

動的Web形式による2進数演算教育教材の開発

安岡 広志* 佐藤 健**

本論文では、コンピュータ基礎理論で使用することを目的とした動的Web形式による2進演算教育教材の開発について述べる。従来の多くのWeb教材は、問題部分を静的画面で表示するものが主であり、動画やアニメーションを利用した場合も実問題との関連性に乏しい内容であった。最近では解答・解説にアニメーションを採り入れ、いろいろと工夫されたものも多く見受けられるが、いずれも学習者の解答後に提示されるもので、学習者の側に立って問題に即して理解を導いていくような設計になっていない。本論文では、この点をクリアする動的Web形式による教育教材システムについて報告する。主な特徴として、2進数の基数変換、加算、減算、乗算、除算、を出題範囲とし、解答群のひとつひとつに解を導く過程／誤りに陥る過程を段階的にアニメーション表示する動的Webページを付加している。大学の講義において本システムを試験的に使用し、学習効果を検討するとともに、従来の教授手法との比較や使用感などを含むアンケート調査を行った。

キーワード：動的Web、コンピュータ基礎理論、2進数演算、アニメーションによる可視化

Development of an Instructional Material for Binary Number Operations in Dynamic Web Format

Hiroshi YASUOKA* and Takeshi SATO**

This paper describes the development of an instructional material for binary number operations in a dynamic web format to be used in fundamental computer theory. Most traditional web materials mainly showed operational problems in static screen displays. They lacked relevance to actual problems for materials that did make use of moving images and animation. Recently, a lot of the materials appear to be creatively devised, animation was adopted in illustrating solutions and explanations. Since the animations used in these materials were presented after learners have given their solutions, they are not designed to lead learners to understanding the problems. This study reports about the system of an instructional material in Dynamic Web format in order to overcome this dilemma. As the main feature of this system, the radix conversion, addition, subtraction, product, and the quotient of binary numbers were made within scope of the problems Dynamic Web pages have been provided showing, step by step provided, the processes leading to the solution and the processes showing errors for the detailed batch of answers in animation.

The system has been used and tested in university lectures and the paper discusses the result of a survey conducted among students, which includes their impressions after using the system and comparisons with traditional teaching methods, as well as its effectiveness and fixed learning effect.

Keywords: dynamic web, fundamental computer theory, binary number operations, visualization using animation

*東京情報大学 総合情報学部 情報文化学科

2012年7月23日受理

Tokyo University of Information Sciences, Faculty of Informatics, Department of Media and Cultural Studies

**実践女子大学 生活科学部 生活環境学科

Jissen Women's University, Faculty of Human Life Sciences, Department of Human Environmental Sciences

1. はじめに

近年、情報技術の急速な進展と生活・学習環境のユビキタス化により、若年層における情報リテラシ能力は高くなった。しかし、インフラの充実の中で手軽に種々の情報提供やサービスを受けながら、それぞれの根本理解や理解にもとづいた知識の積み上げに至っていない。大学をはじめ、高等教育機関での情報基礎教育では、学習者の「学び」「知識」「意欲」における格差が大きい。2006年度より、教科「情報」の履修者が高等教育機関へ入学してきているが、情報に対する知識・理解の格差は、それ以前に比べてむしろ拡大している。高等学校の普通教科「情報」が目標として高く掲げた「情報の科学的な理解」は未だ浸透せずという印象である。

情報の基礎知識であるコンピュータ基礎理論における学習者間の格差の原因については、これまで多くの研究で考察されている。(真鍋, 松岡, et al. 2003) らは、高等学校情報教育における授業内容、授業形態、自宅ネットワーク環境の有無による理解度の差を論じている。(鍋木, et al. 2001) らは、学習者の動機や思考パターンにより個人差が生じると指摘している。また、(Collins & Quillian, 1969) らは、理系思考の学習者と文系思考の学習者における知識構造の差に原因を求めている。

これらの「原因」に加えて、冒頭で述べたインフラの充実が、何かを観る・聞く・読むというより「手軽に閲覧するだけ」といった受動的な学習者を増やし、それが知識や理解の格差を助長していると考えられる。

