

Teaching How Computers Work by Constructing Programs Using a CPU Simulator in General Information Education for Freshmen

Izumi Fuse,^{1,2,4)*} Shigeto Okabe^{3,4)} and Michio Nakanishi⁵⁾

1) Information Initiative Center, Hokkaido University

2) Center for Open Education, Hokkaido University

3) Professor Emeritus, Hokkaido University

4) Institute for the Advancement for Higher Education, Hokkaido University

5) Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

大学初年次の一般情報教育における CPU シミュレータを 用いたプログラム作成によるコンピュータ動作の教育

布施 泉^{1,2,4)**}, 岡部 成玄^{3,4)}, 中西 通雄⁵⁾

1) 北海道大学情報基盤センター

2) 北海道大学オープンエデュケーションセンター

3) 北海道大学名誉教授

4) 北海道大学高等教育推進機構研究員

5) 大阪工業大学情報科学部

Abstract — In a general information education class for freshmen of Hokkaido University, we used a CPU simulator in order to help students understand the calculation procedure on the CPU. The analysis of the results of a questionnaire concerning the course showed that understanding, interest and motivation with regard to the basic principles of computers were improved by solving exercises using the simulator in addition to textbook learning. As a result of the exercises, it was found that the material was useful not only to understand the principles of the CPU but to promote better understanding of “computational thinking.”

(Accepted on 17 January, 2017)

*) Correspondence: Information Initiative Center, Hokkaido University, Sapporo 060-0811, Japan

**) 連絡先：060-0811 札幌市北区北 11 条西 5 丁目 北海道大学情報基盤センター

1. はじめに

日本学術会議では、大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準の策定が進められており、情報学分野については平成 28 年 3 月に報告がなされた（日本学術会議情報学委員会情報科学技術教育分科会 2016）。この参照基準は、学士専門課程を対象として策定されたものではあるが、社会の情報化を踏まえ、情報学は、情報学を専門とするものに限らず、一般市民が持つべき教養の一部とされている。情報学分野の参照基準は、一般教育における情報教育の親学問として位置づけられるものとされており、中核部分としての固有の知識の体系としては、以下の 5 つの分野が定められている。

- ア 情報一般の原理
- イ コンピュータで処理される情報の原理
- ウ 情報を扱う機械および機構を設計し実現するための技術
- エ 情報を扱う人間社会に関する理解
- オ 社会において情報を扱うシステムを構築し活用するための技術・制度・組織

また、情報学は諸科学を覆うメタサイエンスとして位置づけられており、文系理系を問わない諸科学との境界において新たな情報学（応用情報学や領域情報学）を生み出し続けている、とされている。ゆえに、大学の専門教育ではない一般教育としての情報教育において、上記の知識体系のどの部分を、どのような位置づけと手段で、一般教育として、学生に学ばせるかを検討することは重要であると著者らは考える。

本稿では、参照基準「ウ 情報を扱う機械および機構を設計し実現するための技術」の分野に焦点をあて、大学の一般情報教育としての学習目的と学習手法を検討することを目的とする。情報化の中で、学生は情報機器を身近に利用しているものの、その仕組みはブラックボックスのままであることを気にも留めていない。しかしながら、今後も情報化は進み、人工知能がさまざまな予測と判断を行うことが予見される現在、コンピュータがどのような基本原理で動作しているか、その概念と動作原理を適切に理解しておくことは重要であると考え。さらに、コンピュータを用いて、どのような処理をどの手順

で行うとどのような結果が導かれるかといった問題解決を図る「コンピューショナル・シンキング」を学ぶことも、技術進展に伴う人間社会のリスクや課題について考察する際の基礎力として必要な教育であると考え。

そこで、コンピュータの動作原理を理解することを学習の基本的な目的とし、その学習手法として、CPU の動作原理を体験できる CPU シミュレータを用いて、具体的な計算手順を考えさせ、学生の反応を確認することとした。

