

博士学位論文
制御機器の仕組みを理解するための
情報教育教材に関する研究

2013 年 3 月

井戸坂 幸男

大阪電気通信大学大学院
医療福祉工学研究科

目次

第 1 章	緒論	5
1.1	研究の目的と概要	5
1.2	学校教育の現状と課題	6
1.3	技術教育の現状と課題	8
1.4	情報教育の現状と課題	10
1.5	研究の概要と本論文の構成	15
第 2 章	「情報の科学的な理解」を深める教育と課題	17
2.1	情報科学の学習における教育手法と課題	17
2.2	プログラミング学習における先行研究と課題	23
2.3	計測・制御学習における教材と課題	26
第 3 章	「コンピュータサイエンス アンプラグド」による情報科学の授業と評価	31
3.1	はじめに	31
3.2	CS アンプラグド	31
3.3	CS アンプラグドを導入した授業	37
3.4	授業評価	47
3.5	まとめ	50
第 4 章	プログラミング言語「ドリトル」によるプログラミングの授業と学習効果	53
4.1	はじめに	53
4.2	プログラミング言語「ドリトル」	54
4.3	ドリトルによる授業の概要	54
4.4	アンケートによる主観的な調査	58
4.5	アンケート結果の考察	61
4.6	検証テストによる客観的な調査	63
4.7	検証テストの結果	67

4.8	検証テスト結果の考察	73
4.9	まとめ	75
第 5 章	自律型の制御ロボット教材の評価と授業	77
5.1	はじめに	77
5.2	計測・制御学習のねらい	78
5.3	自律型の制御ロボット教材の評価	79
5.4	多種類の制御ロボット教材を使った実践	85
5.5	新学習指導要領向けの実践	88
5.6	まとめ	94
第 6 章	状態遷移概念を利用した制御プログラミングの学習効果	97
6.1	はじめに	97
6.2	手続きの考え方に基づくプログラムの特徴と問題点	98
6.3	状態遷移の考え方に基づくプログラムの可能性	101
6.4	プログラミング言語 Rtoys	102
6.5	検証授業	106
6.6	検証授業の結果	111
6.7	考察	113
6.8	まとめ	114
第 7 章	制御教材を共有する学習システムの構築	117
7.1	はじめに	117
7.2	計測・制御学習における学習環境	117
7.3	関連研究	119
7.4	教材を共有する学習環境の設計	120
7.5	システムの実装	121
7.6	授業での評価	125
7.7	まとめ	128
第 8 章	結論	131
謝辞		133
参考文献		135

第 1 章

緒論

1.1 研究の目的と概要

社会の情報化が進み、コンピュータが家庭や学校、そして医療現場にも普及している。インターネットを使った情報収集やコンピュータを使ったデータ処理は、家庭や学校、医療現場において一般的になっている。また、家庭や医療現場に普及した多くの機器に、コンピュータが組み込まれている。家庭にあるエアコンや炊飯器などの電化製品を始め、多くの機器がコンピュータで制御されている。しかし、ほとんどのユーザーは、これらの機器の使い方はわかっているが、どのような仕組みで動いているかはわかってはいない。

インターネットやコンピュータの仕組みを知らずに使うと、危険を伴う場合がある。インターネットの仕組みを知らないために、大切な情報がインターネット上に流出したり、コンピュータウィルスに感染した場合の対処法を誤ったりと、仕組みを知ることが正しく安全に使う上で大切なことである。また、使われている機器の多くは全く不具合の起こらないものではなく、不具合が起きる場合がある。不具合が起きた場合の対処は、機器の仕組みを知る場合と知らない場合で異なる。仕組みを知っていれば、どのような部分に不具合があるか見当がつけられ対処につながる。とくにコンピュータによって制御された機器の場合、ソフトウェアによる不具合か、ハードウェアによる不具合かを見分けることは重要なことである。また、医療現場で使われている機器の多くは、仕組みを理解している場合と理解していない場合では、使い方に大きな違いが生じる。機器の仕組みを知ることが、機器の特徴を最大限生かした使い方にもつながる。

しかし、コンピュータを使った機器の多くは高度な技術なため、ほとんどがブラックボックス化され、仕組みがわかりにくくなっている。機器の仕組みを理解しようとしてもできない場合も多い。教育現場においては、このような機器の仕組みを扱う必要があると思われるが、あまり扱われることはなく機器の使い方重点を置いた教育がされている。原因は、このような機器の仕組みを教えるための教材や授業実践の不足が考えられる。複

雑で難しいとされるコンピュータの仕組みや制御の仕組みを、小中学生にもわかるように教えるための教材や教育手法が必要である。

本論文では、中学校の技術・家庭科における情報教育の実践を通して、コンピュータの仕組みや制御の仕組みをわかりやすく教えるための教材や教育手法を提案する。まず、日本の学校教育の現状、技術教育の現状、情報教育の現状を分析することにより、それぞれの課題を明らかにする。

1.2 学校教育の現状と課題

日本の学校教育^{*1}は、考える力よりも知識を重視する傾向がある。また、2002年度から実施された学習指導要領 [1] では、大幅に授業時間数が削られた。そのため、学校現場では少ない時間で多くの知識を学習させる必要があり、知識を効率よく暗記させる教育が行われてきた。

OECD(経済協力開発機構)の国際的な調査「生徒の学習到達度調査 (Programme for International Student Assessment)」(以下、PISA 調査と記す)の2003年 [2]、2006年 [3]の結果では、日本の点数や順位が大きく下がり、日本の教育のあり方が議論されるきっかけとなった。このPISA調査は、知識や経験をもとに、自らの将来の生活に関する課題を積極的に考え、知識や技能を活用する能力があるかをみるもので、幼児教育から成人教育までの広い範囲で、将来を見据えた教育政策のあり方を提言する役割を果たしている。今までの知識を重視する教育から転換する必要が議論され、PISA調査の結果は2008年告示の学習指導要領 [4](以下、新学習指導要領と記す)の改訂に生かされることになった。この新学習指導要領は、小学校においては2011年度、中学校においては2012年度より完全実施される。

新学習指導要領の改訂に関して、PISA調査などの結果より提言された課題は次の点である。

1. 思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式問題、知識・技能を活用する問題に課題
2. 読解力で成績分布の分散が拡大しており、その背景には家庭での学習時間などの学習意欲、学習習慣・生活習慣に課題
3. 自分への自信の欠如や自らの将来への不安、体力の低下といった課題

これらの課題を踏まえ、新学習指導要領では「思考力・判断力・表現力等の育成」や「学習意欲の向上や学習習慣の確立」など7項目を基本的な考え方とする改善の方向性が出さ

^{*1} 学校教育：本論文では、小学校、中学校、高等学校において行われる教育を「学校教育」と呼ぶ。

れた。その方向性に沿って、理数系の授業時間数を増やし、学習内容も増やされた。学校現場における授業では、生徒の学習意欲を向上させ、思考力や表現力を育てる指導が求められる。とくに初等中等教育においては、子どもの学習意欲や興味・関心が子どもの将来を決める大切な要素となる。大いなる可能性を持った子どもに興味・関心を持たせ、意欲を引き出す教育が重要となる。しかし、この課題を克服するために大切なことは、いかに子どもたちの興味・関心を高め、どのように教えるかということであり、単なる時間数や学習内容の増加だけで解決できるものではない。知識偏重の教育から、思考力を育成するための具体的な教育手法や、そのための教材の開発などが行われない限りこの問題が解決されることはないと考える。

思考力を伸ばす教育手法に関しては、PISA 調査で高順位にあるフィンランド教育に注目が集まっている。[5] では学ぶ楽しさを教えることやコミュニケーション力をつけることを中心とした教育の大切さが示されている。また、[6] では思考力を伸ばすために、教員研修による教育技術の習得や学習教材、学習カリキュラムが必要とされることが示されている。しかし、現在の日本においては、そのような教育を行うための十分な教員研修や教材開発も行われていない。また、学校現場における教科教育においても、このようなことを意識した授業はほとんど行われていない。学習意欲を高め、思考力を伸ばすための教育手法、教材開発が求められている。

一方、社会に目を向けると、理数離れ、工学部離れ^{*2}が社会問題化している。これは、初等中等教育に原因があると考えられる。[7] によると、小学校低学年の時は、理数系に興味があるが、高学年につれ興味・関心が下がっていくことが報告されている。この原因は、子どもたちに理数系のおもしろさ、科学を探究するおもしろさを教えていないことにあると考えられる。身のまわりの自然現象だけでなく、工業製品に関しても、どのような仕組みになっているかに興味を持たず、ブラックボックス化された機器の仕組みを不思議とは思わず、使い方だけを習得する学習スタイルが、子どもたちの科学への興味・関心を奪い、今の社会現象を生んでいると考えられる。それは知識偏重教育の弊害とも考えられるが、機器の中身が複雑化し、簡単には仕組みが理解できなくなっていることもあげられる。複雑化した工業製品の中身を、小中学生にもわかりやすく解説できる学習教材が求められている。

^{*2} 理科離れ（理系離れ、工学部離れ）：理科に対する児童生徒の興味・関心が低くなったり、授業における理解力が低下したり、日常生活において重要と思われる基礎的な科学的知識を持たない人々が増えている現象を示す。

1.3 技術教育の現状と課題

1.3.1 学校教育における技術教育

技術教育とは、一般的には「生活や生活活動に必要な技術や知識を習得させる教育」とされるが、日本の学校教育の中で普通教科として扱っているのは、中学校の技術・家庭科のみである。この教科を扱う日本で唯一の学会、日本産業技術教育学会によると、教科の定義、教育目標は、次のように示されている。

「技術」とは、「ものの性質や仕組み、理論を理解するとともに、創意・工夫・応用して、自然の材料を加工することや、情報を活用したり、環境を調整したりすることによって目的とするものを生産したり、機械や道具を操作して目的の働きをさせるもの」とされ、教育の目標は「道具を使って材料を加工したり、エネルギーや製品を合理的に利用する生産・活用の技術やコンピュータを活用する技術の習得を通して、人が生きていく上での技術的な課題を解決する能力を育成すること」としている [8]。

世界では初等教育から高等教育 (6~18 歳) まで学習する国が多いのに対して、日本では中学校 (12~15 歳) のみに技術・家庭科として存在する。技術教育においては、「ものの性質や仕組み、理論を理解する」ことが求められ、この仕組み、理論を使って「技術的な課題を解決する能力を育成する」教育を行う [9]。

1.3.2 中学校技術・家庭科の目的と内容

技術・家庭科は、1958 年 (昭和 33 年) の中学校学習指導要領の全面改訂によって新設された。この学習指導要領に先立つ教育課程審議会答申 (昭和 33 年 3 月) では、技術科 (技術・家庭科ではない) の創設に関して、「現行の職業・家庭科 (必修) を改め、これと図画工作科において取り扱われてきた生産的技術に関する部分とを合わせて、技術科を編成すること。」とされた。1958 年告示の教科目標は、以下の通りであった [10]。

1. 生活に必要な基礎的技術を習得させ、創造し生産する喜びを味わわせ、近代技術に関する理解を与え、生活に処する基本的な態度を養う。
2. 設計・製作などの学習経験を通して、表現・創造の能力を養い、ものごとを合理的に処理する態度を養う。
3. 製作・操作などの学習経験を通して、技術と生活との密接な関連を理解させ、生活の向上と技術の発展に努める態度を養う。
4. 生活に必要な基礎的技術についての学習経験を通して、近代技術に対する自信を与え、協同と責任と安全を重んじる実践的な態度を養う。

これらの目標から考えると、生活に身近な「生活技術」の習得に重点が置かれ、生活で使われる道具の操作を中心とする技術が中心になっていることがわかる。目標は指導要領の改訂のたびに変容していき、新学習指導要領 [4] では、技術・家庭科の教科としての目標は、次のように示された。

生活に必要な基礎的・基本的な知識及び技術の習得を通して、生活と技術とのかかわりについて理解を深め、進んで生活を工夫し創造する能力と実践的な態度を育てる。

そして、技術分野と家庭分野に分けた場合の技術分野の目標は、次のように示された。

ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して、材料と加工、エネルギー変換、生物育成及び情報に関する基礎的・基本的な知識及び技術を習得するとともに、技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め、技術を適切に評価し活用する能力と態度を育てる。

