

## コンピュータの動作原理に関する学習の実践

西野淳一\*\*・狩原雅裕\*\*\*・志田 寛\*・佐藤信安\*

(2001年1月5日受理)

Junichi Nishino, Masahiro Karihara, Yutaka Shida, Nobuyasu Sato

The practice of teaching on the working mechanism of computer

### 1. はじめに

平成元年の中学校学習指導要領改訂で情報基礎領域が設置されて以来、中学校技術科においてコンピュータ教育の導入が進み、現在ではほとんどの中学校でコンピュータ教育が行われている。しかし、その授業内容はアプリケーションソフトウェアの利用が主となっており、ハードウェア教育に関してはほとんど取り扱われない場合が多い。さらに最近ではネットワーク利用技術に関する授業も多くなり、コンピュータのハードウェアはますますブラックボックスとして扱われてきている。

コンピュータはハードウェアとソフトウェアが相互に関連しあって初めて機能を発揮するものであり、ハードウェアとソフトウェアを切り離すことは適切ではない。したがってコンピュータ教育においても、ハードウェア教育とソフトウェア教育を独立させずに相互に関連を持たせて行うべきであり、コンピュータの構造や機能そのものの理解とソフトウェアの理解があいまってコンピュータ技術を総体として捉えることが重要である。このことはピーター・デニングら<sup>6)</sup>の提唱する「コンピュータ・サイエンス」においても指摘されている。また、平成10年改訂指導要領でも「情報とコンピュータ」の分野で「(2)コンピュータの基本的な構成と機能及び操作について、次の事項を指導する。」とし、その中で「ア コンピュータの基本的な構成と機能を知り、操作ができること。」「イ ソフトウェアの機能を知ること。」と併記している。

こうした観点からみた教育内容としては、単にハードウェアとソフトウェアそれぞれを扱えば良いということではなく、ハードウェアとソフトウェアの両面からコンピュータ技術を総合的に理解するという目的意識に立つことが要求されている。具体的には、例えば制御等の課題を中心にハードウェアとソフトウェアを一体とした教材開発及び授業内容の

---

\* 岩手大学教育学部

\*\* 岩手大学大学院教育学研究科, 現在矢巾北中学校

\*\*\* 岩手大学教育学部附属中学校, 現在浄法寺中学校

構築を行うことなどが考えられる。その際には、ハードウェア及びソフトウェア両者の基本的学習が事前に行われていることが前提となる。

本研究では、上記の観点に立ち、コンピュータ技術を総合的に理解するための前提としてのハードウェア教育について、教育内容及び授業展開を検討し、ハードウェア教育を実施するための多様な教材の開発を行った。教材開発及び授業内容の検討は、2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までの結びつきを重視して行い、教材の題材にはコンピュータと関わりの深い2進数カウンタ、基本ゲート、全加算器、RSフリップフロップ、CPU動作を選定した。これらの開発した教材を用い、検討した授業内容に沿って、岩手大学教育学部附属中学校技術・家庭科において授業を実施した。授業の実施後に、教材及び授業内容が学習者の情意面と認知面に及ぼす影響について調査を行い、この結果をもとに教材と授業内容の有効性の確認を行った。

## 2. 教材開発及び授業内容の検討における基本理念の検討

コンピュータハードウェア教育の内容を用いる教材を含めて構成するためには、コンピュータをどう捉えるかが重要である。そこで、教材開発の観点からコンピュータをどう定義するかについて検討を行った。

コンピュータの機能に着目した場合、機械語のアルゴリズムを達成するものがコンピュータであり<sup>10)</sup>、コンピュータのモデルとなるのがオートマトンである<sup>7)</sup>。オートマトンに類似したものに順序機械があり、その最も簡単なものがフリップフロップである<sup>8)</sup>。このフリップフロップを単位として、アルゴリズムを達成するための機能に着目した構成になっていると言える。また、フリップフロップは入出力や記憶などのコンピュータの5大機能を持ち合わせていると見なすことができる。