2. CPU の動作原理の理解に関わる授業実践

本実践は、北海道大学の一般情報教育科目として第一著者が担当している「情報学Ⅱ」（一年生後期の選択科目）で行った。2016 年度後期に行った実践で、対象者は理系を中心とした 25 名である。

2.1. 教科書の記述内容

本科目で利用している教科書（大内ほか 2006）では、CPU の動作に関わる記述の構成は以下のとおりである。

第 7 章 コンピュータの構成としくみ

7.3 ソフトウェアの原理

7.3.2 CPU の基本動作

7.3.2 の CPU の動作原理の記述は、約 2 ページである。プログラム内蔵方式であり、主記憶装置にプログラムの命令やデータが格納されること、主記憶装置には記憶の単位毎に番地があり、番地の指定で内容を参照できること、CPU の概念図（プログラムカウンタ、命令レジスタ、演算レジスタ、算術演算回路などから CPU が構成される概念図）、主記憶装置における番地と対応する命令やデータが記述された図などが掲載されている。また、CPU の動作として、命令フェッチ、命令デコード、命令実行の 3 ステップで 1 サイクルとなっていること、ならびに簡単な加算（1+2）での計算プログラムの手順が具体的に記述されている。なお、これらの命令やデータ、番地は実際には 2 進法でコード化されている旨の記

述はあるが、教科書では「4番地にあるデータを演算レジスタにコピーせよ」というように日本語と10進数表現で記載されており、2進法では表現されていない。

2.2. CPU シミュレータの利用

CPUの動作原理の理解を目指した教材として、ウェブブラウザ上で動作するCPUシミュレータ(以下単に教材と呼ぶ)が、第三著者の研究室で開発されている(中西研究室卒業研究課題 2015)。本教材を、第一著者の授業で実践するために、学習管理システム上に掲載しておき、学生が授業時に個々に用いることができるようにした。本教材の「使い方」や「演習問題」ファイルも合わせて掲載した。「演習問題」ファイル内には後述する設問が掲載されており、本教材を用いて解くことを次週までの課題として課した。図1の授業資料画面で「CPUの動作原理」のリンクをクリックすると別ウィンドウに図2の画面が表示され、チュートリアルを確認できる。

CPUの動作原理の理解を目指す本教材の画面は、大きく縦に3等分されている。左側は命令セットを示しており、主記憶への命令の追加・挿入ができる。中央部分は、主記憶装置を示し、司令部(上部)とデータ部(下部)に分けてその内容が表示される。右側はCPUを示し、レジスタ類と演算装置(ALU)、ならびに実行等を行うボタンが付与されている。

命令セットは、読み込み、書き込み、加算、減算、

条件分岐、無条件分岐、終了が用意されており、次の指定(X, Yは具体的な値)ができる。汎用レジスタはA, B, C, Dの4つが用意されており、それぞれを指定できる。また、主記憶上の命令を削除するための「削除」ボタンが用意されている。

読み込み「主記憶のX番地のデータをレジスタYに読み出す」

書き込み「レジスタXの値を主記憶Y番地に格納する」

加算「レジスタXとレジスタYの値を加算してレジスタXに格納する」

減算「レジスタXからレジスタYの値を減算してレジスタXに格納する」

条件分岐「もし一つ前の結果が(正, 負, 零, 非零, の4つから選択)なら, X番地にジャンプする」

無条件分岐「X番地にジャンプする」

終了「処理を終了する」

本教材は、高等学校の共通教科「情報」の「情報の科学」における補助資料として作成されたものであるが、高校で「情報の科学」を履修する生徒は2割に過ぎない(中央教育審議会教育課程部会情報ワーキンググループ 2016)。そのため、現時点では、大学の一般情報教育で扱う内容としても適当であると考えられる。なお、本教材は教科書に合わせて、命令やデータ、番地は、10進法で表記されている。



図1. 「情報学Ⅱ」の授業資料画面



図2. 「CPUの動作原理」の開始画面

主記憶装置		
番地	内容	
001	A ←	204番地の値 読み込み
002	B ←	205番地の値 読み込み
003	A ← A + B	加算
004	204番地 ←	A番地の値 書き込み
005	処理を終了する	
201		0
202		0
203		0
204		1
205		2
206		0