中学校学習指導要領解説 [11] では、「基礎的・基本的な知識及び技術を習得するとともに」の記述部分の解説では、「ここでの「知識」とは、ものの性質や仕組み、もしくはそれらの理論」とされている。また、新学習指導要領では、「今回の改訂では、技術科はより生産技術教育化して国家戦略を担う側面が強くなる。」 [12] と言われており、今までの「生活技術」中心の内容から、「生産技術」を中心とする産業的な内容を重視する方向に大きく方向転換されることになったと考えられている。

新学習指導要領における技術・家庭科の技術分野の学習内容は、次の 4 つの領域である。

- A 材料と加工に関する技術
- B エネルギー変換に関する技術
- C 生物育成に関する技術
- D 情報に関する技術

それぞれの領域で扱う内容は、次のように示されている。

A 材料と加工に関する技術は、(1) 生活や産業の中で利用されている技術、(2) 材料と加工法、(3) 材料と加工に関する技術を利用した製作品の設計・製作の 3 項目で構成されている。

B エネルギー変換に関する技術は、(1) エネルギー変換機器の仕組みと保守点検、(2) エネルギー変換に関する技術を利用した製作品の設計・製作の 2 項目で構成されている。

C 生物育成に関する技術は、(1) 生物の生育環境と育成技術、(2) 生物育成に関する技術を利用した栽培又は飼育の 2 項目で構成されている。

D 情報に関する技術は、(1) 情報通信ネットワークと情報モラル、(2) デジタル作品の設計・制作、(3) プログラムによる計測・制御の3項目で構成されている。

1.3.3 中学校 技術・家庭科の課題

技術・家庭科は、教科ができたときからさまざまな産業技術に関する内容を扱ってきた。現職の教員に限って考えると、多くの教員が教職に着いた頃、大学の教員養成課程の内容は、木材加工領域、金属加工領域、機械領域、電気領域、栽培領域の5領域であった。1993年に情報基礎領域が新しく追加されたため、現職の技術科教員の中には、情報教育に関する専門教育を受けていない教員も多い。初めて情報教育が追加された時、全技術科教員に対する情報教育の研修もなく、各自の研修に任された。情報教育が不得意なため、自分の得意分野の木材加工や金属加工などの加工分野を専門に扱う教員も少なくはない。また、これらの教員の中には、ものづくりを教えるために技術科教員になったという思いから、情報教育を敬遠する教員もいる。新学習指導要領では、情報教育を含む4つの学習領域を扱わなくてはならない。しかし、すべての領域を専門的に扱える教員ばかりではなく、得意な領域と不得意な領域があり、特に情報教育に関する内容を苦手とする教員が多いと予想される。

また、技術教育には二つの考え方がある。一方は、生活に役立つ技術を中心に扱う「生活技術」の考え方で、もう一方は、産業技術を中心とする最新の技術を扱う「生産技術」の考え方である。情報領域で考えると、前者はワープロや表計算ソフトの使い方を教えることが中心となり、後者は計測・制御など、最新の工業製品の仕組みを学習する内容に重点が置かれる。どちらの考え方を重視していくかは、教員によって異なり、両者の授業実践が報告されている。しかし、新学習指導要領においては、今まで重視されてきた生活技術から生産技術に転換した。生産技術を教えるためには、専門的な知識と高度な技術を、中学生でも理解できるようにするための教材開発が必要となる。新たな教材開発や実践報告が望まれている。

1.4 情報教育の現状と課題

新学習指導要領における情報教育は、小学校は総合的な学習の時間 [18]、中学校は技術・家庭科 [4]、高等学校は共通教科「情報」 [19] で扱われる。情報教育の目標や内容、世界の情報教育の動向より、日本の情報教育の課題を検討する。

1.4.1 情報教育の目標

小学校、中学校においては情報教育だけを扱う教科は存在せず、高等学校にのみ情報教育を専門的に扱う教科「情報」が存在する。その教科の教育目標は中央教育審議会によって、次の3観点を示されている[14]。

- 「情報活用の実践力」…情報手段を適切に活用し、情報を主体的に収集・判断・表現・創造し、受け手の状況を踏まえて発信・伝達できる能力。
- 「情報の科学的な理解」…情報手段の特性を理解し、情報を扱ったり情報活用を評価・改善するための理論や方法の理解。
- 「情報社会に参画する態度」…社会生活に情報や情報技術が果たす役割や及ぼす影響、情報モラルの必要性や情報に対する責任を理解し、情報社会の創造に参画しようとする態度。

これらを言い換えると、「情報機器を使いこなす能力」「情報技術の仕組みを理解する能力」「情報社会で適切に行動できる能力」を身につけることが目標と言える。

1.4.2 情報教育の学習内容

情報教育の学習内容は、新学習指導要領では次のように示されている。

小学校では、情報教育を専門的に扱う教科はない。情報教育に関する内容が含まれる教科は、「総合的な学習の時間」であり、3年生以上に設定されている。情報教育に関する内容は、教科の中での調べ学習等の活動の中に情報教育の内容が含まれるという程度である。

中学校では、情報教育を扱っている教科は技術・家庭科である。技術・家庭科の技術分野で扱う4領域の中の一つに「D 情報に関する技術」領域がある。その内容は、情報通信ネットワークと情報モラル、デジタル作品の設計・制作、プログラムによる計測・制御の3項目を扱う。

高等学校では、情報教育を扱う専門教科として、共通教科「情報」がある。共通教科「情報」は、「社会と情報」と「情報の科学」の2科目になっており、両科目とも標準単位数は2単位で、どちらか一方を選択し履修させる選択必修科目である。「社会と情報」は情報化の進む社会に積極的に参画することができる能力・態度を育てることに重点を置く科目であり、「情報の科学」は情報にかかわる知識や技術を科学的な見方・考え方で理解することに重点を置く科目である。

これらの内容は、第1.4.1節にあげた3観点「情報活用の実践力」「情報の科学的な理

解」「情報社会に参画する態度」を具体的な内容に置き換えたものである。中学校においては3観点をバランスよく学習できるような内容であるが、高等学校においては2科目のどちらかを選択するため、学習内容に偏りが生じる可能性がある。

1.4.3 情報教育の課題

日本の情報教育は、ワープロや表計算ソフトに代表されるコンピュータの操作方法習得を目的としたコンピュータリテラシー教育が中心で、情報に関するさまざまな技術を学習しているとは言えない現状にある。

2003年度より高等学校に新設された普通教科「情報」に関して、次のような報告がある。「情報科の理念や必要性が、他教科も含めた教員や校長の間で広く認識されているとは言えない。情報科ではパソコンやインターネットを教えるという先入観や、実習時間を確保しなければならないという記述に捉われ、結局はパソコンの操作方法を学ぶだけで済ませてしまうという、誤った情報科教育が行われているという指摘もある。」[13]

情報教育の目標の3観点、「情報活用の実践力」「情報の科学的な理解」「情報社会に参画する態度」[14]から見ると、次のような報告がある。「自ずと授業内容も操作系が中心となり「情報活用の実践力」にウェイトの置かれた指導がされている。その一方で、情報や情報技術の特性を理解し、それを身近な問題解決に活かすという「情報の科学的な理解」の指導が十分でない。」[15]

また、中学校技術・家庭科における情報教育に関しては、次のように報告されている。「情報教育が始まった当初は、コンピュータが学校や家庭内においてもそれほど一般的ではなかったことや、コンピュータの使用環境もスタンドアローンでの使用が多かったこともあり、ワープロや表計算ソフトに代表されるコンピュータの操作方法習得を目的としたコンピュータリテラシー教育に重点が置かれてきた。」[16][17]

以上のことから、日本の情報教育においては、操作教育を中心とする「情報活用の実践力」に力が入れられ、「情報の科学的な理解」に関する学習が不足しているという問題点が見える。

この問題を制度上の問題として、久野は[20]の中で、次のように指摘している。

- 情報教育が、小学校では教科横断的、中学校では「技術・家庭」、高校では教科「情報」によって担われるという形で、学校段階ごとにバラバラなため、初等中等段階を通じた系統的な教育が行われない結果となっている。
- 小学校の教員は多数の教科を1人で担当するため、教科として独立していない「情報」についてまできちんと学んだり教材研究をするゆとりがなく、その結果まったく情報教育が行われなかったり、単に「パソコンを操作してみよう」的な内容にと

どまることが多い。

- 中学校の「技術・家庭」については、その教員はあくまでも技術科や家庭科が専門であり、情報教育についてきちんと学んで来たとは限らない。このため、技術科と重なりのある範囲での情報教育にとどまったり、あまり考えなくても実施できる「ソフト操作教育」的な情報教育にとどまることが多い。

これらは、日本の情報教育に関する教育カリキュラムの問題と教員の指導力に関する問題である。とくに技術・家庭科における問題については、第 1.3.3 節 で指摘した問題点も含まれる。この教員の指導力の問題を解決する具体的な手だてとして、多くの教員が使える教材を開発し、授業の実践例を提示することなどが考えられる。

このような日本の現状とは対照的なのが、世界の情報教育の流れである。以下に、世界の情報教育の動向を紹介する。

1.4.4 世界の情報教育の動向

世界には情報教育に力を入れる国は多い。李は [21] の中で、海外の情報教育の動向について、アメリカ、イギリス、イスラエル、インド、中国、韓国のコンピュータ教育カリキュラムを検討し、世界的に次のような流れがあることを報告している。

- コンピュータ関連教科の大切さを確認し、アルゴリズムやモデリングを重視して問題解決能力を伸ばし、コンピュータ科学の原理を重視して習得し、コンピュータ科学の知識を土台にした ICT 活用を行い、基礎・応用を通して多様な教育内容を提供する、世界的な流れがある。
- 多くの国で生徒がコンピュータ科学の原理を習得させるために、体系的に構成された教育内容を実現し、それらの教育カリキュラムで共通している内容は、「コンピュータ構造」「問題解決とアルゴリズム」「コンピュータネットワーク」「プログラミング」などである。
- 世界各国では情報教育カリキュラムを、コンピュータ科学を基礎とした形に再編し、教育の中で重視する形で推進している。

世界ではコンピュータ科学 (情報科学) に力を入れた教育が進められていることがわかる。

次に、アメリカの具体的なカリキュラムを紹介する。ACM (Association for Computing Machinery, 米国計算機学会) が、2003 年の報告書 [22] で提示しているモデルカリキュラムの構成を図 1.1 に示す。

それぞれの教育目標は次の通りである。

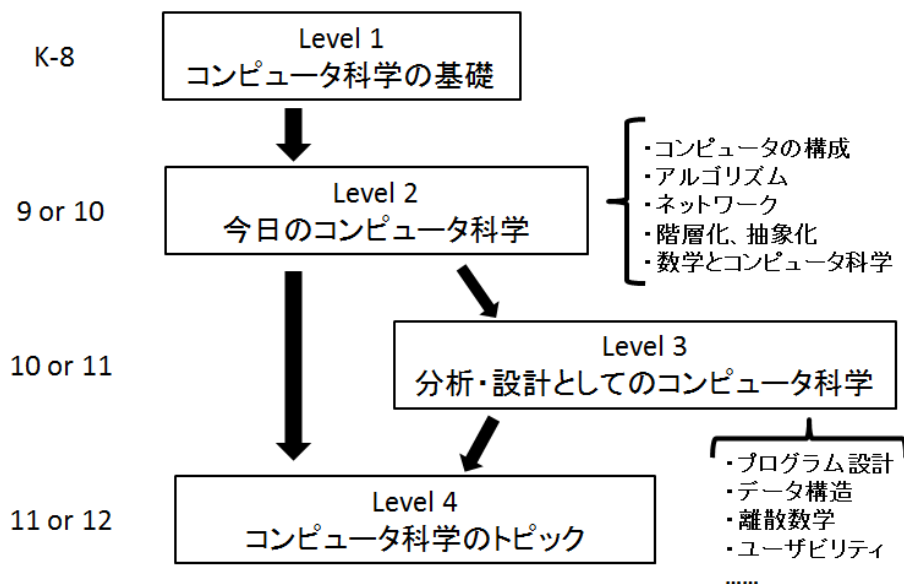


図 1.1 ACM モデルカリキュラムの構成

- 小学校では、すべての児童にコンピュータ科学の基本的な概念を紹介する。
- 中学校では、わかりやすく、価値のある授業になるようにコンピュータ教育カリキュラムを提示する。
- すべての学生のコンピュータ科学の知識を増やす。