本研究で取り上げているコンピュータ基礎理論の「2進数演算」は、コンピュータの原理を学ぶ上で重要であり、その後のコンピュータ基礎理論全体につながる重要な分野である。その学習が十分でない理由として、(竹内, 2008) は、平成10年度の学習指導要領改定により中学校数学での導入機会を失ったこと、高校における教科「情報」で「情報C」が採択されるケースが

多く、コンピュータ基礎理論の学習機会が相対的に狭められたことをあげている。中学においても、高校においても、学習の機会が損なわれているというのは重大な問題だが、そのような状況のなかで、苦手意識を持つ学習者にも理解しやすく、「手軽に閲覧するだけ」の学習者にも興味関心をもって取り組んでもらえるような、アニメーションを用いた学習教材の開発は意義のあることと考える。

2. 従来研究と本システム開発の目的

Webを利用した教育教材は、企業ではもちろんのこと高等教育機関の通信教育や講義、演習に補助教材として多く利用され、効果をあげている。その中には、文字、音声、動画を効果的に取り込んだ、優れた教材も開発されている。

(永岡, 1986) は、場所を特定せず・繰り返しいつでも試すことができるというWeb教材の利点を生かす(学習者の反復学習や協調学習に供する)だけでなく、学習者の解答状況を把握・分析するレスポンス・アナライザを備え、授業進行支援を担うことができるシステムを開発した。このシステムにより、解答状況を把握しながら授業を進められるだけでなく、授業後のデータの分析を通じて教師は「カガミ利用的トレーニング環境¹⁾」を手にすることができると指摘している。しかしながら、教師側の支援が主であり、学習者における学習支援には重きが置かれていない。

さらに、(永岡, 海老名, 1995) らは、マルチメディア出題・回答システムの開発により、正解に至る回答時間を計測し、動画等を使用したマルチメディア教材が正答率の向上に資することを明らかにしている。ただ、単一回答形式によるもので、選択肢の複数化はされておらず、動画を活用した解説も出題された問題を直接解説したものではなかった。また、(大塚, et al. 2000) らは、Webリアルタイム授業評価システムを開発し、継続的な授業評価情報の公開によって教授法の改善を促し、評価と管理面

の機能の充実をはかることができた」と述べている。だが、ここでも、学習者の意欲向上につながる教材の「工夫」は考慮されていない。

一方、(阿久津, 仲田, et al. 2005) らは、2進数の基数変換について、アニメーションを用いた理解支援教材を開発している。こちらは学習者の理解を促すことを目的としているが、一般的な2進数の解を導く式について別画面で一つだけアニメーション表示させているのみで、学習者が出題された問題を解くうえで直接の参考にはならない。実際に出題されている問題に即した解答アニメーションでなければ、むしろ学習者の集中力をそぎ、場合によっては理解の妨げになるおそれもある。

以上、先行システムの検討から、学習者の理解を助けることに徹したシステム構築の意義が明確になった。そしてこの観点から、出題された問題に即した解答アニメーションが表示されることの重要性や選択肢を複数用意し、誤りに気づかせる誤答アニメーションを存在させることが重要である。

一般に、Web形式の教材は、一定期間で知識・理解の到達度の伸びが止まることや、継続的な学習を促すことが難しいといった課題がある。この課題を克服するうえでも、問題を解く学習者の意識に沿ったアニメーションが学習者を引きつけ、理解に導くことで意欲を高めていく、上述のようなシステムの開発が必要である。

このようなシステムを実現するために、本研究では、正答および誤答アニメーションの作成をFlash²⁾で、また、答の判定や適切なページの表示等の制御にFlashのプログラム言語(Action Script)³⁾を使用した。そしてこのように、学習者の選択に応じて適宜、適切なアニメーションを表示するなど、動的な双方向性が確保されているWebシステムを「動的Web形式」とか「動くページ」と表現する。