しかし、コンピュータのハードウェア、特にノイマン型コンピュータの特徴に着目した場合、ノイマン型コンピュータの特徴であるプログラム内蔵方式、逐次制御方式を採用したものをコンピュータと見なしている<sup>12), 13)</sup>。論理回路を単位として構成されている記憶装置をもち、プログラムを内蔵する。そして論理回路と順序回路の組み合わせによって、逐次制御されコンピュータを構成していると言える。アーキテクチャの観点に立ち、ハードウェアの有効利用を考慮に入れた星野<sup>14)</sup>の定義も、ハードウェアの観点から言えば、同様の定義としてまとめることができる。

本研究では、ノイマン型コンピュータの観点から、プログラム内蔵方式、逐次制御方式を採用したものをコンピュータと定義し、教材開発及び授業内容の検討における基本理念を以下のようにまとめた。

- ① 2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までを結びつけ、その流れに沿った一連の教材群として教材を開発する。
- ② 授業内容においても、2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式へと至る流れに沿った内容とし、流れに応じて教材群を配置する。
- ③ 2進数そのもの、論理回路・順序回路そのものの内容に偏りすぎないようにし、コンピュータとの結びつきを重視する。

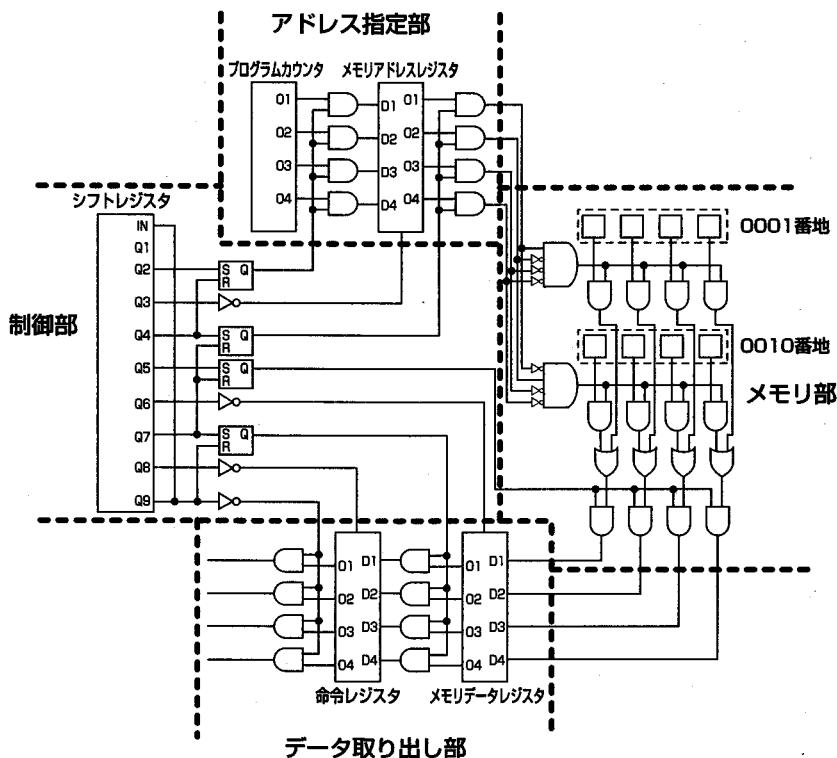
これらの基本理念に則って、教材開発及び授業内容について検討を進めた。

### 3. 教材開発

教材開発については、コンピュータのハードウェアをブラックボックスとして扱わずに、論理回路・順序回路によって構成されていることを明示することを基本方針とし、教材開発の基本理念により、2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までを結びつけた授業展開に対応する教材を開発した。

段階	教材
2進数	・ 4ビット2進数カウンタ (縦50cm×横70cm)
論理回路	・ 基本ゲート回路動作表示教材 (縦50cm×横70cm) ・ 4ビット全加算器回路図 ・ 4ビット全加算器教材 (縦60cm×横45cm)
順序回路	・ RSフリップフロップ動作表示教材 (縦70cm×横70cm)
コンピュータの動作	・ CPU動作表示教材 (縦70cm×横60cm)