この報告書の中で、コンピュータ科学 (Computer Science) を、「プログラミング」「ハードウェア設計」「ネットワーク」「グラフィックス」「データベースと情報検索」「コンピュータセキュリティ」「ソフトウェア設計」「プログラミング言語」「論理」「プログラミングパラダイム」「人工知能」「情報システム」などの要素を含む、コンピュータとアルゴリズムの原理、ハードウェア、ソフトウェア設計などと定義している。

ここに示された要素を日本の学習指導要領の中で考えると、プログラミング学習や計測・制御の学習が、これらの要素を多く含むと考えられる。プログラミング学習では、プログラミング、グラフィックス、ソフトウェア設計、プログラミング言語、プログラミングパラダイムなどが扱え、計測・制御学習では、ハードウェア設計、人工知能などが扱える。また、残されたネットワーク、データベースと情報検索、コンピュータセキュリティなどの要素も情報科学の学習内容として取り扱う必要があると思われる。

このような世界の情報教育の動向を踏まえ、日本の情報教育の現状を改善するためには、次のことに力を入れる必要がある。

- 日本の情報教育の現状、及び世界の情報教育の動向より、「情報の科学的な理解」

を深める学習に力を入れる必要がある。その内容として、プログラミング学習や計測・制御学習等の情報科学の学習が考えられる。

- 初等中等教育の教員の実態より、現場の教員が実戦可能な「情報の科学的な理解」を深めるための授業を開発する必要がある。

1.5 研究の概要と本論文の構成

本研究では、日本の学校教育の課題、技術教育の課題、情報教育の課題を踏まえ、中等教育を対象とした「制御機器の仕組みを理解するための情報教育教材」の研究を行う。まず、制御機器の仕組みを理解するための前提となる情報科学の基礎概念やプログラミングが、中学生に学習可能であることを確認するとともに、効果的な教育手法についても検討する。次に、制御教材の調査及び授業における評価を通して計測・制御学習の課題を明らかにする。課題解決の方法として、状態遷移による制御プログラミングと教材を共有する学習システムを提案する。

以下、第2章では、第1.4節で情報教育の課題として明らかになった「情報の科学的な理解」を深めるための学習について検討する。取り上げる内容は、情報科学の学習、プログラミング学習、計測・制御学習の3つの学習である。情報科学の学習とプログラミング学習は、制御機器の仕組みを理解するための前提となる基礎概念の学習である。中学生に教えるための教材や教育手法に関する調査結果を報告する。計測・制御学習は、中学校の技術教育を中心に教材開発の現状と学校現場に多く使われている教材についての調査結果を報告する。

第3章では、体験的な教育手法による情報科学の授業を報告する。最初に、体験的な教育手法による教材について解説する。続いて、その教材を活用した情報科学の授業を提案し、その評価を報告する。最後に、制御機器の仕組みを理解するための前提となる情報科学の基礎概念が、中学生に理解可能であることを明らかにする。

第4章では、プログラミング学習の授業提案と学習効果の検証について報告する。最初に、プログラミング学習の授業を提案する。続いて、生徒アンケートによる学習効果の調査結果、検証テストによる客観的な検証の試みを報告する。最後に、制御機器の仕組みを理解するための前提となるプログラミングが、中学生に可能であることを明らかにする。

第5章では、自律型の制御ロボット教材の調査と授業の評価を報告する。最初に、市販されている制御ロボット教材を比較検討して作成した評価基準を提案する。続いて、制御ロボット教材を使った授業実践を通して、授業と教材を評価する。最後に、自律型の制御ロボット教材を使った計測・制御学習の課題を明らかにする。

第6章では、第5章で明らかになった一つ目の課題の解決方法として、状態遷移の考え

方に基づく制御プログラミングを提案する。最初に、制御プログラミングの特徴と多くの制御ロボット教材に採用されている手続きの考え方によるプログラミング方法を検討する。続いて、状態遷移の考え方に基づく制御プログラミングを提案し、実験授業で有効性を検証する。

第 7 章では、第 5 章で明らかになった二つ目の課題の解決方法として、制御教材を共有して利用する学習システムを提案する。最初に、計測・制御学習で使用する制御ロボット教材を生徒全員で共有する学習システムの設計、実装について解説する。続いて、中学生を対象とした実験授業で有効性を検証する。

第 8 章では、全体を総括し、結論を記す。

第 2 章

「情報の科学的な理解」を深める教育と課題

本章では、学校教育、技術教育、情報教育における課題を踏まえ、情報教育の現状を改善するための先行研究を紹介しながら、課題解決の方向性を議論する。2 進数やエラー検出などの内容を直接的に扱う情報科学の学習、グラフィックス等のプログラム作品を制作するプログラミング学習、作ったプログラムによりロボットを制御する計測・制御学習の 3 つの学習を取り上げ、中等教育における授業を中心に、日本の情報教育の課題である「情報の科学的な理解」を深めるための学習について検討する。情報科学の学習とプログラミング学習は中学生や高校生に教えるための教材や教育手法に関する先行研究を中心に報告し、計測・制御学習は学校現場で使われる教材の開発に関する先行研究を中心に報告する。

2.1 情報科学の学習における教育手法と課題

本節で扱う「情報科学の学習」とは、情報科学で扱われる 2 進数やエラー検出などの理論や仕組みを直接的に教える学習とし、具体的には、2 進数、エラー検出、暗号化、圧縮、検索方法などの内容である。これらの学習の学校教育での実践事例は非常に少ない。中学校の技術・家庭科の学習指導要領 [1][4] には、情報科学の学習に関する取り扱いが明記されていないため、授業はほとんど行われていない。しかし、高等学校の教科「情報」では、情報の科学的な理解のための学習として、「情報の表し方」や「モデル化とシミュレーション」などの内容 [44][45] を扱うことが明記されているため、少ないが実践事例はある。まず、高等学校における教科「情報」の中での情報科学の学習の中で課題を検討する。

2.1.1 一般的な授業

教科「情報」における情報科学の学習は、多くの学校では教科書に書かれている内容をそのまま解説するような学習が行われているものと予想される。愛知県総合教育センターのサイト^{*1}には、教科「情報」で使われる具体的な指導案や実習例が紹介されている。その中の情報B「コンピュータにおける情報の表し方」における指導案「数値のデジタル化学習指導案」を参考に、一般的な情報科学の授業について考察する。

指導案に示されている学習の流れを以下に示す。

1. 生徒が思い浮かべた数字を当てる、手品を演示する。
2. 0と1だけを使って表現する方法があることを知る。
3. 2進数についての基本的な知識を学習する。
4. 数を1ずつ増やしながら、2進数と10進数で数に変化していく様子を学習する。
5. 指を使った進数表現があることを知り、実際に体験してみる。
6. 10進数から2進数への変換方法を学習する。
7. 2進数の各桁がもつ重みを理解する。
8. 2進数から10進数への変換方法を学習する。
9. 導入学習で行った数当てゲームをもう一度取り上げ、今までの学習を振り返る。
10. プリントに用意された練習問題を解く。

この授業で使用する学習プリントを図2.1に示す。

この授業の流れは、まず、導入では2進数を利用した数字を当てるゲーム(手品)を行い、なぜ数字が当たるのかを考えさせることにより生徒の興味を引きつけている。展開では、指を使った進数表現や用意されたプリント(図2.1)の空欄を埋める作業を通して、2進数と10進数の変換計算などを学習する。

指導上の留意点には、「講義だけでなく、数値・文字・画像・音声などのデータがデジタル化されていることの理解を助けるような、実習を交えた授業を展開していく。」とある。

指導者による授業後の反省には、「生徒にプリントの練習問題を解かせて、机間指導により生徒の理解度を確認した。全体的には進数の計算が理解できている生徒が多く、特に数学が得意な生徒は簡単に計算をこなしていた。授業中の説明では理解できなかった生徒に対しても個人指導をすることで計算方法を理解し、答えを導き出せていた。」と書かれている。

^{*1} <http://www.apec.aichi-c.ed.jp/project/joho/>

6. 表1の2進数の欄を埋めましょう

表1. 10進数・2進数・16進数の対応表

10進数	2進数	16進数
0	(0) ₂	(0) ₁₆
1	(1) ₂	(1) ₁₆
2	(10) ₂	(2) ₁₆
3		
4		
5		
6		
7		
8		

10進数	2進数	16進数
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

7. 10進数は2進数に、2進数は10進数にしない。

(1) 24

(2) 37

(3) (11001)₂(4) (111000)₂

(1)	(2)
(3)	(4)

図 2.1 数値のデジタル化の学習プリント (一部)

ここに紹介した実践事例は、2進数を教える授業の一般的な指導である。一般的な授業は、そのまま教科書やプリントの学習に入る場合もあることから考えると、最初に手品を使い生徒の興味を引きつける導入をしていることから、よく工夫された指導案と思われる。留意点には、講義だけでなく実習を取り入れた授業展開にすることがあげられており、少しでも実習を取り入れて生徒の理解を深めようとする姿勢も伺える。しかし、授業の中心は計算を中心とするプリントの穴埋めであり、生徒の学習意欲が高まる授業になっているとは考えにくい。情報科学の学習では、教科書やプリントだけによる授業になり、意欲的に取り組めない生徒も多くなることが予想される。そのため、実習などの体験的な学習を少しでも取り入れ、学習意欲も高まるような工夫をしようとしていることがよくわかる。しかし、情報科学の授業を生徒の意欲が高まる実習中心の授業として扱うことは非常に難しいと思われる。生徒の学習意欲を高め、理解が深まるような実習を、授業にどのように取り入れていくかという課題があると考えられる。

また、この授業で扱われている情報科学の内容を考えた場合、指導者による授業の反省から、2進数の存在や計算方法に力が入れていることがわかる。2進数がコンピュー

タとの関係の中でどのように扱われているかについてはあまり重要視されていないように思われる。情報科学で扱われる2進数の学習は、コンピュータの仕組みと関係した情報の表し方であって、数学的な2進数の計算ではないと考えられる。このように教える情報科学の内容が、本来学習すべきコンピュータの仕組みとの関係の中で、正しく扱われていない場合があり、扱う情報科学の学習が何のための学習かを意識した指導が行われていないという課題がある。

2.1.2 デジタルコンテンツを使った授業

教科書やプリントだけに頼らない独自のコンテンツを使った実践もある。間辺の [23] によると、手話の指文字と点字とを合わせたオリジナルのプロトコルをつかった2進数の実習やフラッシュコンテンツを使ったドット絵作成ボードなどが紹介されており、体験的な実習をともなった授業ができるように工夫されている。図2.2にWeb^{*2}で紹介されているドット絵作成ボードを示す。また、これらの教材を紙媒体のノートとしてまとめた「おもしろ学習情報ノート [24]」もある。これらのデジタルコンテンツは、生徒の学習意欲を高め、学習内容の理解が深まる効果が期待できると考えられる。間辺らの [25] では、「体を使う」「グループで行う」「コミュニケーションを図る」等が困難な人に対する教育にもデジタルコンテンツは有効であることが報告されている。しかし、このようなデジタルコンテンツを取り入れた教材はまだ少なく、学校現場における授業にもあまり取り入れられていない現状にある。

【実習1】ドット絵作成ボード(2色)

