

電気通信大学プログラミング教室における CPU の仕組みを学ぶ夏季集中講座の実践

島崎俊介^{*1,2}, 宮澤修^{*2,3}, 安部博文^{*1,2}

^{*1} 電気通信大学

^{*2} 電気通信大学認定ベンチャー 特定非営利法人 uec サポート

^{*3} 東京工業大学大学院

Practice of intensive summer courses to learn CPU architecture in UEC programming school

Toshiyuki SHIMAZAKI^{*1,2}, Osamu MIYAZAWA^{*2,3}, Hirofumi ABE^{*1,2}

^{*1} The University of Electro-Communications

^{*2} NPO uec support

^{*3} Graduate School of Tokyo Institute of Technology

本稿では、電気通信大学プログラミング教室において 2019 年 8 月に実施した夏季集中講座について報告する。夏季集中講座では、小中高生の生徒 45 名が 2 日間で 4 ビット CPU の仕組みとして、1) CPU の 3 つのサイクル、2) 2 進数の 2 つを理解することを目的に実践を行った。実践前の事前アンケート結果では、学校で CPU の仕組みを学んだことがない生徒が 41 名いたが、実践後の確認テスト結果では、全生徒の平均点が 73.5 点であった。本実践の 3 つの仮説に対応した教材を用いることで、2 日間の短期講座であっても小中高生が学年によらず CPU の仕組みを理解できる可能性が示唆された。

キーワード: プログラミング教育, CS 教育, CS アンプラグド, プログラミング的思考, Computational Thinking

1. はじめに

1.1 研究の背景

日本国内において、2020 年度より小学校プログラミング教育が必修化される。学習指導要領の改訂に伴い、中学校プログラミング教育は 2021 年度、高等学校プログラミング教育は 2022 年度に実施される見込みである⁽¹⁾。これらの背景から小学生・中学生・高校生（以下、小中高生）を対象としたプログラミング教育が注目され、多くのプログラミング教室が開講している。

文部科学省によると、小学校プログラミング教育の目的は、ソースコードを記述するスキルを身につけるのではなく、目的達成のための一連のプロセスを論理的に設計・選択するために必要な思考法であるプログラミング的思考を身につけることを目的としている⁽²⁾。

1.2 電気通信大学プログラミング教室の概要

筆者らは、2016 年 5 月より電気通信大学プログラミング教室（以下、当教室）を開始した。当教室は、毎週日曜日に開講しており、授業は、プログラミングに関連する情報提供、生徒間のグループコミュニケーション、コンピュータサイエンス（以下、CS）解説とクイズ、生徒がプログラミングする時間の 90 分授業を通常授業として運営している。当教室では、初心者が学ぶプログラミング言語として Python を推奨している。月末は、120 分授業として、生徒が開発したプログラムを生徒や保護者に発表する成果発表会を行っている。2020 年 2 月現在、小学 5 年生から高校 2 年生あわせて 94 名が在籍している。講師は、電気通信大学の現役学生、OB、当教室 OB の大学生が務めている。

教材は、電気通信大学アライアンスセンターに入居している企業のエンジニアが監修している。当教室の運営は、電気通信大学認定ベンチャーNPO 法人 uec サポート社員が産学官連携体制で運営している。

当教室では、上記の通常授業に加えて、毎年 8 月は通常授業の代わりに、2 日間の夏季集中講座を開講している。今までのテーマとして、micro:bit を用いた演習講座や、Raspberry Pi を用いたダンボールコミュニケーションロボット作成講座を実施してきた。2019 年度は、コンピュータに内蔵されている CPU(Central Processing Unit)の仕組みを生徒が体験しながら 2 日間で学べる夏季集中講座を試みた。CPU の仕組みを題材にした理由は、通常授業の CS 解説で CPU の仕組みを題材にしたとき、クイズの正答率が低かったことや、生徒より CPU の仕組みが難しいという感想があったからである。

1.3 研究の目的

本研究の目的は、当教室の生徒が 2 日間で CPU の仕組みを実際に体験しながら理解することである。具体的には、当教室が作成した教材を生徒が活用し、1)CPU の 3 つのサイクル、2) 2 進数、これら 2 つを理解することとする。