第1表 教材一覧



第1図 CPU動作表示教材回路図

教材は、2進数からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までの授業の流れに沿って、2進数、論理回路、順序回路、コンピュータの動作の4段階で開発し、40名を対象に提示教材として用いることを念頭に製作した。

2進数の教材としては、4ビットの2進数カウンタを製作した。論理回路については、基本的な教材として、AND、OR、NOTの基本ゲート回路の動作表示教材を製作し、応用的な教材として4ビット全加算器教材を製作した。順序回路については、RSフリップフロップの動作表示教材を製作した。コンピュータの動作については、CPUの動作のうち、命令取り出し段階の動作を実行し表示できるCPU動作表示教材を製作した。開発した教材群の一覧を第1表に、CPU動作表示教材の回路図を第1図に示す。

#### 4. 授業内容の検討

授業内容の検討の基本理念をもとにし、教材開発の方針にもとづいて開発した教材群の配置を念頭に置いて授業内容を検討し、情報基礎領域におけるハードウェア教育の授業内容を2時間で編成した。第2図にフローチャートを示す。

1時間目は、「コンピュータの仕組み(1)」という内容とし、コンピュータの5大機能、2進数、論理回路を扱うこととした。2進数については4ビット2進数カウンタを用い、2進数と10進数の対応表を完成させることとした。論理回路については、基本ゲート動作表示教材を用い、真理値表を完成させることによりそれぞれの動作を理解させ、これら基本ゲート回路の応用として、コンピュータ内でも実際に使用される全加算器について扱うこととした。全加算器については、まず第3図に示す回路図に論理にしたがって色づけする作業を行うことで加算の原理を理解させ、その後、実際のデジタル回路で製作した4ビット全加算器教材を用いた。

以上のように1時間目では、2進数、論理回路からコンピュータへの結びつきのうち、2進数と論理回路を結びつけ、論理回路で2進数の計算が可能になることを理解させることを目的とした。

2時間目は、「コンピュータの仕組み(2)」という内容とし、順序回路とコンピュータの動作を扱うこととした。順序回路については、RSフリップフロップ動作表示教材を用い、論理回路でデータを記憶することができること、逐次制御を司ることについて扱い、コンピュータの動作については、CPU動作を中心、動作例図を用いてCPUの動作を説明し、プログラム内蔵方式、逐次制御方式が採用されていることを知らせた後、CPU動作表示教材を用い、CPUの動作を確認させることとした。

以上のように、2時間目では、論理回路でデータを記憶することができること、逐次制御を司ることができることを理解させ、1、2時間目の内容を総合して、2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式への結びつきを理解させることを目的とした。

#### 5. 授業実践

岩手大学教育学部附属中学校において、中学3年生2クラス76名を対象に授業を実施した。授業は共著者である附属中学校教諭の狩原が行った。授業の実施に際して、事前にコ

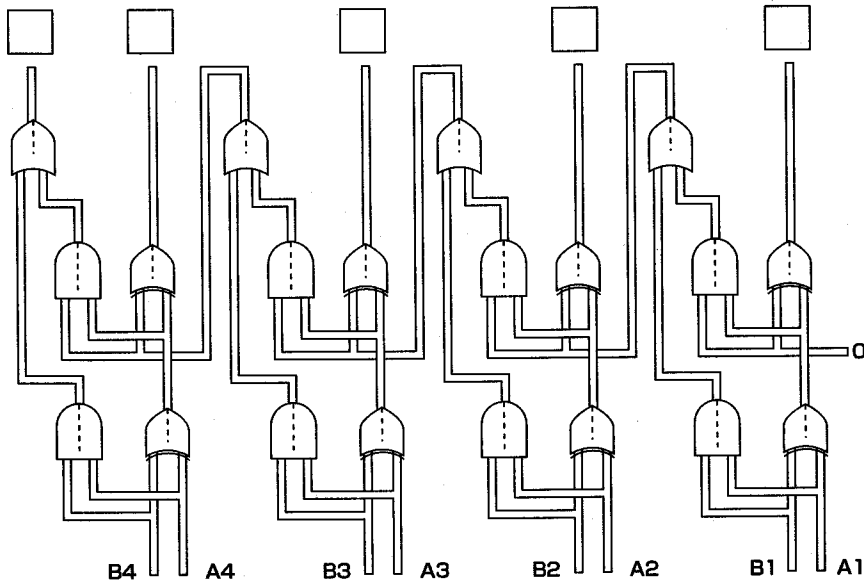
- 1 時間目
- コンピュータの仕組み (1)
    - 1. コンピュータの5大機能
      - ◇人の機能の図, 5大装置間の関連図
    - 2. 2進数
      - ◇2進数カウンタ
    - 3. 論理回路
      - ◇基本ゲート回路動作表示教材
      - ◇4ビット全加算器回路図, 4ビット全加算器教材