図3. 主記憶装置の204番地と205番地にデータが格納され、両者を加算するプログラムが命令部に記述される

番地	内容
001	A ← 204番地の値 読み込み
002	B ← 205番地の値 読み込み
003	C ← 206番地の値 読み込み
004	A ← A + B 加算
005	C ← C - C 減算
006	204番地から206番地にジャンプ 計算結果
007	204番地 ← A番地の値 書き込み
008	処理を終了する

図13 命令部

201	0
202	2
203	1
204	0
205	0
206	0
207	0
208	0
209	0
210	0

図14 データ部

図4. 「使い方」の資料におけるプログラム例

図3に、2.1節で記述したテキストと同じ例である1+2の計算を実行する命令を主記憶装置に入れた状態を示す。この命令列（プログラム）を1行ずつ実行すると、データの動きが矢印で示され、学生にとってわかりやすい。

2.3. 演習問題

本授業の実践では、次に示す演習問題を用いた。但し、8番目の設問（除算）は加算課題であり、次週までに提出を課す設問とはしなかった。

- 1) 主記憶装置へのデータの格納とコピー
「201番地に数値を格納し、202番地にコピーしてください」
- 2) 加算「5+3を行うプログラムを作成してください」
- 3) 減算「13-15を行うプログラムを作成してください」

- 4) 加算と減算の組み合わせ「4+8-12を行うプログラムを作成してください」
- 5) 分岐命令の使用「レジスタAに1を格納し、レジスタA同士を加算し続けてください」
- 6) 範囲を指定した加算「1から10までの足し算を行うプログラムを作成してください（使い方の資料にヒント）」
- 7) 乗算「7×9を行うプログラムを作成してください」
- 8) 除算「*÷*を行うプログラムを作成してください」（*は任意の正の整数）

設問6)では、「使い方」の資料にヒントがあることを示している。当該資料には、図4に示すプログラム例が、本教材の使用説明として記載されている。この命令は、1から3(202番地に書かれている数値)までの足し算を行うプログラムである。

2.4. 授業実践

本実践は、2016年11月30日の授業時(90分)に次の手順で行った。

- 1) 用語等の調査
- 2) アンケート調査 (1)
- 3) 教科書の該当ページの確認
- 4) アンケート調査 (2)
- 5) 教材確認と演習問題への解答 (授業終了時に提出)
- 6) アンケート調査 (3)
- 7) 残った演習問題を翌週授業時までに提出 (課題)

用語調査は、コンピュータの仕組みに関わるものも含む57個の用語について、「日常生活で知っている」「学校で学んだ(大学入学前)」「学校で学んだ(大学入学後)」「知らない」の4択で回答を求めた(複数選択可)。本実践に係る用語としては、主記憶装置、中央処理装置がある。用語調査を終えた後、アンケート調査(1)を行わせた。設問は次の7問で、いずれも自由記述とした。

設問1: コンピュータの基本的な構成において、命令やデータを保存する装置を何と言いますか? 「○○装置」と答えてください。(解答 主記憶装置)

設問2: CPUの内部で、一時的にデータを格納する

素子を一般に何と言いますか？

設問 3：CPU の内部で、実行している命令を格納する素子を何と言いますか？

設問 4：コンピュータの基本的な構成において、加算減算などを行う装置は何と言いますか？「〇〇装置」と答えてください。

設問 5：CPU の内部で、次に実行する番地を格納する素子を何と言いますか？

設問 6：コンピュータの基本的な構成において、設問 2 から設問 5 までの機能を持つ装置を何と言いますか？「〇〇装置」と答えてください。(解答 中央処理装置)

設問 7：コンピュータが数値演算を行う際に、扱える数値の範囲を超えてしまうことを何と言いますか？

アンケート (2) と (3) は、アンケート (1) の 7 つの設問に加え、以下の 4 つの設問についての回答を 5 段階で求めた (計 11 設問)。

- ・コンピュータの基本となる動作を理解できましたか？
- ・コンピュータの仕組みについて興味を持ってましたか？
- ・コンピュータの制御、演算、記憶などのそれぞれの機構について、理解できましたか？
- ・コンピュータの仕組みについて今後少しでも学びたいと思いましたか？