2. 先行研究

2.1 小中高生を対象とした CS 教育の現状

小中高生を対象としたコンピュータサイエンス教育（以下、CS 教育）に関する調査として、久野ほか（2015）では、初等中等教育における段階を考慮した情報教育のカリキュラム体系を提案している⁽³⁾。この論文では、諸外国の CS 教育の現状を踏まえ、日本国内における小中高生向けの CS 教育のあり方として、小中高いずれの段階においてもコンピュータの原理を学ぶことの必要性を提案している。

小田ほか（2019）では、日本における中等教育の CS 教育について調査を行っている⁽⁴⁾。この調査によると、中学校の技術・家庭科から学校種が上がるに従い CS に関する内容が増えているというという結果であった。

実際に、中学校の新学習指導要領である中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説技術・家庭編⁽⁵⁾によると、D 情報の技術において、「ア 情報の表現、記録、

...（中略）...理解することでは、コンピュータでは全ての情報を「0」か「1」のように二値化して表現していることや、単純な処理を組み合わせることで目的とする機能を実現していること」と記述されている。これより、中学生は 2021 年度以降、コンピュータは 2 進数を用いて情報を表現していることを学ぶことがわかる。

また、高等学校の新学習指導要領高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説情報編⁽⁶⁾によると、イ（ア）コンピュータで扱われる情報の特徴とコンピュータの能力との関係について考察することにおいて、「コンピュータの仕組みや構造を取り上げ、...（中略）...データが CPU、メモリ、周辺装置の間でやり取りされていること、コンピュータがデータを処理する作業場所としてのメモリの役割、CPU が機械語のプログラムをデータとして読みながら実行することなどを扱う」と記述されている。これより、高校生は 2022 年度以降、情報の授業で CPU の仕組みを学ぶことがわかる。

CS 教育の現状を調査した結果、日本国内において、現行の学習指導要領で学んでいる小学生と中学生は CPU の仕組みを学んでおらず、高校生になって CPU の仕組みを始めて学ぶことが確認できた。今後、新学習指導要領では CS 教育の割合が高くなるため、小中高生がコンピュータの仕組みを学ぶ上で CPU の仕組みを学ぶ機会が増えることが予想される。

2.2 日本国内におけるプログラミング教室の現状

近年、小中高生を対象としたプログラミング教室が多く開講されている。2017 年の総務省の調査によると、関東圏では 113 教室が開講されている⁽⁷⁾。実際にこれらの教室を調査すると、その多くが、ワークショップ形式の短期集中で開講されている。特に、大学発で毎週、継続的に実施しているのは当教室のみである。

また、2020 年 2 月現在、既存のプログラミング教室において、小中高生を対象とした CPU の仕組みを学ぶ実践は見当たらなかった。そこで、小中高生を対象としたプログラミング教育に関する実践に着目すると、永田ほか（2019）⁽⁸⁾、島袋ほか（2018）⁽⁹⁾、中川（2019）⁽¹⁰⁾の通り、ビジュアルプログラミング言語や ICT 機器を用いたプログラミング的思考の育成を目的とした実践が多く見られた。現状のプログラミング教育の実践では、CS 教育に注力している実践は少ないといえる。

2.3 CS アンプラグド

近年、CS 教育において、コンピュータを使わずに CS を学ぶことができる CS アンプラグドが注目されている。CS アンプラグドは、Wing⁽¹¹⁾の提唱する Computational Thinking（以下、CT）の育成を目的とした実践例が多くある。その中で本研究では、石塚ほか⁽²⁰¹⁵⁾の実践と⁽¹²⁾渡波⁽²⁰⁰³⁾⁽¹³⁾を参考にした。石塚の実践では、小学生でも2進数を学べるカードゲーム形式のCS アンプラグドを活用し、小学生でも2進数を理解できることを明らかにしている。2進数は、CPU を学ぶ上で必要な概念である。本研究ではCS アンプラグドの教育効果の高さに着目し、CPU の仕組みを学べるCS アンプラグド教材の作成を検討する。