本Web教材システムでは、各設問は段階的な難易度で構成され、各設問に3つの選択肢が用意されている。3択のラジオボタン形式で、

それぞれの選択肢の下に1つずつアニメーションを配置し、正答に至る過程をたどる正答アニメーションと、誤りに気づかせる2つの間違いアニメーションを配置している。

学習者は随時、何度でもアニメーションを再生できるだけではなく、解答終了後、タイムラグなしに受講者全体の問題別正解率集計グラフ(累積正答数の集計または一定時間内の正答率の集計)が表示される。この機能は(永岡, 1986)のレスポンス・アナライザに準じており、教授者だけでなく学習者にもリアルタイムに公開することで、学習者が「問題をクリアすべく」ゲーム感覚で継続的に取り組むことができる。

3. 動的Web形式教育教材の概要

本研究における動的Web形式による教育システムは、2進数に係る「基礎の基礎」の理解に重点をおいたものである。可視化による工夫で、「入口で躓いている」学習者が、自主的・自発的に行動を起こし、正しい理解に向かうように仕向けるe-learningシステムである。すでに述べたように、教材開発には視覚的なアニメーションやインタフェースが容易に導入できるFlashを使用した。Webサーバへのアクセス認証後、教材からWebサーバに置かれたCGIプログラムを介してデータベース情報を送受信するシステム構成になっている。Flashは比較的安価で、操作の習熟にそれほど時間がかからず、開発時間の短縮をはかれることから、学校教材の作成や導入には好適であると考えている。各設問において、インタラクティブティー、可視化、アニメーション化の表現手法を工夫した。

3.1 Web教材のシステムの構成

本システムは、図1に示すように授業内での試行的な利用として、教授者がシステムの管理を行った。学習者が授業時間外や学外から利用する場合は、セキュリティの関係から教授者からIDとパスワードを配布する仕組みとした。DBサーバ側では、学習者の履歴、閲覧時間、正解率などが蓄積される仕組みになっている。

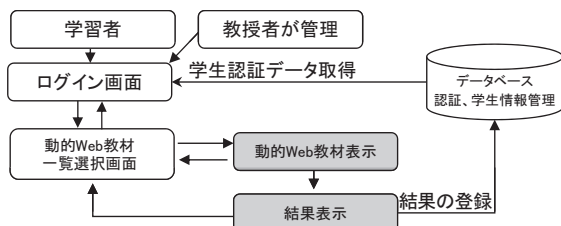


図1 動的Web形式教育教材の画面フロー図

3.2 Web教材の仕組み

本Web教材は、「数の表現」のうち、最初に学習する2進数演算を取り上げている。出題されている問題は、2進数への基数変換と2進数の加算、減算で10問、2進数の乗算、除算で10問の、あわせて20問からなる。図2～図9に、本Web教材の動作例を示す。

図2は、第1問である「Q1. 2進数110を10進数に変換したとき正しいものはどれでしょう」を例に、本教材のインタフェースを紹介したものである。全問題がこのような仕組みになっている。