- 2 時間目
- コンピュータの仕組み (2)
    - 1. 順序回路
      - ◇RSフリップフロップ動作表示教材
    - 2. ノイマン型コンピュータの動作
      - ◇CPUの動作例図, CPU動作表示教材

○ : 内容    ◇ : 教材教具

第2図 フローチャート



第3図 4ビット全加算器回路図

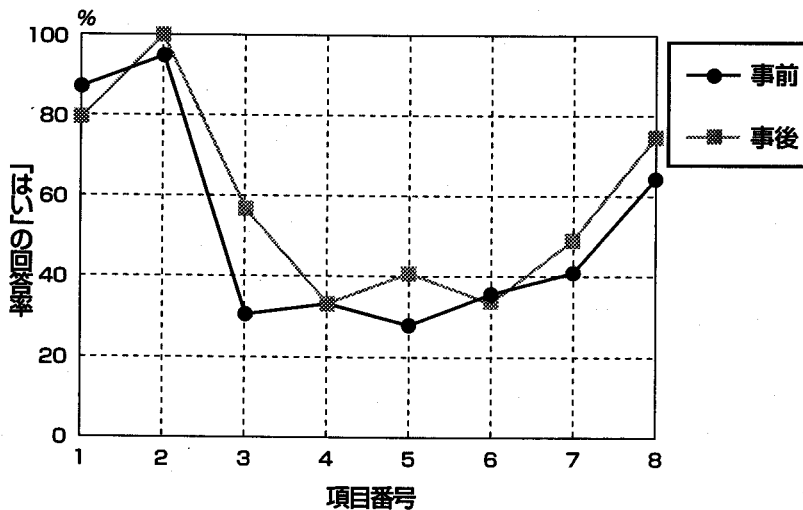
ンピュータに対する情意アンケートと認知テストを行った。事後にも全く同じ内容で、情意アンケート及び認知テストを行い、事前の結果と比較して、教材及び授業内容の評価のデータとした。

### 5.1 事前アンケート及びテストの結果

事前アンケートの結果、コンピュータを操作することに関しては非常に高い興味を示しており、キーボードアレルギー操作をはじめコンピュータに対する拒絶反応はないと思われる。それと比較するとハードウェアに関する興味はあまり高くなく、難しいというイメージを抱いていることがわかる。しかし、それでも3年A組では約30%、3年B組では約60%の生徒がハードウェアに関して興味や関心を持っていた。事前テストの結果、生徒達にはハードウェアに関する知識はほとんどないと言える。

	項目	事前	事後
1	コンピュータの学習をするのが好きですか	87.2	79.5
2	コンピュータを操作することに興味はありますか	94.9	100
3	身の回りのどのような場面でコンピュータが利用されているか興味がありますか	30.8	56.4
4	コンピュータの構造について知りたいと思いますか	33.3	33.3
5	電気製品の中でコンピュータがどのような働きをしているのか調べてみたいと思いますか	28.2	41.0
6	コンピュータの電氣的、機械的な仕組みについて調べてみたいと思いますか	35.9	33.3
7	コンピュータのハードウェアが何で構成されているか知りたいですか	41.0	48.7
8	コンピュータを作ってみたいと思いますか	64.1	74.4