3. 方法

3.1 仮説に対応した教材の作成

本研究では、先行研究及び当教室の知見を踏まえ、生徒が CPU の仕組みを学ぶ上で必要であると考えられる以下の3つの仮説を立てた。

仮説①：概念的理解

仮説②：身体的理解

仮説③：現物理解

仮説①は、生徒が CPU の3つのサイクルを知識として理解することである。生徒は、CPU が0と1で表現された命令をフェッチ(Fetch)し、命令を解読して実行する処理の理解に苦しんでいる。そこで、仮説①に対応し、CPU の3つのサイクルを①命令の取り出し、②命令の解読、③命令実行の過程をアニメーションで学べる CPU の仕組みスライドを作成した(図1)。

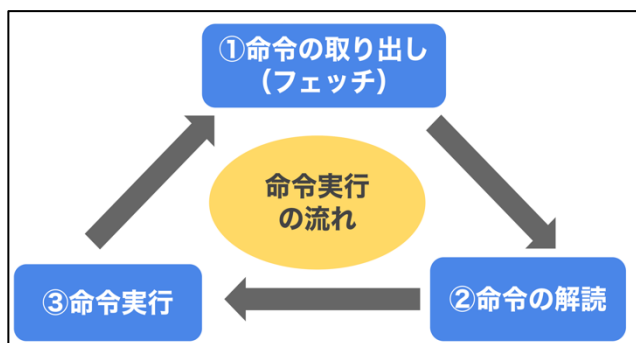


図1 CPU の仕組みスライド

仮説②は、生徒が CPU の3つのサイクルを疑似体験することで理解することである。仮説①の CPU の仕組み

みスライドだけでは必ずしも CPU の3つのサイクルを理解できないと想定する。そこで、仮説②に対応し、生徒がゲーム感覚で3つのサイクルを体験できるCS アンプラグド(以下、CPU 教材)を作成した(図2)。



図2 CPU 教材

仮説③は、生徒が実際に CPU そのものを実際に見て理解することである。仮説②の CPU 教材で実際に体験するだけでなく、CPU がその通りに動作していることを視覚的に確認できる必要があると考えた。そこで、仮説③に対応し、演算命令に特化した4ビットCPU回路をブレッドボードとLEDを用いて作成した(図3)。

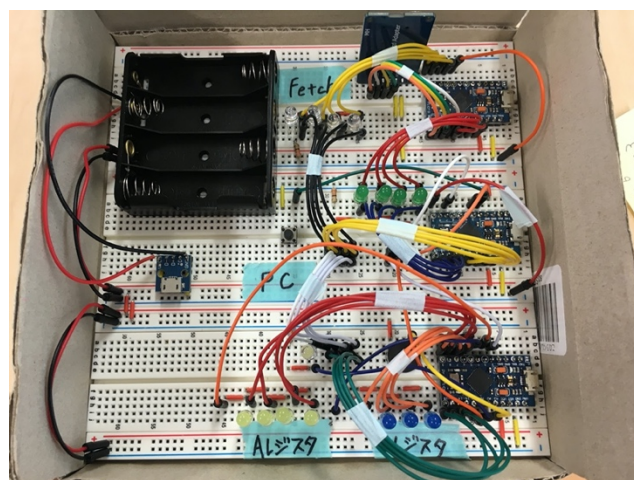


図3 4ビットCPU回路

3.2 事前アンケート

1日目冒頭に生徒45名に下記4つの質問を行った。

質問①：所属を選んでください

小学生 / 中学生 / 高校生

質問②：学年を選んでください

1 年生 / 2 年生 / 3 年生 / 4 年生 / 5 年生 / 6 年生

質問③：学校の授業でコンピュータのしくみ（ハードウェア，CPU など．Word や Excel は除く）を勉強したことはありますか？

はい / いいえ

質問④：学校の授業で 2 進数の計算を勉強したことがありますか？

はい / いいえ

3.3 実践

表 1 に 2 日間の日程を示す．各時限は 90 分で，実践は，2019 年 8 月 19 日，20 日の A 日程と 2019 年 8 月 21 日，22 日の B 日程に分かれて同じ内容で実施した．