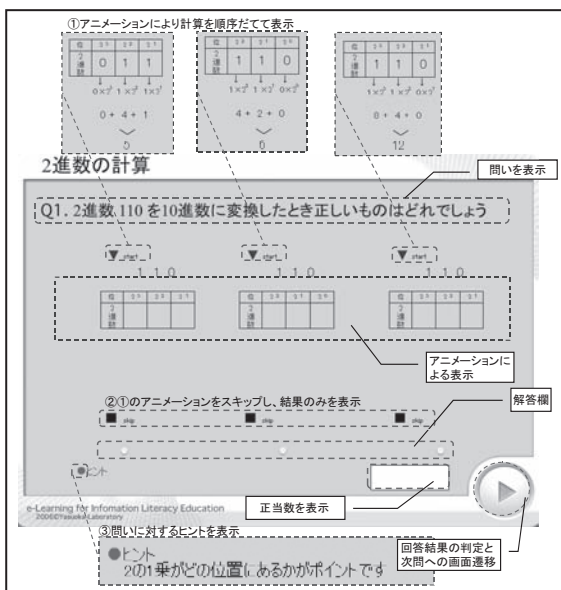


図2 画面インタフェース説明（2進数計算）

本Web教材の学習者の操作手順を下記にまとめる。

- 1) ID、パスワードを入力後Web教材にログインする。
- 2) 教材を選択する：「基数変換、加算、減算の問題」と「乗算、除算の問題」を選ぶ画面が現れる。
- 3) 図2に示す画面が現れる。
- 4) 画面上部に「Q1. 2進数110…」のような問題と、選択肢ごとに3つのボタンが表示される。学習者がこのボタンを押すと、アニメーションが開始されるが、どの状態でも学習者側において停止・再生が可能で、必要なら3つのアニメーションを比較検討しながら正解を考えることもできる。
- 5) このアニメーションを通じて正解の過程を確認したり、誤りに気づいたり、つまりは学習を行う。
- 6) 解答に困った時は、ヒントボタンを押すと、ヒントが表示される。
- 7) 解答欄の正解と思うラジオボタンを一つ選択する。
- 8) 右下の緑ボタンを押して、回答結果の判定を知り、次問へと移る。
- 9) 次の問題以降は3)～8)の繰り返しを行う。
- 10) 解答が終了すると、図10に示すように全学習者の集計結果がグラフで表示され、自らの理解度を学習者全体の中で把握できる。

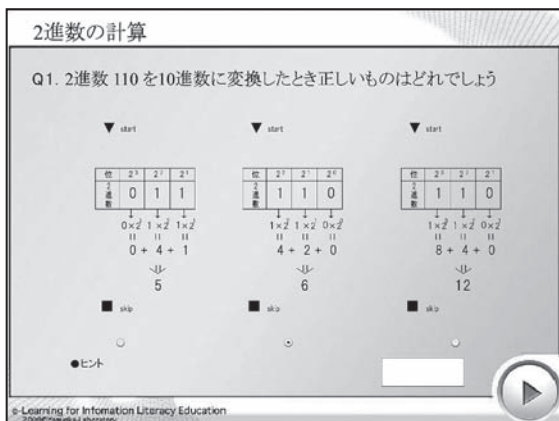


図3 基数数変換、2進数を10進数に変換する問題例

図3は、図2で述べた、選択肢ごとに用意された3つのアニメーションの表示が終了した状態を示している。

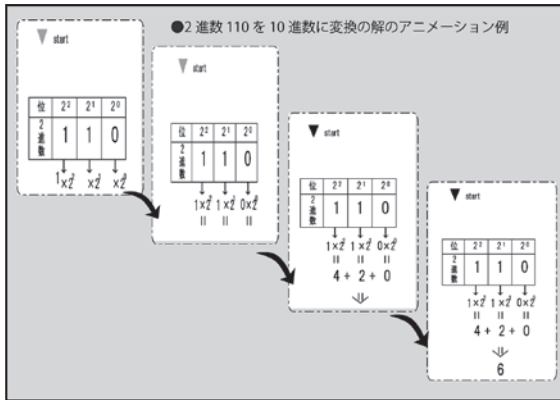


図4 基数変換（図3の選択肢のアニメーション例）

図4は、図2の第1問Q1の「2進数110を10進数に変換する」における最初の選択肢のアニメーションを分解表示したものである。ここでは、計算を順序だてて4コマで表したが、実際は、文字や記号が一文字ずつ連続したアニメーションで順次、表示される。この過程を追ひ、自らの頭の中で再構成して、正解を確認したり誤りに気づいたりすることなどの「学習」を行う。

