: 早稲田大学メディアネットワークセンター

◎専門分野: 情報理論とその応用, 統計的機械学習, 教育工学

◎主な著書: 「基本統計学」(共著, 産業図書, 2009), 「図解初学者のためのコンピュータのしくみ」(共著, プレアデス出版, 2013)

小林 学 (こばやし まなぶ)

◎現在の所属: 湘南工科大学工学部情報工学科

◎専門分野: 情報理論とその応用

◎主な著書: 「IT Text インターネットプロトコル」(共著, 2005, オーム社), 「IT Text 確率統計学」(共著, 2010, オーム社)