表 1 夏季集中講座の 2 日間の日程

1 日 目	1 限	CPU の話	【概念的理解】
	2 限	CPU なりきり演習	【身体的理解】
	3 限	CPU 回路でプレイ	【現物的理解】
	4 限	まとめ	
2 日 目	1 限	CPU なりきり演習#2	【身体的理解】
	2 限	CPU 回路でプレイ#2	【現物的理解】
		コンピュータの話	【概念的理解】
	3 限	デモ&プレイ	
	4 限	まとめと理解度調査	

1 日目の 1 限は，作成したスライドを用いて CPU の 3 つのサイクルに関する講義を行った（図 4）．



図 4 1 限 CPU の話の様子

1 日目の 2 限は，CPU 教材を用いて生徒同士で CPU なりきり演習を行った．演習は，1)命令を取ってくる Fetch 担当，2)Move 命令を実行する Move 担当，3)演算を行う ALU 担当，4)命令のデコードを行う Decoder 担当，5)レジスタの値を増やす Program Counter 担当，計 5 つの担当に分かれて 1 限で学んだ CPU の 3 つのサイクルを体験した（図 5）．



図 5 2 限 CPU なりきり演習の様子

1 日目の 3 限は，当教室で作成した 4 ビット CPU 回路を生徒に 1 つずつ配布した．実際に 1 限と 2 限で学んだ CPU の 3 つのサイクルと同じ命令を機械語で 4 ビット CPU 回路に書き込み動作確認を行った（図 6）．本実践では，時間の制約上，生徒一人ひとりが 4 ビット CPU 回路を作ることができなかったため，電池，抵抗，LED について説明を行うことで，どのように 4 ビット CPU 回路が動作しているかを理科の授業と関連付けて解説した．



図 6 3 限 CPU 回路でプレイの様子

1 日目の 4 限は、1 限、2 限、3 限で学んだことの振り返りを行い、感想を書いて終了した。

2 日目の 1 限は、1 日目の 2 限で実施した CPU なりきり演習をもう一度行った。生徒は 2 日目で演習にも慣れていたため、命令を複雑にし、グループ対抗で処理速度を競い合った (図 7)。



図 7 1 限 CPU なりきり演習#2 の様子

2 日目の 2 限は、1 日目の 3 限で実施した CPU 回路でプレイをもう一度行った。2 日目は 1 日目より複雑な命令を生徒自ら考え機械語で記述し、4 ビット CPU 回路に書き込む演習を行った (図 8)。

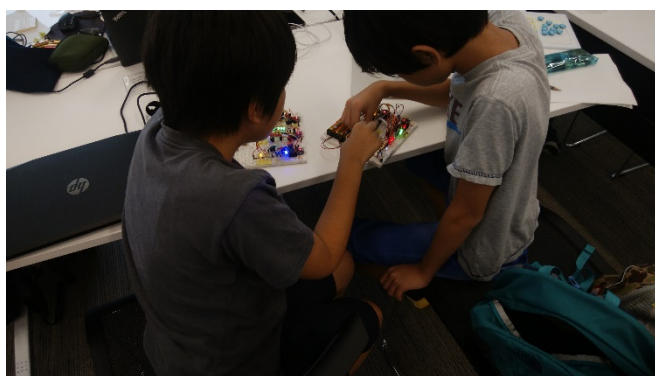


図 8 2 限 CPU 回路でプレイ#2 の様子

2 日目の 3 限は、講座の集大成として、4 ビット CPU 回路を用いてサービスを提案する実習を行った。実習の目的は、生徒が 2 日間の講座を通して 4 ビットの 2 進数を 10 進数に変換できるかを確認するためである。ある生徒は、出た目を 10 進数の運勢に読み替えるおみくじサービスを考えていた (図 9)。



図 9 3 限デモ & プレイの様子

3.4 確認テスト

2 日目の 4 限は、最後に仮説検証を目的とした確認テストを行った。確認テストは、仮説①：概念的理解、仮説②：身体的理解、仮説③現物理解の観点毎に設計し、問題数は 21 問で 100 点満点とした。回答者は生徒 45 名全員で、確認テスト終了後、生徒は 2 日間の感想を記述し、講座は終了した。