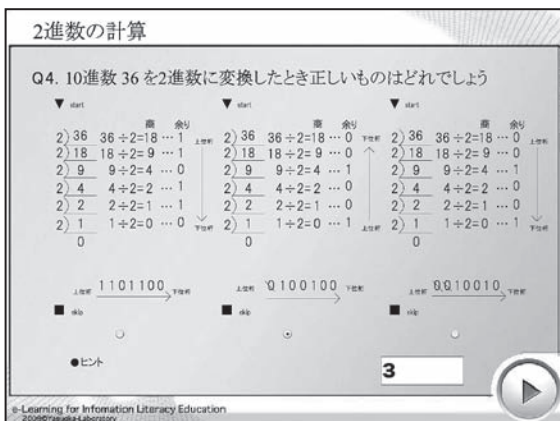


図5 10進数から2進数への基数数変換

図5は、10進数36を2進数に変換する問題例である。36を2で次々と割っていき、余りを解として取り出すアニメーションを、やはり3パターン用意している。

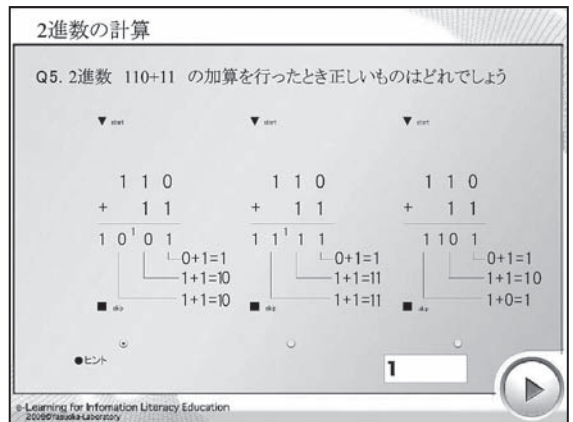


図6 2進数の加算問題例

図6は、2進数110と11の和を求める問題である。ここでも、桁上りを理解してもらうために、アニメーションを3パターン用意している。1つの正答と2つの誤答アニメーションを通じて視覚的に経過をたどることで、正誤を明確に認識することを狙っている。

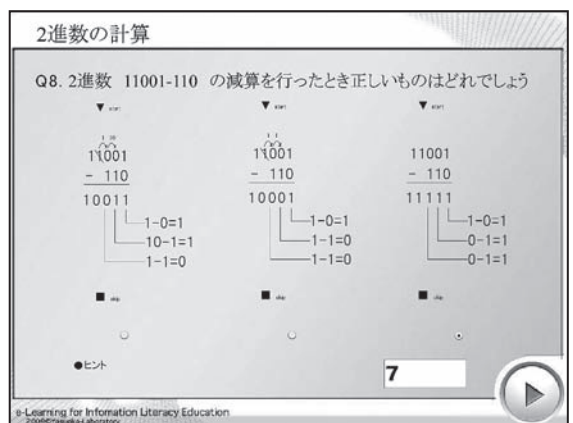


図7 2進数の減算問題例

図7は、2進数11001-110の解を求める問題である。減算の場合は、隣の桁から「1」借り

てくるところを理解してもらうことが「鍵」だが、これについてもアニメーションを3パターン用意し、計算過程を視覚化して正しい理解の促進をはかっている。

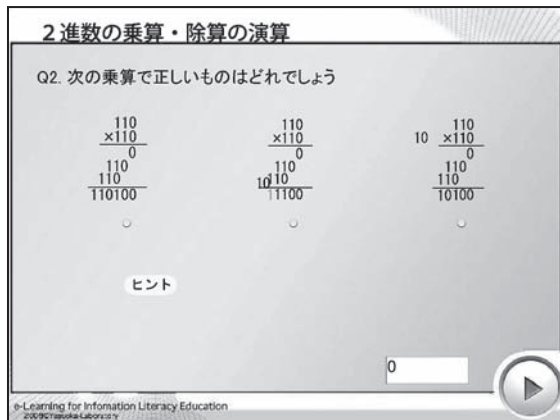


図8 2進数の乗算問題例

図8は、 110×110 の乗算問題である。選択肢を3つ、すなわち、アニメーションを3パターン用意している。他と同じく、それぞれのアニメーションを再生し、不適切な部分に気づき、適切な過程を確認しながら正解を選択していく。正解にたどり着く過程は、同時に乗算の基本を確認する過程でもある。