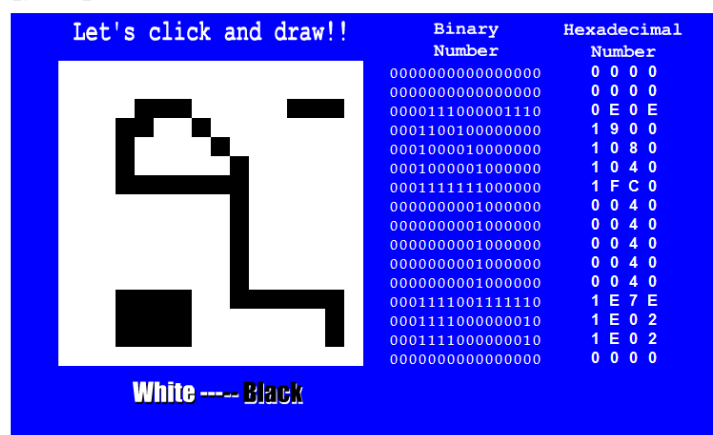


図 2.2 ドット絵作成ボード

^{*2} <http://www.info-study.net/>

2.1.3 コンピュータサイエンス アンプラグド・プロジェクト

コンピュータサイエンス アンプラグド・プロジェクト (The Computer Science Unplugged project) は、ニュージーランド カンタベリー大学の Tim bell 博士らによって始められた、体験的な活動を取り入れた情報科学の学習に関するプロジェクトである。Tim Bell らの [26] によると、子どもたちに情報科学を教えるためのゲームやマジックなどの体験的な活動を取り入れた教育手法が提案されている。このプロジェクトは、csunplugged.org^{*3}で公開され、テキスト [77] は日本語 [78]、韓国語、ドイツ語、ロシア語など 12 の言語に翻訳されている。

教材は、さまざまなフォーマットで提案されており、ビデオによるデモンストレーション、子ども向けの科学教室でのショー、屋外での活動イベントなどがある。その中から、ユーチューブ^{*4}で紹介されているビデオによる画像表現を扱ったデモンストレーション^{*5}(図 2.3)、小学生向け科学イベントでのショー^{*6}(図 2.4)、屋外での学習活動の会場(図 2.5)を紹介する。

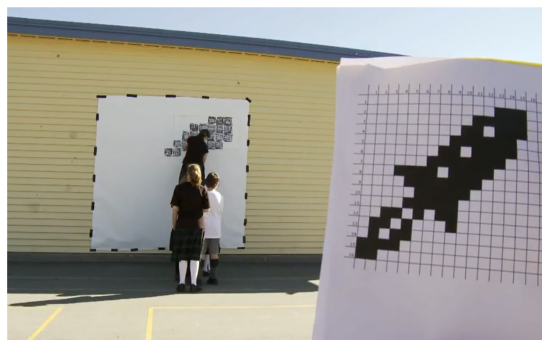


図 2.3 ビデオによるデモンストレーション (画像表現)

このプロジェクトは、情報科学の新しい取り組みとして注目されており、ACM K-12 カリキュラム (図 1.1) でも推薦されている。しかし、科学イベントなどで使われた報告は数多くあるが、学校における一斉授業での実践報告は世界でもあまり見られない。一斉授業で活用できる教材であるかを、実際の授業を通して評価する必要があると考えられる。

^{*3} <http://csunplugged.org/>

^{*4} <http://www.youtube.com>

^{*5} <http://www.youtube.com/user/csunplugged#p/a/u/2/uaV2RuAJTjQ>

^{*6} <http://www.youtube.com/user/csunplugged#p/a/u/1/VpDDPWVn5-Q>



図 2.4 科学イベントでのショー



図 2.5 屋外での活動会場

2.1.4 情報科学の学習における課題

紹介した一般的な授業、デジタルコンテンツによる授業、コンピュータサイエンス アンプラグド・プロジェクトによる手法を踏まえ、情報科学の学習に関して次のような課題が考えられる。

- 体験的な活動を通して情報科学の学習ができるコンピュータサイエンス アンプラグド・プロジェクトを、学校における一斉学習の中で活用できるかを検証する必要がある。
- 情報科学の授業では、教科書やプリントのみによる学習ではなく、手品やフラッシュコンテンツなどを取り入れた授業展開、体験的な活動を取り入れた教材の開発など、実習や体験的な活動を授業に積極的に取り入れるための工夫を考える必要がある。
- 中学生が情報科学の概念をどの程度まで理解できるかを調べる必要がある。

2.2 プログラミング学習における先行研究と課題

プログラミング学習に関する研究では、学習効果の検証報告が数多く見られる。まず、検証されている学習効果を確認し、プログラミング学習の内容やその指導法について検討する。また、この学習で重要な要素となるプログラミング言語について、中学校での学習に適切な言語を検討する。これらの検討を通してプログラミング学習の課題を明らかにする。

2.2.1 学習効果の検証

中学校の技術・家庭科におけるプログラミング学習の効果について、次のような報告がある。

上田らの [63] によると、グラフィックスのプログラミング学習を中心とした指導の試みとして、生徒にグラフィックスの制作課題として、エンジンの基本動作のシミュレーションから自由な課題のソフトへと段階的に自由度を広げた指導を行った結果、プログラミング技法や問題解決のためのアルゴリズムと限界の学習のみならず、課題自体に関する基礎学習の必要性の認識、融合学習などにも有効であると報告している。特にその中で、「授業が進むにつれて、生徒の興味・関心の中心がプログラミングの内容から課題自体の学習に移行したという事実は、教育の個別化が叫ばれる中、課題解決学習や自己教育力の育成学習にとって十分効果があることを示唆していると考えられ、思考力をともなった課題解決学習や学習意欲を高める自己教育力にも関係する学習効果が期待される」と報告している。

生徒の学習意欲に関する効果に関しての報告は、中島らの [32] がある。プログラミング学習と表計算・データベースの学習の授業実践の結果、コンピュータを使った学習に対しては、生徒は概ね好感的な印象を持っており、特に内容面、意欲・態度、満足度においてその傾向が強いこと、またコンピュータを使った実習に対しては、その有用性や価値性を高く意識していること、そして問題意識、追求意欲、利用・活用意欲によって、学習に取り組む傾向があることなどが報告されている。「技術科教育における創造性の育成という観点からみると、問題認識、自主性、集中的思考と拡散的思考、固執性を伸ばすのによいことが明らかとなった」と報告している。プログラミング学習は、生徒は有用性を感じ、学習意欲をもって取り組む教材であり、問題意識、自主性、集中的思考等の学習効果があると考えられる。

プログラミング学習による効果は、生徒の興味・関心、有用性、思考力などを扱ったものが多く、生徒の興味・関心を高め、思考力をともなう課題解決学習に効果があると報告

されている。しかし、このような学習意欲やプログラミングに関しての課題解決の効果だけでなく、グラフィックスなどの学習題材を取り入れた場合には数学分野における学習との関連、テキストによりプログラムを記述をするプログラミング言語であれば国語分野などとも関係する効果も期待できる。しかし、数学や国語など、他教科の学習との関連についての検証報告は見られない。それは、学校現場では技術・家庭科、数学科、国語科など教科ごとに指導する教員が異なるため、連携した検証が難しいことが原因と考えられる。また、ほとんどの教科研究は、それぞれの縦割りの教科の中だけで行われる傾向があり、他教科との連携や関連性など横とのつながりが必要な研究については進められていない現状にある。

学習効果は、授業での学習内容や指導法とも深い関係があると考えられる。次に、プログラミング学習で扱う内容や指導法について考察する。

2.2.2 学習内容と指導法

中学校の技術・家庭科に情報教育が導入された当時から、プログラミングに関するグラフィックスや音楽の簡単な課題からゲーム制作等の複雑な課題まで、さまざまな課題がある中で、どのような内容をどのように指導するか、が検討されてきた。

奥西らの [64] によると、「興味・関心ある題材とは」「どのようにすれば知識の定着が図れるか」の2点に力点をおき、情報基礎領域の指導内容のうち、コンピュータの基本操作及びプログラミングの基礎に重点をおいた指導計画による授業実践が報告されている。その結果、「プログラミングにおいては、グラフィックスを中心に扱い、最低押さえておきたい内容については繰り返し使用する場面を設定することが有効である」と報告されている。

山口らの [33] によると、プログラミングを指導する場合、到達度が高まる生徒と高まらない生徒をプログラミングの「到達者」と「非到達者」に分け、両者間のプログラミング学習に関わる要因の違いを質的に分析した結果が報告されている。その中で、プログラミング能力は、「理論思考力」「科学的興味」「実行力」「がんばり」「独立性」と相関を持つことが報告され、「指導者は、常に授業内容に対して、生徒が自分自身で積極的、意欲的に取り組むように内発的な問題解決行動を喚起する授業設計が重要である」と述べている。

初等中等教育における学習では、グラフィックスを題材にしたものが多い。これは、グラフィックスのプログラミングは、プログラムの基本を繰り返し学習でき、作ったプログラムの実行結果が目に見える形ですぐに画面上に現れるためわかりやすい。そのため指導に適した題材と考えられる。また、生徒の積極的、意欲的な課題を設定しやすい題材であるとも考えられる。

2.2.3 プログラミング言語

プログラミング言語の選定は、プログラミング学習においては、授業の学習内容や生徒の学習意欲を左右する重要な要素である。

第 2.2.1 節、第 2.2.2 節で紹介した報告に使われているプログラミング言語は、BASIC[34] [35] が多い。中学校の技術・家庭科での実践の多くは BASIC であり、一部に LOGO[36] が使われる。しかし、現在、世界で最も使われている教育用のプログラミング言語は、スクイーク Etoys (Squeak Etoys) [37][38] やスクラッチ (Scratch) [39] である。

スクイーク Etoys は、「パーソナルコンピュータの父」と言われている Alan Kay 博士が開発したもので、世界中のたくさんの技術者によって機能の改良が行われている。好きな絵を描いて、命令のタイルを組み合わせるだけで、その絵を動かすことができ、ゲームをつくったり、デジタル絵本を作ったり、図形やグラフを描いたり、自分なりのアイデアでいろいろな作品作りができるプログラミング言語である。

スクラッチは、スクイーク Etoys をベースに、MIT(マサチューセッツ工科大学) メディアラボ・ライフロンギンダーガートンが開発した教育用プログラミング言語である。「想像・プログラミング・共有」をスローガンに、世界中で 80 万人が利用し、180 万個の作品が作られている。これらの作品はネットで公開され、ゲームやアニメーション、シミュレーション、物語、音楽などがある。スクラッチの基本画面を図 2.6 に示す。

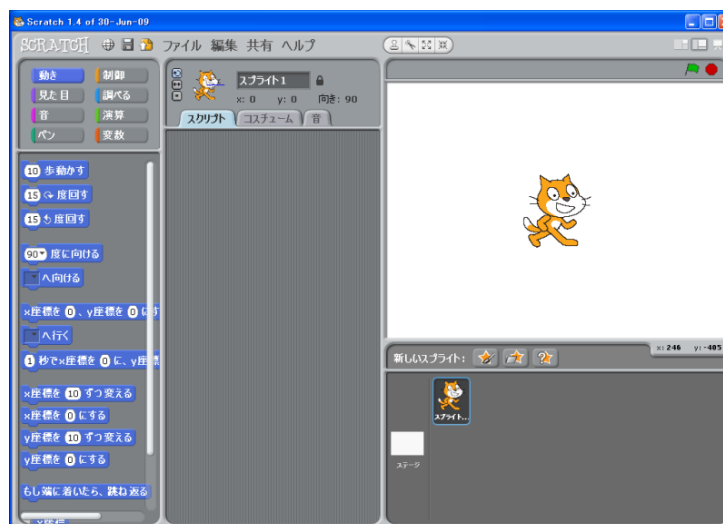


図 2.6 スクラッチ (Scratch) の基本画面

これらの言語は、ビジュアルプログラミング環境で、処理に相当するブロックを組み合わせることでプログラムを作成する。プログラムが比較的簡単に作れるため、小学生を対象

とした実践も多い [40][41]。小学校でこのようなプログラミング環境が好まれる背景には、テキストによるプログラミングが小学生には難しいことがある。しかし、Java[42] や C++[43] のような一般的なプログラミング言語の多くは、ブロックを組み合わせるようなプログラミングではなく、テキストによるプログラミングのため、テキストによるプログラミング学習も必要があると思われる。中学校ではこのようなビジュアルプログラミング環境よりも、テキストによる環境が好まれるため、BASIC が多いとも考えられる。しかし、スクイーク Etoys やスクラッチと BASIC との大きな違いは、前者はオブジェクト指向を取り入れた言語であり、後者はそのような設計にはなっていない問題がある。中学校においては、オブジェクト指向を取り入れたテキストによるプログラミング学習の必要があると思われる。