4. 結果

4.1 事前アンケートの結果

事前アンケートの結果によると、生徒の内訳は小学生 13 名、中学生 18 名、高校生 14 名であった。学校で CPU の仕組みを学んだことがある生徒は、小学生 0 名、中学生 2 名、高校生 2 名で、2 進数を学校で学んだことがある生徒は、小学生 1 名、中学生 3 名、高校生 11 名であった。

4.2 確認テストの結果

表 2 に小中高生別の得点結果、表 3 に問題別の正答率を示す。小中高生 45 名全員の確認テストの平均点は 73.5 点であった。

表 2 小中高生別の得点

	平均点	最低点	最高点
小学生	63.5	30	85
中学生	69.4	30	95
高校生	87.9	60	105

表3 問題別の正答率

問題		正答率
【概念的 理解】	Q1:CPU の正しい名称はどれですか？	75.6
	Q2:CPU の中には、演算装置や制御装置など重要な装置が組み込まれています。CPU の中にはないものはどれですか？	86.7
	Q3:名称と役割で間違っているのはどれですか？	80.0
	Q4:CPU はいつも同じ手順で命令を実行しています。正しいのはどれですか？	93.3
	Q5:プログラムカウンタの役割はどれですか？	77.8
【身体的 理解】	Q6:CPU の処理スピードを上げるのに次の中で最も有効な方法はどれですか？	66.7
	Q7:1 ビットで表現できない例はどれですか？	91.1
	Q8:1 ビットで表現できる情報量は何通りですか？	84.4
	Q9:2 ビットで表現できる情報量は何通りですか？	84.4
	Q10:3 ビットで表現できる情報量は何通りですか？	68.9
	Q11:4 ビットで表現できる情報量は何通りですか？	86.7
	Q12:8 ビットで表現できる情報量は何通りですか？	44.4
	Q13:16 ビットで表現できる情報量は何通りですか？	62.2
	Q14:32 ビット、64 ビットで表現できる情報量の組合せで正しいのはどれですか？	33.3
	Q15:0101 は何ビットで表現していますか？	71.1
	Q16:1011 を 10 進数に変換すると $8+0+2+1$ で 11 です。同様に 0100 は $0+4+0+0$ で 4 です。次のうち間違っているのはどれですか？	95.6
	Q17:機械語は、命令を 2 進数で表現したものです。「機械語は人間に分かりにくい」と言われる理由のうち、適切でないものはどれですか？	28.9
【現物 理解】	Q18:電池の電圧は 1 本で 1.5 ボルトです。6 ボルトを得たいときの本数とつなぎ方は次のどれですか？	80.0
	Q19:直列つなぎと並列つなぎの特長で間違っているのはどれですか？	37.8
	Q20:抵抗については間違っているのはどれですか？	46.7
	Q21:LED について間違っているのはどれですか？	68.9

4.3 生徒の感想

生徒の代表的な感想を抜粋する（表4・表5）。

表4 1日目の生徒の感想

感想	
A 日程	・体を実際に動かすことでパソコンの仕組みについて理解する事が出来ました。 ・難しい内容だったので初めの授業だけでは少しわかりにくかったが、実際に体を動かして学ぶことで理解することができた。 ・1限の説明時は、大体わかったぐらいでしたが、2限中盤では人に説明できるぐらいになりました ・時間が長く、持久戦だった。明日も耐えられるだろうか ・命令実行の流れを全身で学べた。体で学ぶやはフェッチがとくいだった。
	・普段何となく使っていた CPU について詳しく知ることができてよかった。Intel や AMD が作っている CPU は凄いなと思った。 ・二進数が完璧になった。とても分かりやすかった。 ・二進数 4 桁だとやれることって少ないと感じました。普段使ってるパソコンってすごいんだなと思いました。 ・2 進数について親近感が増した。 ・思ったより、短かったです。 命令の二進数の種類をもっと知りたいです

表5 2日目の生徒の感想

感想	
A 日程	・点数：100点 確認テストでいい点が取れてとても嬉しかった。また機械語についても興味を持った。 ・テスト中にビットの求め方がわかりませんでした。それ以外にも、あやふやなところがちょくちょく合ったので、家でもう一回軽く復習したいと思います ・57%ビットの問題が連続で正解出来た事がうれしかった。