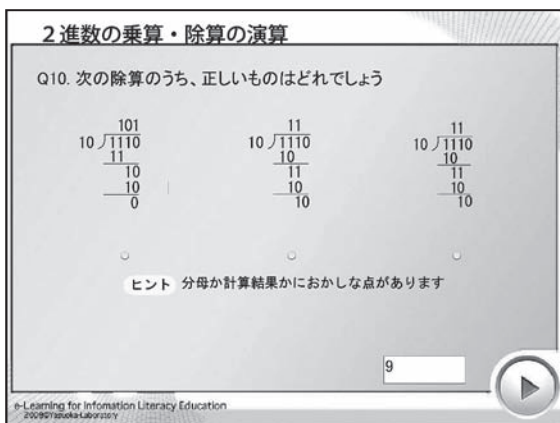


図9 2進数の除算問題例

図9は、 $1110 \div 10$ という除算の問題である。

この問題についてもアニメーションを3パターン用意し、正解アニメーションを選択し、誤答アニメーションを排除する過程が、そのまま除算の基本を学習する＝理解する過程になっていく。

3.3 本Web教材の特徴

すべての問題は、3択問題形式で、1問ごとに1つの正答と2つの誤答から構成され、その3つの選択肢がそれぞれアニメーション表示される。このアニメーションを学習者は何度でも再生、スキップ、停止と、自由に制御することができる。これまでのWeb教材では、アニメーション表示を導入したものはあったが、学習者がこのように自由に制御できるものはなかった。また、複数の選択肢を用意してそれぞれにアニメーションを付加し、正答と誤答を対照させながら問題の理解深める学習補助機能を有するシステムもなかった。

本Web教材は、繰り返しになるが、アニメーションによる可視化、正答と誤答の過程を可視化することによって、学習者の理解を促すことを最大の特徴としている。

加えて、解答終了後に、図10に示すように全学習者の正解数が問題ごとに動的グラフで表示される。正解者数の増加に応じて、グラフが目の前でどんどん上昇していく。各問題の正解数をサーバ側のCGIプログラムへ渡し、瞬時に結果を同期させる仕組みである。習熟度の評価結果や受講者全体の理解度分布をリアルタイムに目にすることによって、学習者はある種の臨場感をえることになり、全体における自らの位置の向上を目指して継続的にこのシステム上での学習に取り組んでくれることを狙っている。また、指導者においては、全体および個人別の習熟・理解度集計データを瞬時に確認できることで、全体および個々人の理解度の低い箇所を見つけ、ニアリアルな情報として授業展開や指導に役立てることができる。

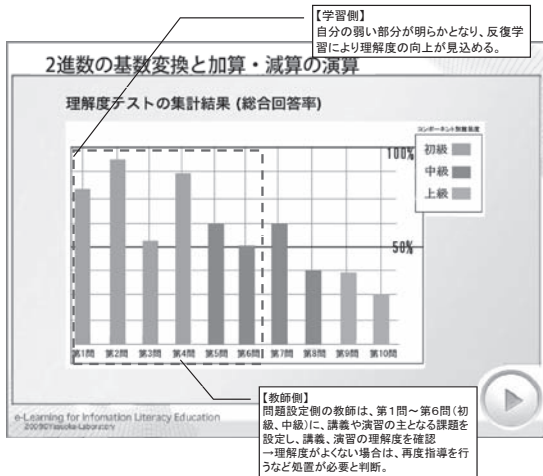


図10 全学習者の集計グラフ表示例

4. Web教材の試行的な利用と評価

4.1 試行対象と評価

本学の情報基礎科目である「コンピュータ概論」1年必修科目(前期15回開講)の2012年度履修学生(62名)を対象に試行的に本システムを利用した。講義の中でまず全員に2進数演算の解説を行い、本Web教材の「効果」を検証するため、Web教材を使用しないAグループ(31名)とWeb教材を使用するBグループ(31名)に分けた。Aグループは紙媒体の三択問題形式でテストを実施し、Bグループは本Webシステムを利用して同じ内容の試験を行った。また、1週間後、同じグループに対して、次の要領で2回目のテストを実施した。1回目の紙媒体テストおよびWeb教材テストのそれぞれで、同じように問題の順序を入れ替え、正解の配置を変更して実施した。