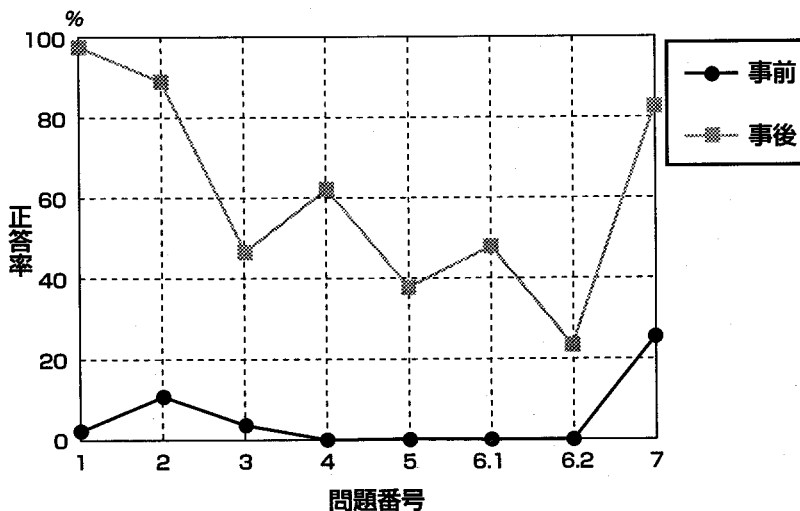
※数字は回答率：%



第4図 アンケート結果（事前及び事後）

	問 題	事前	事後	
1	コンピュータの5大機能をすべて答えよ	0	97.4	
2	1,0の信号4ビットで何種類の情報を表すことができるか答えよ。	10.3	89.7	
3	コンピュータ内において1,0の信号はどのような役割を果たすか答えよ	2.6	46.2	
4	1,0の信号によって動作し、コンピュータを構成する基本回路を答えよ	0	61.5	
5	コンピュータ内で1,0の信号を用いて足し算を行う回路の名称を答えよ	0	38.5	
6	コンピュータ内でフリップフロップが果たす重要な役割を2つ答えよ	記憶	0	48.7
		逐次制御	0	23.1
7	ノイマン型コンピュータの特徴を2つ選べ(4択)	25.6	82.1	

※数字は正答率：%



第5図 テスト結果 (事前及び事後)

## 5.2 事後アンケート及びテストの結果

第4図に3年A組のアンケート結果(事前及び事後)を、第5図に3年A組のテスト結果(事前及び事後)を示す。アンケートの結果から、ハードウェアに関する興味や関心については事前と事後で大きな変化はなく、一定の興味を保持しながら難しい内容を学習し理解できたことが言える。

事後テストの結果から、知識はしっかりと獲得できており、認知面での教材等の効果はあったと言える。しかし、フリップフロップの2つの役割うちの記憶素子としての役割については理解度は十分であったが、逐次制御を司るということに関しては理解度は不十分であった。これはフリップフロップが逐次制御を司るということ、生徒の印象に残すよ

うな教材を用意できなかったためであると考え。また、授業者がテスト問題に該当する部分を授業の中で強調したかどうかで正答率に差が出ており、この点で開発した教材群及び授業内容が授業者の授業技術に左右されると言える。

これらの結果は、3年B組においても同様の傾向が認められた。

### 5.3 考察と課題

アンケート及びテストの結果から、教えたい内容であったコンピュータの基本構成については理解できており、教材の効果はあったと言える。授業展開及び教材の配置については、1時間目で用いた教材群は2進数から基本ゲート回路へ結びつけるうえで有効であり、加算器の学習で生徒の興味関心を引き出すことができた。また、RSフリップフロップまでは生徒の引きつけ、理解度とも十分であった。最後のCPU動作については、プログラム内蔵方式、逐次制御方式という言葉だけの理解に止まった感があり、CPUの動作例図などに工夫を加える必要があると考える。しかし、授業展開は概ねスムーズであり、2進数、論理回路からコンピュータへと結びつけ、2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までの流れでハードウェアの内容を扱うことの有効性を示すことができたと言える。また、以前に行った予備的な実験授業の結果<sup>18)</sup>と比較して、1つ1つの内容、例えば論理回路・順序回路そのものの学習を深めるよりも、それらの結びつきやコンピュータの構成までの流れを重視した方が中学生にとって理解が容易であることも確認できた。以上により、適切な教材の活用により2時間という短時間の授業でもハードウェアを2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までの流れで理解するという目的は達成されており、指導要領の「情報とコンピュータ」の分野の中でも実施できる見通しは立ったと考える。