	・学校の情報の授業の時間では CPU 軽く説明されただけで、二進数から十進数にする方法や、CPU についてほとんど知らない状態だったので二日間を通して CPU について深く知ることができました。自分が実際に CPU の役になって命令が出たらその通りに動くことによって、CPU 中の動きがより分かりやすくなりました。実際に、ゲーム作るのが楽しかったです。 ・ちゃんとできたと思っていたが理解が進んでなかったのが辛かった
B 日 程	・CPU について概念、身体、現物の 3 つから考えられたのは良かった。特に Fetch に時間がかかるというのが、身体で感じられてイメージが湧きやすかった ・実際の pc に使われている機械語はどうなるんだろう・・・32bit では 4294967296 通りだったよな。って 4294967296!?!?!? ・怖い・・・ ・結構問題間違えてた。理科の電気について、もっと学習するべきと思った ・4 ビットコンピューターを使って面白い作品を作ることができてよかった。また、CPU の仕組みも詳しく分かった。 ・夏季集中講座を受けていろいろわかってよかった

5. 考察

5.1 事前アンケートの結果に関する考察

4.1 節の事前アンケート結果では、45 名中 41 名が学校で CPU の仕組みについて学んでいないと回答した。この結果は、現行の学習指導要領では中学校技術で学び高等学校情報の授業でコンピュータの仕組みを学ぶからであると考ええる。また 2 進数は、現行の学習指導要領では同じく高等学校情報の授業で学ぶことになっているため、結果は妥当であると考ええる。

5.2 確認テストの結果に基づく仮説の検証

まず、仮説①：概念的理解の CPU の仕組みスライドの効果を検証する。表 2 の正答率に着目すると、Q1 から Q5 の全ての問題において 7 割以上であった。特に、Q4 は本実践で強調してきた CPU の 3 つのサイクルで

あり正答率は、93.3%であることから、多くの生徒が理解できていたと考えられる。

次に、仮説②：身体的理解の CPU 教材の効果を検証する。表 2 の正答率に着目すると、Q7 の 1 ビットから Q11 の 4 ビットで表現できる情報量についての正答率は、Q10 の 3 ビットを除き 8 割以上であった。Q10 の 3 ビットで表現できる情報量の不正解例として、6 通りという回答が一番多かった。Q12 から Q14 は、本実践では扱っていない 8 ビット、16 ビット、32 ビット、64 ビットの情報量を問う問題であったが、いずれも正答率が 7 割未満であった。身体的理解では、生徒が CPU なりきり演習で 5 つの担当を担うことで CPU の仕組みや 2 進数を身体で理解を目指した。その中で、ALU 担当は、4 ビットの計算を行う処理を行うため、2 進数を理解していないと担当が務まらない。実際に ALU 担当を多く担った生徒は、Q12 から Q14 に正しく回答している傾向がみられた。Q15 と Q16 は、4 ビットの 2 進数で表現された値を 10 進数に変換して計算する問題で、これらの正答率は 7 割以上であった。この結果は、生徒が身体的理解の問題で一番正答率が低かったのは Q17 の 28.9%であった。その理由として、我々が用意した選択肢の文章が適切ではなく、複数正解とともとることができたためと考える。

最後に、仮説③：現物理解の 4 ビット CPU 回路の効果を検証する。表 2 の正答率に着目すると、Q18 以外の正答率は、7 割未満であった。この理由として考えられるのは、本実践で用いた 4 ビット CPU 回路を実際に生徒が作らなかったからであると考えられる。よって、4 ビット CPU 回路を作る過程をカリキュラムに組み込むことで、より現物理解の正答率の向上ができるのではないかと考えられる。

以上、仮説①、仮説②、仮説③を確認テストの正答率から考察した。加えて、表 4、表 5 の生徒の感想に着目すると、多くの生徒が、身体的に理解することの良さを述べていた。よって仮説②の CPU 教材を用いて身体的理解を行うことによって、仮説①の概念的理解が促進され、CPU の 3 つのサイクルと 2 進数の理解が促進されることが示唆された。また、10 進数の変換の正答率については、先行研究の石塚ほか（2015）の考察で、十分な活動時間が確保できれば小学校 4 年生以上で学習効果があることを裏付ける結果になっている。