この、2グループに対する2回の試験結果を表1に示した。

また、この2回の試験を実施した後、さらに、本Web教材を全員に体験させ、本Web教材に対する学生たちの印象、感想を知るため、無記名による項目選択方式(16項目、複数選択可)のアンケート調査を行った。その結果を図11に示す。

表1 評価結果

グループA	平均点	標準偏差
1回目	7.93	2.34
2回目	7.8	2.59

グループB	平均点	標準偏差
1回目	7.94	2.18
2回目	8.35	1.69

(1回目2回目ともに10点満点)

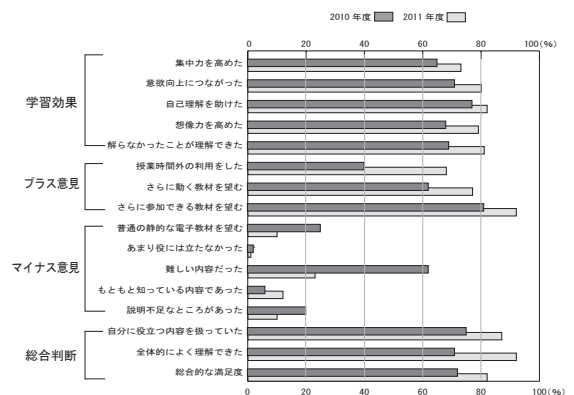


図11 Web教材利用に関するアンケート結果

4.2 試行結果と考察

表1に示した集計結果に見られるように、1回目の試験では、本Web教材を利用したBグループとWeb教材を利用しなかったAグループとで、平均点、標準偏差に大きな差はなかった。しかしながら、2回目ではBグループの標準偏差が著しく小さくなっており、Bグループの学生にあっては正解率の差が減少し、グループ内の理解度が全体として向上したとみなせる。一方、本Web教材を利用しなかったAグループの2回目の試験結果は、得点の向上が見られず、標準偏差の値も大きくなっていることから、グループ内の理解度のばらつきが大きくなったと考えられる。

一方、図11に示したアンケートの集計結果を見ると、多くの学生が本Web教材およびそれに類するWebシステムに肯定的な意見をもっていることが窺える。否定的な意見として、

22%の学生が、本Web教材の「問題が難しい」という回答をしている。本Web教材が「基礎の基礎」を問題範囲としているにもかかわらず、根深い苦手意識を覆すには至らなかったと考えられる。しかし、学習効果という点で多くの学生が肯定的に回答し、授業時間外での利用者も多かった。何より70%を超える学生が本Web教材のような「動く教材」「参加できる教材」をさらに望むと回答している。試験結果、アンケート結果とも、ここから確定的な結論を導くには不十分ではあるが、今回、開発に取組んだようなWeb教材に対する一種の「手ごたえ」を感じさせる結果であった。

5. 今後の課題とまとめ

コンピュータ基礎理論で使用することを目的とした動的Web形式による2進数演算教育教材の開発をおこなった。学習者の理解を促すことに重点を置き、出題された問題に即した3つのアニメーションを各設問に用意した。考察の過程をアニメーションによって視覚化し、理解の促進をはかろうとするシステムである。

前節に示したように、試験結果やアンケート結果は、本Web教材に対して「肯定的」であり、引き続き開発に取組んでいくつもりである。今後の課題として、多くの学習者がより苦手とする2進数の小数点基数変換、乗算、除算について、よりいっそう理解を助けることができるシステムにブラッシュアップしていくことがあげられる。学習者の苦手意識や理解度に応じて、適宜、反復学習教材を含ませることなども、理解を促す重要なポイントになると推測される。いずれにしても、システムの改良を重ねたうえで試行を繰り返し、継続的に研究を進めていく必要がある。

言うまでもなく、このような試行を通じて、コンピュータ基礎理論の学習者に対してどのような教材や教授法が最も効果的かを追求していくのが本来の目的である。ただ、このような教育教材システムの構築・改良の積み重ねはま