しかし、今回開発した教材を使用する場合、授業者の授業技術等が大きく関与していることも言える。誰が授業者になっても一定の効果が得られるように、教材及び授業内容に工夫する必要がある。また、CPU動作表示教材に代表されるように、教材だけでは理解が難しい部分を補うような工夫が必要である。今回はCPUの動作例図を用いたのだが、それだけでは不十分であり、全加算器回路図のように、生徒に何らかの作業をさせるような教材を用意することを含め、検討が必要である。これらの課題について再検討し、授業内容を改善すれば、生徒の一層の理解につながると思われる。

## 6. まとめ

コンピュータハードウェア教育の内容及び授業展開について検討し、ハードウェア教育を実施するための多様な教材の開発を行い、試行によって授業内容と教材の有効性を確認することを目的に検討を行った。2進数、論理回路からコンピュータへと至る流れを重視することを基本理念として教材を開発し、開発した教材群を適宜配置した授業内容を2時間で構成し、岩手大学教育学部附属中学校において、3年生2クラスを対象に授業実践を行った結果、2進数、論理回路からプログラム内蔵方式、逐次制御方式までの流れでコンピュータの動作原理を理解するという目的が達成された。この結果、適切な教材の活用により、情報基礎領域の中の短時間の授業でもコンピュータハードウェアの教育が可能であることが確認できた。



## 参考文献

- 1) 亀山 寛：「情報基礎」の教育内容，日本産業技術教育学会誌第30巻3号pp279-286, 1988
- 2) 近藤義美：「教材開発の条件」，日本産業技術教育学会第39回全国大会講演要旨集 pp139, 1996
- 3) 石桁正士：「情報教育」，一般教育学会誌第15巻第1号pp134-135, 1993
- 4) 大道 卓：「基礎教育としての情報教育」，一般教育学会誌第17巻第2号pp130-134, 1995
- 5) 石桁正士・家本 修・高橋参吉・中村博幸：「一般教育としての情報教育の展開」，一般教育学会誌第15巻第2号pp124-127, 1993
- 6) ピーター・デニング他著・木村 泉訳：「学問としての計算機分野」，情報処理 vol31 No.10, pp1351-1371, 1990
- 7) 小倉久和：「形式言語と有限オートマトン入門－例題を中心とした情報の離散数学－」，コロナ社，1996
- 8) 富田悦次・横森 貴：「基礎情報工学シリーズ5 オートマトン・言語理論」，森北出版, 1992
- 9) 都倉信樹：「オートマトンと形式言語」，昭晃堂, 1995
- 10) 村瀬康治：「初めて読むマシン語」，アスキー出版局, 1993
- 11) 稲垣康善：「論理回路とオートマトン」，オーム社, 1998
- 12) 山崎克典：「ハードウェアシステムの基礎知識」，東京理科大学出版会, 1985
- 13) 北川盈雄：「徹底研究ハードウェア」，サイエンス社, 1996
- 14) 星野 力：「誰がどうやってコンピュータを創ったのか？」，共立出版, 1995
- 15) 山田輝彦：「論理回路理論」，森北出版，1990
- 16) 中内敏夫：「教材と教具の理論」，有斐閣，1978
- 17) 猪飼國夫・本多中二：「定本デジタル・システムの設計」，CQ出版社, 1994
- 18) 西野淳一・志田 寛・佐藤信安：「コンピュータの動作原理に関する教材の開発（Ⅲ）」，日本産業技術教育学会第41回全国大会講演要旨集，p 6, 1998