2.2.4 プログラミング学習における課題

学習効果の検証、学習内容と指導法、プログラミング言語の考察を踏まえ、プログラミング学習に関して次のような課題が考えられる。

- 中学生に適したプログラミング言語として、オブジェクト指向を取り入れた言語でテキストによるプログラミングの可能性を調べる必要がある。
- 学習効果の検証に関して、学習意欲や思考力に関する検証とともに、他教科に波及する学習効果についても検証する必要がある。
- 学習内容においては、グラフィックスなど視覚的に考えられる題材設定が適切であり、生徒が意欲的に取り組める課題を考え、提案する必要がある。
- 中学生がどの程度のプログラミングが可能であるかを調べる必要がある。

2.3 計測・制御学習における教材と課題

計測・制御学習に関するさまざまな教材が開発されてきた。計測・制御学習では、授業で使用する教材が生徒の興味・関心に影響するだけでなく、学習する内容にも影響するため、教材が果たすべき役割が大きい。そこで、本節では技術・家庭科用の教材の調査を通して、計測・制御学習の課題を検討する。

2.3.1 中学校技術・家庭科における教材

計測・制御学習用の教材開発については多くの報告がある。例えば、坂口らのポケットコンピュータを用いたモータ制御用教材 [46]、宮倉らのコンピュータ制御エレベータモデルを用いた情報基礎教材 [47]、杵淵らの LED や電子オルガン RS-232C でシーケンス

制御する教材 [48]、亀山のプリンタ端子を利用した発光ダイオード点滅制御器教材 [49]、大倉のステッピングモータ教具の開発 [50]、菅野らのディスプレイを制御する教材 [51]、大倉らの円筒座標形ロボットアームを制御する教材 [52]、亀山の走行ロボットの原型をなすインテリジェントマウス教材の開発 [53]、川崎らのサーボモータを用いた木琴自動演奏システム教材 [54]、大倉らの多関節形板書ロボットアーム教材 [55]、などがあげられる。

しかし残念なことに、ここに紹介した教材で学校現場に普及したものはない。計測・制御は専門的な知識が必要であるため、これらの教材は技術科担当教員が教え、生徒が学べるレベルにはなっていなかったと考えられる。しかし、新学習指導要領では計測・制御学習が必修化されることから、計測・制御の専門家でない多くの技術科教員が実践できる教材、また、その教材を使った授業内容の検討が急務となっている。

技術・家庭科用の計測・制御教材には、次のような特徴がある。技術・家庭科は情報教育だけを扱う教科ではないため、他の領域と融合して扱う融合教材としても教材開発も進められている。例えば、村尾らの機械領域と融合させた気化器を利用した演示装置の開発 [56]、佐藤らの機械制御を教えるための教材・教具の開発 [57]、大倉らのコンピュータによる機械制御教材 [58]、村尾らの機械と情報基礎の両領域にまたがるコンピュータで切削位置を制御される機能を備えた教材 [59]、森らの電気領域と融合させたインテリジェントハウス教材 [60] などがある。ものづくり領域と融合させた教材に、紅林らの自律型 3 モータ制御用ロボット教材 [61] がある。この教材はロボットの製作とコンピュータ制御の学習ができる。コンテスト形式の課題を設定することにより、ロボットの形状や制御プログラムを工夫する授業が可能である。ものづくり領域で制御ロボットを製作し、その製作したロボットをプログラムにより制御する学習は、[82] でも報告されており、製作の学習から制御まで学べるバランスのよい総合的な学習教材として高い評価を受けている。計測・制御学習は、ロボット製作というハードウェアの学習とプログラミングというソフトウェアの学習の両面を学習することで理解が深まると考えられる。嶋田らの [62] によると、自律型ロボット教材は、興味・関心を持ってロボット製作とプログラム作成に取り組むことができ、計測・制御の学習において高い学習効果が得られることが報告されている。

しかしここに紹介した多くの報告は、計測・制御学習に関するハードウェアの研究である。このハードウェアを制御するソフトウェアに関する研究報告はほとんどない。ハードウェアの開発だけでなく、生徒がプログラムを考えやすいソフトウェアの開発も進める必要があると考えられる。

2.3.2 計測・制御ができる教育玩具

計測・制御学習の教材として世界で最も使われているものは、レゴ マインドストーム (LEGO MINDSTORMS)*⁷[27] である。図 2.7 にレゴ マインドストームの組み立て例を示す。



図 2.7 レゴ マインドストーム

レゴ マインドストームは、レゴ社が MIT(マサチューセッツ工科大学) と共同開発し、1998 年に発表した教育用ロボティクスで、「RCX」「NXT」と呼ばれるマイクロプロセッサが組み込まれたものである。これにプログラミングすることによって、レゴブロックで組み立てた自律型ロボットが動く教育玩具として世界中で販売されている。

この教材を用いた実践は、小学校から大学まで幅広く報告されている [28][29][30]。このように実践が多い背景には、入手が容易で、さまざまなセンサをブロックで追加できるレゴブロックのシステムによる拡張性や教育用 NXT ソフトウェアが命令のブロックを組み合わせる方法でプログラミングでき、小学生から使えるように設計されていることがあげられる。また、この教材が普及した背景には、汎用性が高い教材のため小学校から大学までの学習が可能であり、世界に流通しているため各国での実践研究も多く、研究開発が進んでいることがあげられる。問題点としては、学校で購入するには高価な教材であり、予算の関係から購入できない学校も多く見られる。また、実践報告の中には、「多くのパーツを組み合わせて形作ることができる特徴を持ち、参加者の発想力・創造性を高めることが可能である。しかし、あまりにも多くのパーツがあるために組み立てに時間がかかるという一面もある。」という報告もある [31]。また、汎用性が高いレゴブロックのため、計測・制御の学習よりもレゴブロックでの形の創作に夢中になり、本来の計測・制御学習から外れてしまうという指摘もある。

*⁷ <http://www.legoeducation.jp/mindstorms/>

2.3.3 計測・制御学習における課題

計測・制御教材の検討を踏まえ、計測・制御学習に関して次のような課題が考えられる。

- 新学習指導要領では、計測・制御学習が技術・家庭科で必修化されるため、授業で使用する適切な教材、授業内容や課題、指導方法などの具体的な検討が必要である。
- 計測・制御教材のハードウェアの開発だけでなく、制御ソフトウェアに関して、生徒がプログラムを考えやすいソフトウェアの開発を進める必要がある。

第 3 章

「コンピュータサイエンス アンプラグド」による情報科学の授業と評価

3.1 はじめに

中学校における「情報の科学的な理解」に関する学習は、プログラミング学習や計測・制御学習が中心で [74] [75] [76]、2 進数やエラー検出などの情報科学の内容はほとんど扱われていない。これは一つには、情報科学の内容は中学生にとって難しいと考えられてきたことによるものと思われる。また、中学校の技術・家庭科では実習が重視されるが、情報科学の学習は、一般的に座学で行うものと思われていることも理由として考えられる。そこで、体験的な活動を通して、小学生から情報の科学的な基礎概念を学べるように開発された教育手法「コンピュータを使わない情報教育 アンプラグドコンピュータサイエンス」(原題 “Computer Science Unplugged” [77] [78] 以下、CS アンプラグドと記す) を活用した情報科学の授業を提案する。中学生向けの授業の設計と教材の改良を行い、実践した授業より、情報科学の基礎概念を中学生が理解できるかを明らかにする。

3.2 CS アンプラグド

CS アンプラグドは、ニュージーランドのティム・ベル博士らが提唱している、情報科学を体験的に学習する教育手法である。オンラインでテキスト [77] が公開されており、日本では翻訳 [78] が 2007 年に出版された。

CS アンプラグドは、表 3.1 に示した 12 の章で構成されている。個々の内容は、高等学校から大学の専門課程で扱われる情報科学の考え方であるが、対象年齢は 7 歳から 9 歳以上であり、小学生からの体験が可能なように工夫されている。

以下に、CS アンプラグドのそれぞれの章の内容を紹介する。

表 3.1 CS アンプラグドの章構成

章	内容	章	内容
1.	2進数	7.	整列
2.	画像の符号化	8.	並列処理
3.	テキスト圧縮	9.	最小全域木
4.	エラー検出	10.	パケット通信
5.	情報量	11.	オートマトン
6.	データ検索	12.	プログラミング言語

第1章では、2進数を扱っている。最初に図3.1のようなカードで2進数を理解し、続いて文字をコード化してモデムのように音の高低で伝達するゲームを行う。最後にコンピュータのメモリやCD-ROMで情報を記憶する仕組みを解説している。

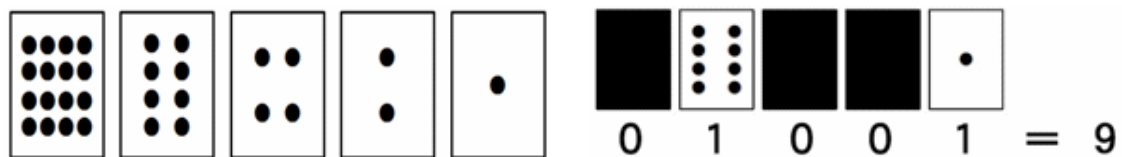


図 3.1 2進数のカードと表現方法

第2章では、画像のビット表現を扱っている。最初にマトリクスに描かれた図形を白と黒の並びの数でコード化する。続いて自分の絵をコード化し、同級生が元の絵に戻すゲームを行う。最後にコンピュータやFAXでの画像のコード化や圧縮の効果を解説している。図3.2のような形で、画像をコード化することを学習する。次にコード化された数値から画像を復元する図3.3のワークシートで学習し、最後に図3.4のワークシートで自分の描いた絵を友達に送信するゲームをする。

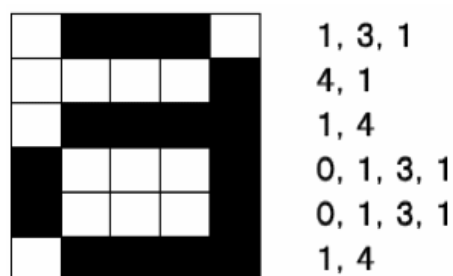


図 3.2 画像の符号化を説明するサンプル

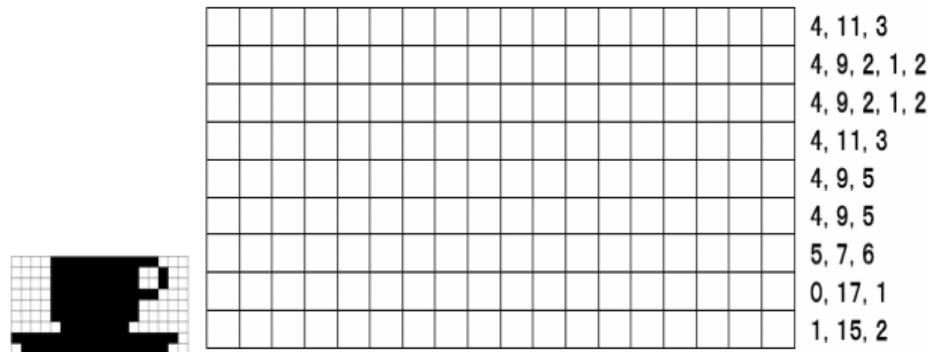


図 3.3 復号のワークシートの例およびその正答 (左下)

第3章では、テキスト圧縮を扱っている。最初に、テキスト中に出現する文字列の重複を、すでに出現している箇所を示すことにより圧縮する方法を学ぶ(図 3.5)。最後にコンピュータのデータや通信で、テキストや画像が圧縮されて扱われていることを解説する。図 3.6 のワークシートで、言葉を使った圧縮や復元を体験する。