授業時の説明では、教材を確認させながら、CPU 内には、レジスタと呼ばれる少容量で高速な記憶領域があり、一時的に値を保存できること、主記憶装置には命令とデータを格納できること、などを説明した。その後、演習問題の 1 と 2 の内容は、画面を見せながら一緒に行った。さらに、演習問題ファイルを確認させ、演習問題 1 については、記述例も示した。これらの授業の説明と、各自での演習問題の実施時間は、合わせて約 50 分であった。

3. 実践結果

3.1. 用語調査とアンケート調査 (1) の結果

表 1 に示す通り、用語調査において、主記憶装置、

中央処理装置について、「日常生活の中で知っている」と答えたものはそれぞれ 44%、56%、「知らない」との回答はそれぞれ 32%、36%である。しかし、その後のアンケート調査 (1) において、主記憶装置と中央処理装置を回答させる設問を両方正しく記述できた学生は一人もいなかった。特に、主記憶装置については、(記憶装置等の曖昧な回答も含めると) 用語調査で「知っている」「学んだ」と回答した学生の 53% が正解していたものの、中央処理装置について、正しく回答できたものは、25 名中 1 名に過ぎなかった。

3.2. 教科書確認後のアンケート調査 (2) の結果

教科書確認後のアンケート調査 (2) の回答を用語調査結果とともに分類した結果を表 2、表 3 に示す。用語調査は、複数選択を許したため、「学校で学んだ」を一つでも選択したもの、「日常生活で知っている」のみを選択したもの、「知らない」を選択したものの 3 種に分類し、その上で、アンケート調査 (2) における主記憶装置、中央処理装置を問う設問の回答状況を表 2、表 3 にそれぞれ示したものである。これらは自由記述の設問のため、回答を正解、誤り、正解に似ているが正確ではないもの (曖昧と表記) の 3 種に分けた。

コンピュータの動作原理の理解・興味に関わる設問 (具体的な設問の表現は前章終わりを参照) の結果を表 4 に示す。興味や今後の学習意欲について

表 1. 用語調査結果 (図中の割合は、各選択肢の回答数を回答者数 25 で除したものである)

	主記憶装置	中央処理装置
日常生活で知っている	44%	56%
学校で学んだ (大学入学前)	16%	20%
学校で学んだ (大学入学後)	20%	20%
知らない	32%	36%

表 2. 主記憶装置に関する用語とアンケート (2) の関係

主記憶装置について回答する設問	主記憶装置 (正解)	記憶装置 (曖昧)	中央処理装置 (誤り)
「学校で学んだ」を含む回答者	8	0	0
日常生活で知っている	6	2	1
知らない	7	0	1

表 3. 中央処理装置に関する用語とアンケート(2)の関係

中央処理装置について回答する設問	中央処理装置 (正解)	処理装置など (曖昧)	主記憶など (誤り)
「学校で学んだ」を含む回答者	6	1	0
日常生活で知っている	6	1	2
知らない	7	0	1

* 未回答 1 名

表 4. コンピュータに関する理解・興味の調査結果

	1: 低	2	3	4	5: 高
基本動作の理解	5	13	5	2	0
仕組みについての興味	6	2	10	1	6
制御, 演算, 記憶などの各機構の理解	0	11	6	0	0
仕組みについての今後の学習意欲	4	4	8	4	5

は, 3 を中心に分散しているが, 基本動作の理解および制御, 演算, 記憶などの各機構の理解は, 全体に理解度は低く, 単に教科書を読むだけでは不十分であることを示している。

3.3. 教材確認後のアンケート調査 (3) の結果

教材確認後のアンケート調査 (3) の回答を 3.2 と同様に分類した結果を表 5, 6 に示す。

主記憶装置, 中央処理装置を問う設問について, 各用語を「日常生活で知っている」と答えた学生において, 正解者が教科書確認後の調査に比べ減っている (正解者は主記憶装置については 6 名から 4 名, 中央処理装置については 6 名から 5 名に変化している) ことがわかる。