た、学習者の視点からの理解助長システム構築の「ノウハウ」として、例えば割合や分数計算の理解助長システムの構築等々にも役立てられるのではないかと考えている。

【注】

- 1) 「カガミ利用的トレーニング環境」とはレスポンス・アナライザを用いた授業進行システムを利用することで、授業進行支援自体と同時に教師の自分自身の授業技術に対する鏡（映し出す）的利用のトレーニング環境（客観視できる場）を提供すること。
- 2) FlashおよびAdobe Flash PlayerはAdobe Systems Incorporated（アドビシステムズ社）の商標または登録商標です。Adobe FlashはCopyright©2012 Adobe Systems Incorporated. All rights reserved.
- 3) Action ScriptはAdobe Systems Incorporated（アドビシステムズ社）の商標または登録商標です。Copyright© 2012 Adobe Systems Incorporated. All rights reserved.

【参考文献】

- Collins, A.M. & Quillian, M.R. "Retrieval time from semantic memory". J. of Verbal Learning and Verbal Behavior 8., pp. 240-248 (1969).
- 阿久津智則, 仲田和宏, 山田国祐, 藤井諭, 吉田幸二「リテラシー授業におけるアニメーションを用いた理解支援と構築分類の試み」電子情報通信学会技術研究報告／教育工学, Vol.104, No.703 pp.119-124 (2005).
- 大塚一徳, 八尋剛規, 光澤舜明「Webを利用したリアルタイム授業評価システムの開発と運用」日本教育工学雑誌, Vol.24 (Suppl.), pp.104-114 (2000).
- 鏑木誠, 宇津木成介, 森下淳也, 大月一弘, 康敏「理系学習者と文系学習者の認知構造の相違—コンピュータリテラシー教育を例に」日本教育工学学会研究報告集 (1), pp.103-108 (2001).
- Makoto KaBuragi, Min Kang, Kazuhiro Ohtsuki, Junya Morishita, Kazuo. Asakimori, "A Study on Learners' Property in Computer Literacy Education," Proceedings of 4th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, pp.132-137 (2003).
- Min Kang, Makoto KaBuragi, Takuya Kotani, Kazuo Asakimori, Kazuhiro Ohtsuki "Organization of

Learner's Knowledge on Basic Concepts in Computer Literacy", Information Technology Based Higher Education and Training, 2004. ITHET 2004. Proceedings of the Fifth International Conference on Volume, Issue, (31) May-2 June 2004, pp.312-315 (2004).

黒田登美雄, 岡崎威生『コンピュータ&エデュケーション』Vol.21「高校新教科「情報」の履修状況とその平均的な習得レベル」pp.30-35 (2006).

原田章, 景村幸弘, 菅澤拓生, 中西通雄「大学の一般「情報」教育における教科情報の心理的影響」平成18年度情報処理教育研究会講演論文集, pp.381-384 (2006).

広瀬啓雄, 市川博, 山本芳人「静的および動的に表示するWBT教材の利用状況と学習者の個人特性との関係」情報社会学会誌, Vol.2, No.1, pp.22-31 (2007).

永井昌寛, 清水大, 奥田隆史, 山口栄作「情報リテラシ授業における学習者アンケートによる能力別クラス分けの検討」日本教育工学会論文誌 (29), pp.225-228 (2006).

永岡慶三「レスポンス・アナライザを用いた授業進行支援システムの開発」日本教育工学会雑誌 10 (3), pp.11-18 (1986).

永岡慶三, 蛭名邦禎「新しい学力の測定・評価を目的としたマルチメディア出題・回答システム」平成7年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書, 全84p (1995).

竹内喜紀「離散数学の考えに基づく2進法の教材化に関する研究」新潟大学教育人間科学部数学教室, 「数学教育研究」第43巻, 第1号, pp.10-34 (2008).

真鍋絵美理, 松岡敦之, 加藤源太郎, 大月一弘, 康敏「高等学校教科情報Aを受講する生徒の知識構造の調査研究」日本教育工学会研究報告集(JET03-5), pp.67-71 (2003).

安岡広志「創造性を引き出すインタラクティブ教材の提案ー様々な表現形態を探るマルチメディア教育の実施ー」第9回情報教育方法研究発表会報告, Vol.4, pp.19-21 (2001).