第4章では、エラー検出を扱っている。最初にパリティを使い、縦横に並べた白黒のカードのどれが反転したかを当てる図 3.7 のような手品を行う。続いて書籍の ISBN を計算し、最後にコンピュータや音楽 CD におけるエラー検出とエラー訂正の重要性を解説している。

第5章では、情報量を扱っている。最初に情報量の定義を説明する。続いて2分探索により数を当てるゲームを行い、決定木を紹介する。最後にエントロピーの説明と、決定木のコンピュータのユーザインタフェースへの応用を解説している。

第6章では、データ探索を扱っている。最初に生徒を並ばせて、ランダムな並びとソートされた並びで探索の効率を比較する。続いて2人組で相手の数を当てる戦艦ゲーム(図 3.8)を行い、線形探索、二分探索、ハッシュ探索を比較する。最後にコンピュータでの探索の重要性を解説している。

第7章では、整列アルゴリズムを扱っている。最初に天秤で重りを比較することで選択ソートとクイックソートを使い、続いて挿入ソート、バブルソート、マージソートを紹介する。最後にコンピュータでのソートの重要性を解説している。

第8章では、整列の並列処理を扱っている。バラバラの値を持った人々が床に描かれた線をたどって歩くと、最終的に整列された並びになるゲーム(図 3.9)を行う。続いて、複数の比較を同時に行った場合とそうでない場合の効率を比較する。最後に複数の CPU で処理する利点を解説している。

第9章では、最小全域木を扱っている。最初に街の家を最短で結ぶ道を探すゲーム(図 3.10)を行う。続いてノードとエッジを使ったグラフを紹介する。最後に水道やガス

[illegible]

図 3.4 自分の描いた絵を友達に送信するゲームのワークシート

管などのインフラや、さらには航空路線やインターネットにも使われていることを解説している。

第 10 章では、パケット通信を扱っている。最初に生徒を円形に座らせ、両手に持ったみかんを全員が自分のみかんを手に入れるまで交換するゲーム (図 3.11) を行う。最後にネットワークにおけるデッドロックや輻輳、ルーティングを解説している。

第 11 章では、有限状態オートマトンを扱っている。最初にカードを持った生徒のオー

Pitter patter
↓
Pitter pa .

図 3.5 重複文字の説明図

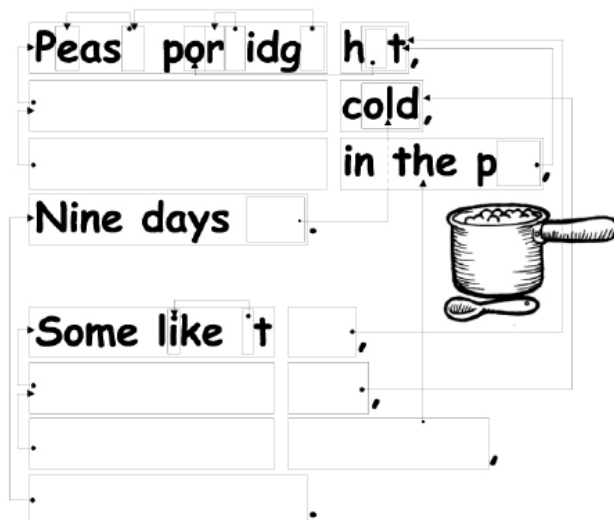


図 3.6 「それ、さっきも言った！」ワークシート

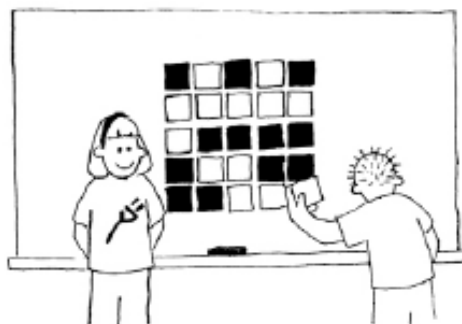


図 3.7 カード交換の手品

トマトンに従ってゴールの宝島を目指すゲーム (図 3.12) を行う。最後に銀行の ATM や人工知能への応用を解説している。

第 12 章では、プログラミング言語を扱っている。最初に与えられた絵を言葉で説明し、他の生徒に描かせるゲームを行う (図 3.13)。最後にコンピュータでの利用とエラーにつ

自分の船													攻撃の回数:	
9058	7169	3214	5891	4917	2767	4715	674	8088	1790	8949	13	3014		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
8311	7621	3549	9264	450	8562	4191	4932	9462	8423	5063	6221	2244		
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		

相手の船													攻撃の回数:	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		

1A

図 3.8 戦艦ゲームのワークシート

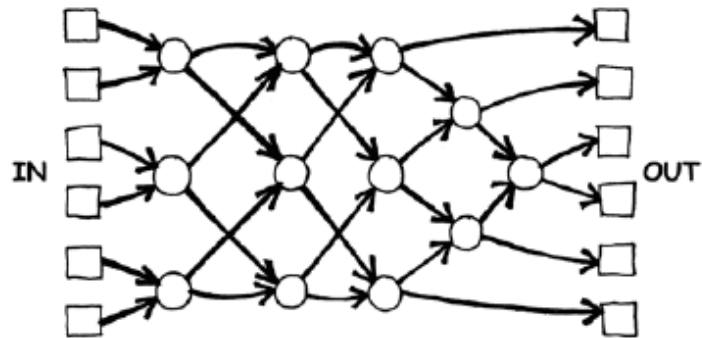


図 3.9 並び替えネットワークシート

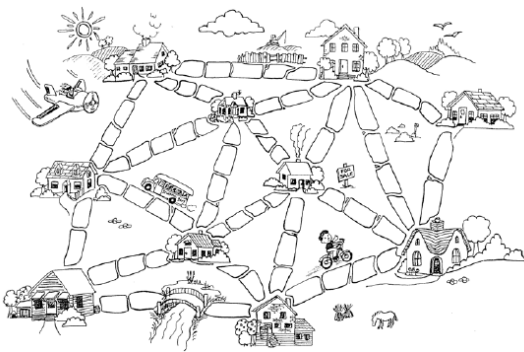


図 3.10 「マッディー市プロジェクト」ワークシート

いて解説している。

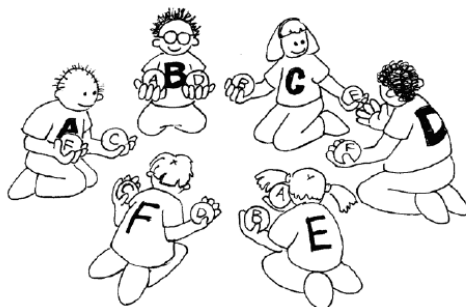


図 3.11 みかんゲーム

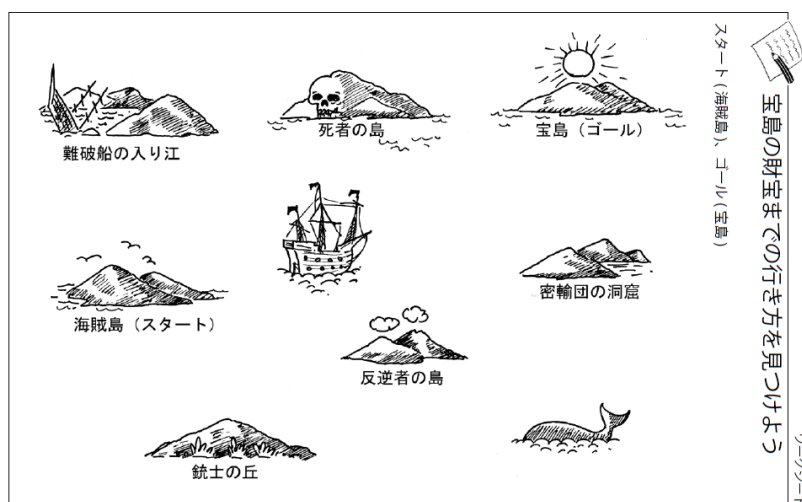


図 3.12 「宝島ゲーム」ワークシート

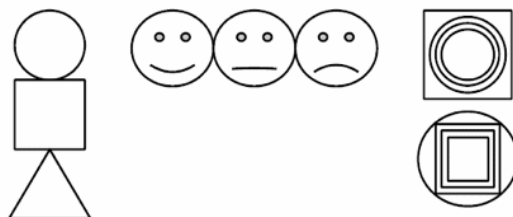


図 3.13 言葉で伝えるゲームの図形の例

3.3 CS アンプラグドを導入した授業

3.3.1 授業の概要

CS アンプラグドを取り入れた授業を設計し、教材の準備と授業を実施した。授業では、情報科学の学習を通して、次のねらいを達成することを目標にした。

- (1) コンピュータの仕組みに興味・関心を持つ。
- (2) コンピュータの仕組みを科学的に理解する基礎的な力を身につける。
- (3) 学習した内容の身近な機器への活用がわかる。

授業は全5回で扱うことにした。2012年度から完全実施される新学習指導要領[4]では、「情報に関する技術」領域を含む4領域を175単位時間(1単位時間は50分)で扱わなければならない。4領域に割り当てる時間に極端な偏りがないものと仮定すると、20時間程度の少ない時間で情報に関する内容のすべてを扱わなくてはならない。このように少ない限られた時間で扱うには5単位時間程度が適切と考えたからである。

実施する章は、過去の実践[79]などを参考に、生徒が身近なコンピュータの原理を体感できる章を選んだ。指導計画を表3.2に、実践した授業の概要を表3.3に示す。

授業は1学級を2つに分けて授業を実施する少人数クラスで実施した。

CSアンプラグドのオリジナル[77][78]では、Activityとしてさまざまな学習活動が紹介されているが、学校での授業を前提として作られたものではないため、どのような構成と流れで学習を進めればよいかは示されていない。そのため、授業の構成に際し、授業の目的にあった学習活動を選び、授業として成立するように設計した。

以下の節では、設計した授業の詳細を報告する。

表 3.2 指導計画 (全5時間)

時数	学習内容
第1時	パケット通信(10章)
第2時	画像の符号化(2章)
第3時	2進数(1章)
第4時	エラー検出(4章)
第5時	プログラミング言語(12章)

表 3.3 実践授業の概要

教科：	必修教科としての技術・家庭科(技術分野)
学年：	中学2年生
時間：	全5単位時間(1単位時間は50分)
人数：	2008年度 10名×4クラス
	2009年度 18名×2クラス

3.3.2 第1時 パケット通信

授業の構成

授業の目的を、「パケット通信の基本的な考え方」の理解とした。授業の流れを示す。

- 導入 (10 分) 情報通信ネットワークの仕組み
- 学習 1 (15 分) オリジナルのみかんゲーム
- 学習 2 (15 分) スター型のみかんゲーム
- まとめ (10 分) 学習とコンピュータとの関連

導入では、最初の授業であるため CS アンプラグドを紹介した後、本時は情報通信ネットワークの学習であることを説明する。次に、「試行錯誤しながら全員で解決策を考える」という、CS アンプラグドの特徴を体験しやすい 10 章の「パケット通信 (みかんゲーム)」をする。学習 1 では、オリジナルのみかんゲームをする。この学習では、データ通信のパケットに見立てたみかんなどの果物を生徒が持ち、それを生徒が隣同士で交換する作業を繰り返す。どの果物をどの経路を通して交換していけば全員が自分の果物を手元に持てるかという課題解決の手順を、果物の送り方 (パケットの送られる経路) を話し合いながら進めるようにする。学習 2 では、独自に加えたネットワークを意識したスター型でのみかんゲームをする。まとめでは、みかんゲームとパケット通信をつなげる話をする。

教材の工夫

オリジナルの学習では、生徒の並びは円形 (図 3.11) と直線形を利用する。今回は、よりネットワークを意識させるためにスター型の並びを追加した (図 3.14)。これにより、円形でどちら周りに送るかという複数の経路の存在を学習しつつ、スター型では中心のルーターがどのネットワークに送るかを制御する原理を体験できるようにした。