コンピュータの動作原理の理解・興味に関わる設問結果を表 7 に示す。すべての設問を通して, 1 とした学生はおらず, 興味や今後の学習意欲は高評価である。また, 基本動作の理解および制御, 演算, 記憶などの各機構の理解は, 興味や意欲より低めではあるものの, 平均以上の理解をしていると自己評価していることがわかる。

授業終了時に提出した演習問題では, 概ねの学生が設問 5 (14 名) までを終えた。設問 3, 4 までの完了者が各 1 名, 設問 6 までが 2 名, 設問 7 までが 6 名であった。この時点で加点課題を提出した学生は

表 5. 主記憶装置に関する用語とアンケート(3)の関係

主記憶装置について回答する設問	主記憶装置 (正解)	記憶装置 (曖昧)	中央処理装置 (誤り)
「学校で学んだ」を含む回答者	8	0	0
日常生活で知っている	4	2	2
知らない	7	0	0

* 未回答 2 名

表 6. 中央処理装置に関する用語とアンケート(3)の関係

中央処理装置について回答する設問	中央処理装置 (正解)	処理装置など (曖昧)	主記憶など (誤り)
「学校で学んだ」を含む回答者	7	0	0
日常生活で知っている	5	1	2
知らない	8	0	0

* 未回答 2 名

表 7. コンピュータに関する理解・興味の調査結果

	1: 低	2	3	4	5: 高
基本動作の理解	0	5	10	5	4
仕組みについての興味	0	2	4	7	9
制御, 演算, 記憶などの各機構の理解	0	7	7	7	3
仕組みについての今後の学習意欲	0	2	7	6	8

* 未回答者は各設問で 1-3 名

表 8. コンピュータに関する理解・興味の調査結果

	設問 5 まで	設問 6 以上
基本動作の理解	3.3	3.8
仕組みについての興味	3.6	4.3
制御, 演算, 記憶などの各機構の理解	3.4	3.3
仕組みについての今後の学習意欲	3.6	3.9

* 未回答者は各設問で 1-3 名

いなかった。2.3 節の演習問題で, 条件分岐を本格的に用いる設問は, 和を求める設問 6 からである。設問 5 で授業を終えた 14 名と, 設問 6 以上を提出した 8 名に分け, アンケート (3) のコンピュータに関わる理解・興味の調査結果を比較した結果を表 8 に示す。各設問を 5 段階評価した個々の値を量的データとみなし, その平均値を求めたものである。設問 6 以上まで解いた学生は, 設問 5 までの学生と比較して, コンピュータの基本動作の理解および仕

組みについての興味が低いものの、制御、演算、記憶などの機構の理解はそれに比して低く設問5までの学生と差がないことがわかる。

3.4. 翌週までの課題提出

授業の翌週までの課題提出では、必須での課題である設問7までを完成させたものが20名、残り5名がそれ以前の設問に留まるか、未提出（提出ミスを含む）であった。また、設問7までを完成させた20名のうち、8名はさらに加算課題である除算についても取り組んだ。除算は具体的な値を各自で示すように指示しているため、余りの考慮の有無は判断が分かれた。余りを考慮したプログラムを記載した学生は3名であった。この除算についての誤り例と余りの考慮例を図5、図6に示す。

図5は終了まで到達できないプログラムであり、商が求まった段階で無限ループに入るものになっている。図6は、余りがある除算ではうまくいくものの、割り切れる場合には、余りが割られる数と一致してしまうバグがある。

主記憶装置

番地	内容	000	D ← D + C 加算
001	A ← 201番地の値 読み込み	009	204番地 ← D 番地の値 書き込み
002	B ← 202番地の値 読み込み	010	001番地にジャンプ 無条件分岐
003	C ← 203番地の値 読み込み	011	処理を終了する
004	D ← 204番地の値 読み込み		
005	A ← A - B 減算	201	
006	正なら001番地にジャンプ 条件分岐	202	
007	201番地 ← A 番地の値 書き込み	203	
		204	