5.3 学年毎の差異

表2の小中高生別の得点を見ると、高校生の平均点が87.9点で最も高く、次に中学生の平均点が69.4点で、小学生の平均点は63.5点で最も低かった。ここで小学生の最高点、中学生の最低点、高校生の最低点に着目すると、それぞれ、85点、30点、60点であり、小学生の最高得点が最も高いことがわかる。実際に上記3名を当教室に入学した経験年数を調査したところ、それぞれ、2018年9月、2019年4月、2019年3月入学の生徒であり、小学生の生徒が最も経験年数が高かった。この結果は、当教室が毎週実施しているCS解説を受講した回数が小学生のほうが最も多いことが理由だと推測する。

6. おわりに

6.1 まとめ

本研究では、小中高生の生徒45名を対象に2日間で4ビットCPUの仕組みを理解することを目的とした夏期集中講座を実践した。その結果、本実践の3つの仮説に対応した教材を用いることで、短期講座であっても小中高生が学年によらず1) CPUの3つのサイクル、2) 2進数を理解できる可能性が示唆された。また、CPUの仕組みを学ぶことにおいては、学年に関係なく、プログラミング教室で学び始めた経験に関係があることも示唆された。

本実践は、大学発プログラミング教室だからこそ実現できる持続可能なプログラミング教育の実践であると自負している。3つの仮説は、生徒がCPUの仕組みを学ぶだけでなく、プログラミング的思考やCTを学ぶ実践での援用が期待できる。

6.2 今後の課題

本研究の課題として、2日間の実践を通して4ビットCPUの仕組みや2進数の短期的な理解にはつながったものの、長期的な理解として定着しているかを明らかにすることである。現在、当教室では生徒一人一人のプログラミング学習状況を可視化するWebシステムを開発し、通常教室で運用をはじめた。今後は、Webシステムを活用し、生徒の長期的な理解をデータに基づき分析することで、通常授業の改善や2020年度夏期集中講座の設計に生かせることを試みる。

謝辞

本研究にご協力頂きました電気通信大学プログラミング教室生徒の皆様、学生講師の皆様、及び関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 兼宗進: “新教育課程でのプログラミング教育とプログラミング環境の研究”, 教育システム情報学会誌, Vol.35, No.2, pp.104-110 (2018)
- (2) 小学校プログラミング教育の手引 (第二版), 文部科学省(2019)
- (3) 久野靖, 和田勉, 中山泰一: “初等中等段階を通じた情報教育の必要性 とカリキュラム体系の提案”, 情報処理学会論文誌, 教育とコンピュータ, Vol.1, No.3, pp.48-61 (2015)
- (4) 小田理代, 登本洋子, 堀田龍也: “日本の中等教育・高等教育におけるコンピュータサイエンスに関する学習の系統性の整理”, 日本教育工学会研究報告集, JSET19-2 pp.61-68 (2019)
- (5) 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説技術・家庭編, 文部科学省(2017)
- (6) 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説情報編, 文部科学省(2017)
- (7) プログラミング教育事業者等の現状に関する調査研究に係る請負報告書, 総務省 (2017)
- (8) 永田奈央美, 佐野典秀, 高橋等: “プログラミング的思考を育成するための教育実践と今後の展開”, 静岡産業大学情報学部研究紀要(21), pp.205-216 (2019)
- (9) 島袋舞子, 小林史弥, 久保友広, 兼宗進: “ワークシートとタブレット端末を使ったプログラミング的思考を育む教材の提案”, 情報処理学会大会講演論文集(1), pp.491-492 (2018)
- (10) 中川一史: “教育論壇 プログラミング教育を視野に入れた情報活用能力の育成”, 小学校時報 69(11), pp.4-8, (2019)
- (11) Jeannette M. Wing.: “Computational Thinking” Communications of the ACM, Vol.49 No.3, pp.33-35 (2006)
- (12) 石塚丈晴, 兼宗進, 堀田龍也: “小学生に対するアンブラグドコンピュータサイエンス指導プログラムの実践と評価”, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE) 1(2) pp.19-27 (2015)
- (13) 渡波郁著: “CPUの創りかた”, (2003)