実践した授業

導入では、携帯電話やゲーム機などの身近な情報機器に情報通信ネットワークが使われており、その原理を理解することの重要性を説明した。学習 1 の「みかんゲーム」では、生徒同士が協力して問題解決に取り組む姿が見られた。学習 2 の独自に加えたスター型では、中心に入った生徒がすべての受け渡しに関わることになり、ネットワークでのルーターと同じ働きをすることになる。この体験を通して、ネットワークではルーターが重要な役割を果たすことを体験的に理解していることが、活動の様子から伺えた。生徒からは、コンピュータ室のサーバーのようだという声も聞かれた。

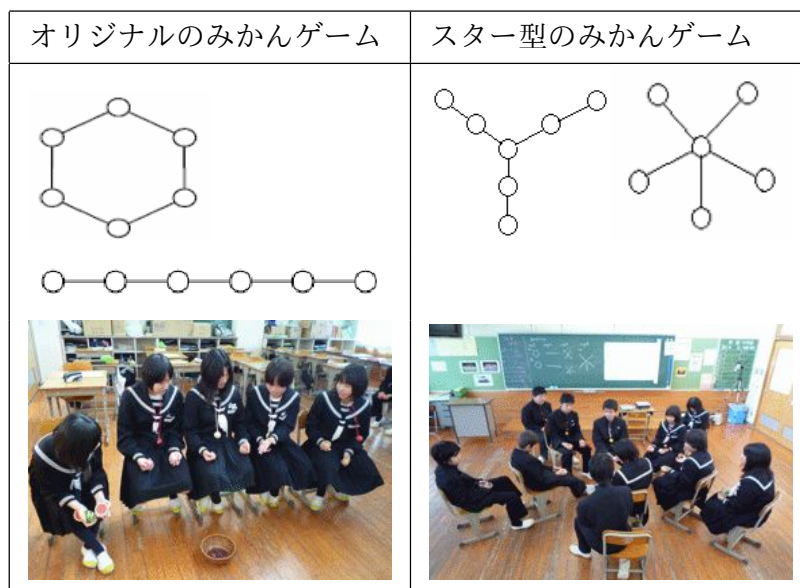


図 3.14 オリジナルの形とスター型のみかんゲーム

3.3.3 第2時 画像の符号化

授業の構成

授業の目的を、「コンピュータは画像データを数値として扱っている」という符号化の理解とした。この授業では、コンピュータや FAX の画像は、符号化して送られ、それを復号して画像に戻していることを学習する。授業の流れを示す。

- 導入 (5 分) 学習課題の提示
- 学習 1 (5 分) 符号化ルールの発見
- 学習 2 (10 分) 復号の練習
- 学習 3 (25 分) FAX 通信
- まとめ (5 分) 学習とコンピュータとの関連

導入では、FAX の原理について、「画像をどのようにすれば送れるか」と発問し、既存の知識の中で原理を考えさせる。学習 1 では、オリジナルの画像を符号化する例 (図 3.2) から、描かれた図形と符号化された数値の関係を気づかせる。画像がどのように符号化されているかを発見できた生徒から、学習 2 に対応する図 3.3 のオリジナルのワークシートで復号の練習をする。このワークシートでは、符号化された数値から画像を復元する学習を行う。正しく復号すると、コーヒーカップの絵が現れる。この学習では、符号化の方法を教師が教えるのではなく、生徒が例題から規則性を発見するように指導することによって、生徒の気づきを大切にする。

学習 3 では、自分で描いたドット絵の数値データを友達に送り、元の絵に戻す FAX 通信を図 3.15 の改良シートで行う。まとめでは、画像を数値として扱っていることを確認し、次時でこの数値の送信方法を学習することを伝える。

教材の工夫

オリジナルの教材では、 16×16 の 256 個のマスのワークシート (図 3.4) を使う。マス目が細かいため、絵が細くなり時間を取られてしまう上、符号化の作業も複雑になる。そこで、マス目の数を 10×10 の 100 個に減らし、絵の例も付け加えた図 3.15 のワークシートを作成した。

図 3.15 改良したワークシート

実践した授業

学習 1 では、図 3.2 を用いて画像を符号化する方法を考えさせ、今回使用するランレングス法を用いた規則を自分で発見させた。机間巡視すると、全員が 10 分以内に画像と数値との関係に気づくことができ、次の作業に入ることができていた。学習 2 では、図 3.3 のワークシートを用いて復号の作業を行った。多少の塗り間違いはあったが、ほとんどの

生徒は正しい画像に戻すことができた。学習3では、自分たちが描いたドット絵を符号化して他の生徒に送るFAX通信に取り組んだ。生徒はよく集中し、時間を忘れて熱中する姿が見られた。まとめでは、デジタルカメラで撮影した写真が数値として記録されたり、携帯電話で撮影した画像が数値として転送されることを説明した。

3.3.4 第3時 2進数

授業の構成

授業の目的を、「コンピュータは0と1の2種類の記号でデータを表現している」という2進表現の理解とした。2進数の学習は、通常は10進数との変換を練習することが多い。これは重要な基礎概念であるが、基数変換という数学の学習に特化している。一方、コンピュータの原理の学習として考えた場合には、「あらゆるデータは数値で表現されていること」や「その数値は2進で表現されていること」を知ることが学習であり、基数変換を含んだ多用な学習が求められる。そこで、前時の画像の符号化に続き、文字もコンピュータ内部で数値化され、2進数のビット列で表現されていることを体験的に学習できるようにした。授業の流れを示す。

- 導入 (15分) 数値表現の多様性
- 学習1 (15分) 2進表現
- 学習2 (15分) 文字の符号化
- まとめ (5分) 学習とコンピュータとの関連

導入では、前時で学習した「画像を数値で置き換えたものをどのように送ればよいか」を考える学習であることを伝える。続いて、独自の教材である図3.16の白黒カードを使った数値表現の多様性を学習する。学習1では、図3.1のオリジナルの教材のカードを用いて数値の2進表現を学習する。カードの表裏で2進数を表現し、表に現れた点の合計が数を表す。学習2では、図3.17のオリジナルのワークシートを利用して文字コードの学習を行う。上の表の空欄は0、「♪」は1を表し、各行が5桁の2進数で数値を表現している。最上段は2進数で01000となり、10進数の8であることから、下の表の文字コードでhを表していることがわかる。まとめでは、画像を数値に置き換え、その数値を2進数で表現された信号で送ることを確認する。

教材の工夫

ビットを使って値を表現する方法は何通りも考えられる。図3.16のように白と黒のカードを使い、「3枚の白黒のカードを使って、なるべく多くの種類の数を表現する方法」を考える課題を与える。白黒のカードで試行錯誤しながら、いろいろな表現方法を考えさ

考え方 1	考え方 2	考え方 3	
0 → ■■■■	0 → ■■■■	0 → ■■■■	4 → □■■■
1 → ■■■□	1 → □■■■	1 → ■■■□	5 → □■■□
2 → ■□□□	2 → ■□■□	2 → ■□■□	6 → □□■□
3 → □□□□	3 → ■■■□	3 → ■□□□	7 → □□□□

図 3.16 白黒カードを使った複数種類の表現方法

		♪			
			♪		♪
	♪	♪			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z

図 3.17 文字コードのワークシート

せる。

白のカードを 1、黒のカードを 0 に対応させると、白黒のカードは 0、1 の数の表現に置き換えることができる。図 3.16 に示した解答の「考え方 1」は白 (黒) の枚数による表現、「考え方 2」は白 (黒) の位置による表現、「考え方 3」は 2 進数による表現となる。このように 2 進数は、白黒の 3 枚のカードで、最も多くの種類の数を表現できる方法であることに気づかせる。この導入により、2 進表現の合理性を実感した上で学習を進められるように配慮した。

実践した授業

導入では、コンピュータは数値を 0 と 1 の 2 つの状態の組み合わせで表現していることを説明し、続いて独自の教材である図 3.16 の方法で白黒カードを用いた数値表現の多様性を学習した。同じカードを使った場合でも、さまざまな数値の表現方法がある。そのことを、3 通りの方法を実習しながら体験していった。2 進数が限られたビットを使って最も効率よく表現できる方法であることを実感を伴って確認させることができた。学習 1 では、5 人グループで指示された数字を作らせた (図 3.18)。この活動で 2 進数の計算だけでなく、ビット列の形で数値を表す表現として 2 進数を学ぶことができた。また、グループ学習の形を取ることで、お互いに協力しながら理解を深めることができた。学習 2 では、絵の有無で 0 と 1 のビット列を示し、それを数値に変換した値を使って、文字コード表が

ら文字を復元する実習を行なった。生徒はビット列で表されたデータから文字が現れてくることに驚きを持って作業に取り組んでいた。



図 3.18 2進数のグループ活動

3.3.5 第4時 エラー検出

授業の構成

授業の目的を、「データをやり取りする場合のエラー検出の重要性とエラー検出の原理」の理解とした。データは伝達の途中で変質してしまうことがある。アナログ情報は、ビデオテープやカセットテープの複製を繰り返すと映像や音が不鮮明になり、劣化してしまうことがわかる。一方、デジタル情報は、伝送や記録の際に入り込むノイズなどをうまく除去することにより、劣化を防ぐことが可能である。この章では、そのような情報の劣化(データのエラー)を検出し、正しい情報への修正(エラー訂正)を行う技術を扱う。授業の流れを示す。

- 導入 (10 分) 伝言ゲームによるエラー体験
- 学習 1 (20 分) パリティ手品
- 学習 2 (15 分) ISBN、バーコードの仕組み
- まとめ (5 分) 学習とコンピュータとの関連

導入では、2進数による伝言ゲームを行う。学習1では、パリティビットを使い、縦横に並べた白黒のカードのどれが反転したかを当てる手品を行う。前時との関係をもたせるため、0を黒、1を白として扱い、白黒のカードと前時の2進数の学習と関連を持たせる。手品のタネは教師が教えるのではなく、生徒自らが発見するようにする。学習2では、実用例としてバーコードやISBNの原理を学習し、バーコードのチェックデジットの計算をする。まとめでは、レジでのバーコードの読み取りを例にエラー検出の重要性について話をする。

教材の工夫

導入の 2 進数による伝言ゲームは、データの伝達ではエラーが起こる可能性があることを気づかせ、エラー検出の重要性を考えさせるために取り入れたものである。図 3.19 のワークシートを使い、教師が言葉で伝える 2 進数を文字に変換する活動をする。0 と 1 を言葉で伝えると聞き間違いなどの原因により、伝える途中でデータが変化してしまう場合を体験させる。

聞き取った数字					10 進数	文字

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z

図 3.19 伝言ゲームのワークシート (一部)

実施した授業

学習 1 のパリティ手品では、教師による黒板での実演を見て、早い生徒は 2 回目でもどのようにパリティをつけ加えているかのタネを見抜いていた。他の生徒も見抜いた生徒に触発されて集中して取り組み、ほとんどの生徒は 5 回程度でタネを発見できた。学習 2 では、生徒は自分の鉛筆や消しゴムのバーコードから、チェックデジットを計算で求めた。計算間違いをする生徒もいたが、計算自体は四則演算であるため、ほとんどの生徒は正しく求めることができた。生徒からは、バーコードが汚れていたときにエラーを見つける工夫について感心する声も聞かれた。学習した内容が身近な情報技術の中で活用されていることを、実習を通して確認できた。