図5. 無限ループとなる除算の計算例（余り考慮無し）

主記憶装置

番地	内容	000	A ← A + B 加算
001	A ← 201番地の値 読み込み	010	206番地 ← A 番地の値 書き込み
002	B ← 202番地の値 読み込み	011	205番地 ← C 番地の値 書き込み
003	C ← 203番地の値 読み込み	012	処理を終了する
004	D ← 204番地の値 読み込み		
005	C ← C + D 加算	201	
006	A ← A - B 減算	202	
007	正なら005番地にジャンプ 条件分岐	203	
008	C ← C - D 減算	204	
		205	
		206	

図6. 余りを考慮した除算の計算例（205番地に商、206番地に余りを格納。但し、割り切れる際のバグあり）

4. 考察

前章の結果で、教科書確認後の調査と教材確認後の調査の結果を比較したものを表9に示す。

各設問で、同じ段階の選択箇所を網掛けで表示した。各設問で、殆どが網掛けで区切られた領域の右側に人数がシフトしており、教科書の確認に加えた教材確認により、理解や興味がより増していることがわかる。特に、コンピュータの基本動作の理解と、制御、演算、記憶などの機能についての理解に関しては、教科書を確認するだけでは、「高い」とする学生はいなかったが、教材を確認することで、高い理解度と自己評価した学生が増えていることがわかる。

興味と学習意欲に関しては、教材確認後の方が概ね向上しているものの、数人の例外がある。表9に

表9. 教科書確認後および教材確認後のコンピュータに関する理解・興味の調査結果の比較

基本動作の理解		教材確認後				
		1: 低	2	3	4	5: 高
教科書確認後	1: 低	0	1	2	0	0
	2	0	4	6	3	0
	3	0	0	2	1	2
	4	0	0	0	1	1
	5: 高	0	0	0	0	0
仕組みについての興味		教材確認後				
		1: 低	2	3	4	5: 高
教科書確認後	1: 低	0	1	1	1	0
	2	0	1	1	0	0
	3	0	0	1	5	3
	4	0	0	0	1	0
	5: 高	0	0	1	0	5
制御、演算、記憶などの各機構の理解		教材確認後				
		1: 低	2	3	4	5: 高
教科書確認後	1: 低	0	3	2	1	0
	2	0	4	4	2	1
	3	0	0	1	4	1
	4	0	0	0	0	0
	5: 高	0	0	0	0	0
仕組みについての今後の学習意欲		教材確認後				
		1: 低	2	3	4	5: 高
教科書確認後	1: 低	0	0	1	0	0
	2	0	0	2	1	1
	3	0	2	4	2	0
	4	0	0	0	3	1
	5: 高	0	0	0	0	5

おける例外部分に斜線の網掛けを施した。「仕組みについての興味」で、教材確認後に興味を減じた学生1名は、演習問題は設問5まで解くなど平均的な出来の学生であり、興味が減じた理由は不明である。しかし、今後の学習意欲に関する設問で意欲を減じた2名の学生については、授業終了時の提出内容には不備があり、最終的な課題提出内容にも難があるものであった。教材を適切に理解できていなかったことが、意欲を減じた理由として考えられる。

一方で、加点課題を行った学生の教材確認後の調査における理解、興味の設問の内訳を表10に示す。コンピュータの仕組みについての興味、学習意欲が高く、加点課題に取り組む動機づけになっていることが考えられる。

学生のなかには、当座の演習問題を解ければ良いとの考えで、汎用的なプログラムではなく、当該の問題に特化したプログラムを考えることがある。本実践のなかの、1から10までの和を計算させる演習問題では、主記憶のデータ部に1から10までの値を一つずつ入れ、それを個々に足していく命令を10回繰り返すような回答の記述が複数あった。一方、加点課題に取り組んでいる学生のなかには、各演習問題において、「1から任意の数での足し算を行うプログラム。任意の数をX番地に入力すると、解がY番地に表示される。」といった汎用化した説明を加えるものもいた。

前章で示した通り、加点課題提出者の作成したプログラムには、問題のあるものも含まれている。余りを適切に考慮した学生の一人は、「割り切れないものを出すのは簡単だったが、割り切れるときの例外を考えるのが大変だった」との感想を述べていた。

本教材は、CPUの動作原理を理解するための教材であるが、このような学生の種々の回答から、コンピューショナル・シンキングを強化する学習としても位置付けることが可能であると考えられる。個々の具体的な問題を解くことをゴールとする第一段階から、具体的な問題の解を踏まえ、与えられた値が変更した際にも使えるようなプログラムであるかを確認し、汎用化を考える第二段階、さらには、その汎用化における例外の有無を検討し、例外処理を検討する第三段階などが考えられるのではなかろうか。

表10. 加点課題提出者の理解・興味の結果

	1: 低	2	3	4	5: 高
基本動作の理解	0	0	3	4	1
仕組みについての興味	0	0	1	2	4
制御、演算、記憶などの各機構の理解	0	1	1	6	0
仕組みについての今後の学習意欲	0	0	2	3	3

5. まとめ

本稿では、大学の一般教育としての情報教育において、コンピュータの動作原理を理解することを学習の基本的な目的とし、学生に、CPUの動作原理に関わる教科書の確認に加え、教材としてCPUシミュレータを用いてマシン語レベルでの計算手順を考えさせる実践を行った。調査結果から、演習問題を解かせていく中で、コンピュータの基本原則に関する理解度、興味、今後の意欲などが向上していることが確認できた。

実際の演習問題の取組内容から、本教材は、CPUの動作原理の理解を深化させることに加え、コンピューショナル・シンキングを強化する学習としても位置付けられる可能性があることが分かった。今後の授業の進め方としては、実際に提出された演習問題に対し、到達段階を学生間で相互評価し、コメントを付す課題などが考えられる。

本教材において、CPUの動作原理の説明には、2進法表現の具体的なコードは用いていない。それは教科書の記述でも同様である。CPUの動作原理に関わる基本的な概念を理解するためには、2進法の具体的なコードを当初用いない方略は妥当であると考えられる。しかし、基本的な動作を理解した後には、実際の2進法のコードでの表記についても対応関係をつけることで、CPUの動作原理に関する理解がより深化することが期待される。

今後は、前述のような相互評価や2進法での表記の理解などを含め、本教材を用いた学習シナリオ全体についての検討を進めていきたいと考える。

付記

本稿の CPU の動作原理に関する教材は、第三著者の研究室での竹井仁君（現在、IT 企業勤務）による 2015 年度卒業研究の成果である（この一部は JSPS 科研費 JP26350327 の助成を受けた）。本教材は、公開を予定しており、興味のある方は参考文献(中西研究室卒業研究課題 2015)を参照されたい。

参考文献

日本学術会議 情報学委員会 情報科学技術教育分科会 (2016), 「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 情報学分野」, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h160323-2.pdf> (2016 年 12 月 25 日閲覧)

大内東・岡部成玄・栗原正仁 (2006), 『情報学入門』, コロナ社

中西研究室卒業研究課題 (2015), 「日本語表現の機械語命令列をアニメーション実行可能な CPU 動作原理の学習教材」, http://www.oit.ac.jp/is/~naka/server/task/2015/2015_6th.pdf (2016 年 12 月 25 日閲覧)

中央教育審議会教育課程部会情報ワーキンググループ (2016), 「情報ワーキンググループにおける審議の取りまとめ」(1 ページ参照), http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/059/sonota/_icsFiles/afieldfile/2016/09/12/1377017_1.pdf; 「平成 27 年 10 月 22 日教育課程部会情報ワーキンググループ 資料 8」(15 ページ参照), http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/059/siryo/_icsFiles/afieldfile/2015/11/11/1363276_08_1.pdf, (2016 年 12 月 31 日閲覧)