3.3.6 第 5 時 プログラミング言語

授業の構成

授業の目的を、「コンピュータは人間から指示されたプログラムの通りに動くこと」の理解とした。授業の流れを示す。

- 導入 (5 分) 学習課題の提示
- 学習 1 (10 分) 絵を言葉で伝える体験

- 学習 2 (15 分) タートルグラフィックス体験
- 学習 3 (15 分) 実際のプログラミング体験
- まとめ (5 分) 学習とコンピュータとの関連

導入では、コンピュータの気持ちになって考える学習内容であることを伝える。学習 1 では、手順を言葉で表現する学習を行う。図 3.13 に示すオリジナルの図形を代表となる生徒が言葉で伝え、他の生徒が絵を描く。できる限り多くの生徒が、言葉で伝える側 (命令するプログラマの側) と、その言葉をもとに絵を描く側 (コンピュータの側) の両方を体験できるようにする。学習 2 では、図 3.20 のワークシートを使いタートルグラフィックスを言葉で表現する活動をする。学習 3 では、実際にコンピュータで、プログラミング言語「ドリトル」[80] を使って、プログラミング体験をする。この体験は、学習 1、2 で体験した言葉による活動と学習 3 の実際のプログラミングの両方を体験することにより、CS アンプラグドの体験的な学習と実際のコンピュータとをつなげて理解できるようにするためである。図 3.21 は、生徒が入力するプログラム例とそれを実行した画面である。

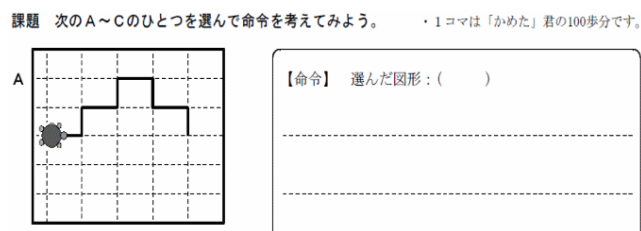


図 3.20 タートルグラフィックスの命令体験シート

※編集画面に次の命令を入れてみよう。

かめた=タートル！つくる。
 かめた！400ぼ あるく。
 かめた！90ど ひだりまわり。
 かめた！200ぼ あるく。
 かめた！90ど ひだりまわり。
 かめた！200ぼ あるく。
 かめた！90ど ひだりまわり。
 かめた！400ぼ あるく。
 かめた！90ど ひだりまわり。
 かめた！200ぼ あるく。

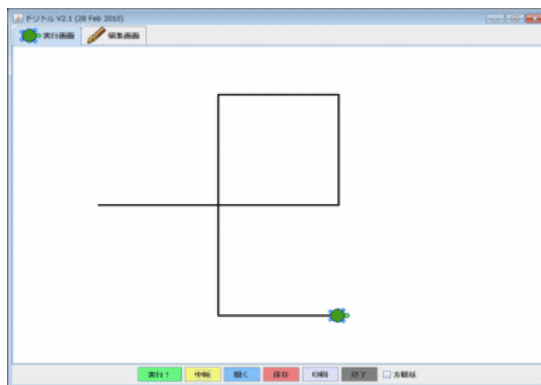


図 3.21 プログラム例と実行画面 (ドリトル)

教材の工夫

実際のプログラミング経験のない生徒は、CS アンプラグドによる学習 1 の活動と実際のプログラミングとはつながりにくい。そこで、図 3.20 のワークシートを使い、マトリックス上を移動するタートルへの命令を言葉で考える活動を取り入れた。この活動は、タートルグラフィックスを言葉で行うことにより、プログラム言語の意味が考えられるようにしたものである。

実施した授業

学習 1 の絵を言葉で伝えるゲームでは、言葉で伝える生徒はどのように表現すればよいか、非常に悩んでいた。うまく伝えられる生徒は、全体の様子を伝えてから細部を伝えるなど、伝え方を工夫していた。「どうすれば、短い言葉で正確に伝えられるか」を考えさせながら表現をさらに工夫させた。図形の中に円や四角が何度も現れる場合は、繰り返し表現を使う工夫もみられた。

3.4 授業評価

3.4.1 各授業の評価

授業では、各時間の最後にアンケートを行った。その中の楽しさの評価 (表 3.4) では、ほとんどの生徒が「楽しい」「やや楽しい」と回答した。この比率は授業が進んでも大きな変化は見られなかった。難しさの評価 (表 3.5) は、「難しい」と「やや難しい」を合わせた割合が第 1 時から第 5 時までに 62.1%、66.7%、75.0%、91.4%、100% と、授業が進むにつれて大きく変化した。これは、授業が進むにつれ、難しい内容になったためであると考えられる。とくに第 5 時の絵を言葉で伝えるゲームは、生徒は言葉で表現することを非常に難しく感じていたと思われる。

感想欄と「理解したこと」の欄には、学習した内容とともに、理解することの楽しさが多く書かれていた。いくつかの例を示す。

- 「おもしろかった。コンピュータの仕組みを少し知りたくなった。」(第 1 時「パケット通信」)
- 「FAX はすごい速さで数字を絵に、絵を数字にしているすごいと思った。」(第 2 時「画像の符号化」)
- 「2 つの数字だけでいろんな言葉があらわされる。最初に考えた人はすごい！」(第 3 時「2 進数」)
- 「エラーがないようにコンピュータもしっかり確認していることがわかった」(第 4

時「エラー検出」)

- 「命令するのが楽しかった。命令がしっかり伝わったときは嬉しかった。」(第5時「プログラミング言語」)

これらの結果から、生徒は毎回の授業でコンピュータの原理を学ぶことの喜びを感じ、それは学習が進み難易度が高まっても維持されていたことがわかる。これは、CS アンプラグドの内容が、中学生にとって適度な興味を引き出しながら、生徒に考えさせる学習に結びついていたことを示している。そして、この授業が「(1) コンピュータの仕組みに興味・関心を持つ」という目標に対応できたと考えている。

授業を行った教員の観察では、「楽しさ」は単に CS アンプラグドの特徴であるゲーム的な要素だけでなく、今まで知らなかったことを理解することで「(2) コンピュータの仕組みを科学的に理解する基礎的な力を身につける」ことができているという実感や、コンピュータやそれを内蔵した携帯電話などの仕組みを知ることによって「(3) 学習した内容の身近な機器への活用がわかる」という実感が結びついていたと感じている。

表 3.4 学習カード（楽しさ評価）(%) n=37 (2008 年度)

時 学習内容	4	3	2	1	平均
1. パケット通信	100	0.0	0.0	0.0	4.0
2. 画像の符号化	83.3	13.9	2.8	0.0	3.8
3. 2進数	75.0	25.0	0.0	0.0	3.8
4. エラー検出	80.0	20.0	0.0	0.0	3.8
5. プログラミング言語	88.6	11.4	0.0	0.0	3.9

4: 楽しい、3: 楽しい方、2: 楽しくない方、1: 楽しくない

表 3.5 学習カード（難しさ評価）(%) n=37 (2008 年度)

時 学習内容	4	3	2	1	平均
1. パケット通信	16.2	45.9	27.0	10.8	2.7
2. 画像の符号化	25.0	41.7	27.8	5.6	2.9
3. 2進数	58.3	16.7	19.4	5.6	3.3
4. エラー検出	71.4	20.0	5.7	2.9	3.6
5. プログラミング言語	88.6	11.4	0.0	0.0	3.9

4: 難しい、3: 難しい方、2: やさしい方、1: やさしい

3.4.2 授業終了後アンケートの評価

全 5 回の授業終了後に、生徒の意識の変化を調査した。「あなたは、この授業を通して、コンピュータの仕組みに興味を持ちましたか。」という質問に対する回答結果を表 3.6 に示す。結果は、全員が「興味を持った」「少し持った」と答えており、この結果からも、今回の授業が「(1) コンピュータの仕組みに興味・関心を持つ」という目標に対応できたと考えている。

表 3.6 コンピュータの仕組みへの興味・関心 n=37 (2008 年度)

選択肢	% (人数)
ア. 興味を持った	64.9 % (24 名)
イ. 少し持った	35.1 % (13 名)
ウ. あまり持たなかった	0.0 % (0 名)
エ. 持たなかった	0.0 % (0 名)

3.4.3 理解度テストによる評価

全 5 回の授業終了から 3 ヶ月後に、理解度を評価するためのテストを実施した。正答例と平均正答率を記載したテスト問題を図 3.22 に示す。

問題 1 は、第 1 時の「パケット通信」を扱っている。図と説明文で示された問題の意味を読み取り、解決のための手順を論理的に考えられるかを問う問題である。手順を答える (1) では、約 70% の生徒が正答した。回数を問う (2) は、形が線形であるため、端の人は直接反対側の端の人に渡すことができず、難易度が増した。その結果、正答率は約 40% と低くなったが、全員が問題用紙に手順を書いていたことから、基本的な考え方は約 70% の生徒が理解していることを確認できた。

問題 2 は、第 3 時の「2 進数」の問題である。数の表現方法を問う (1) は、白丸の位置による表現は 85% の生徒が正答しているが、2 進表現については 26% の正答率となった。問題用紙のスペースの関係で、途中の数以降を横に並べてしまった点が難易度を高くしてしまった可能性が考えられる。数を表現するために必要なビット数を問う (2) は、桁数の小さい 2 つの問題 (①と②) は 50% 以上の生徒が正答しているが、桁数が大きい 2 つの問題 (③と④) では 25% 程度の正答率になり、回答には空欄も見られた。このことから、2 進数の考え方は 50% 程度の生徒が理解しているものの、実際に 2 進数で数を表現できる生徒は 25% 程度であることを確認できた。

問題3は、第2時の「画像の符号化」の問題である。与えられた例から符号化の規則を類推して、実際のデータに適用する問題である。74%の生徒が正答しており、ドットを数値に変換する符号化を約75%の生徒が理解していることを確認できた。

問題4は、第4時の「エラー検出」の問題である。エラー検出用のビットを付与する規則を問う(1)(2)は、26%の1問を除き68%から88%の生徒が正答しており、エラー検出の考え方を理解していることがわかる。(4)の正答率が低いのは、偶数パリティの問題であるが、白と黒のカードが3枚ずつの同数になるように考えて、間違ってしまう生徒が多くいた。(3)は、エラー検出の技術が日常生活のどこで使われているかを問う問題である。1問は56%だが他の問題は74%と79%の正答率である。正答率の低い問題は、電話機自体にパリティの仕組みが組み込まれていると考えている生徒が多いからと思われる。75%程度の生徒が学習内容の身近な技術への活用を理解していることがわかる。

問題5は、第5時の「プログラミング言語」の問題である。絵を要素に分解し、それらを描く手順を言葉で表現する。手順を言葉できちんと表現できており、平均点は満点の71%であった。約70%の生徒が手順を説明できることを確認できた。

これらのテストから、授業の目標とした「(2) コンピュータの仕組みを科学的に理解する基礎的な力を身につける」については、第3時の2進数については約25%の生徒が、他の学習については、約75%の生徒が理解できていることを確認できた。また、問題4(3)の問題からは、「(3) 学習した内容の身近な技術への活用がわかる」の授業目標について、概ね75%の生徒が理解できていることを確認できた。

3.5 まとめ

本章では、CS アンプラグドを活用した中学生向けの情報科学の授業を提案し、学習効果を検証した[81]。

第3.3節で設定した情報科学の授業のねらいに関しては、「(1) コンピュータの仕組みに興味・関心を持つ」は、毎回の授業での生徒の取り組み、毎回の学習カードによる評価、授業終了後のアンケート結果より、達成できたと考えている。「(2) コンピュータの仕組みを科学的に理解する基礎的な力を身につける」については、授業終了の3ヶ月後に理解度テストで評価した結果、第3時の「2進数」の内容は25%から50%の理解にとどまったものの、他の内容に関しては、概ね70%程度の生徒が理解していることを確認できた。「(3) 学習した内容の身近な機器への活用がわかる」については、理解度テストの結果より、第4時の「エラー検出」の学習内容について、70%程度の生徒が学んだ技術の身近な機器への利用について理解していることを確認できた。

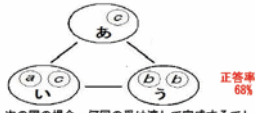
CS アンプラグドを活用した情報科学の授業は、次のような学習効果があると考えられる。

第2学年【技術・家庭科 B 情報とコンピュータ】 2010.2.25
後期 期末テスト 「CS アンプラグド」
松阪市立飯南中学校

2年()席
名前

問題1
みかんゲーム(くだものを回したゲーム)の問題です。あ君、い君、う君の3人でゲームをしています。それぞれ自分のみかんは、「あ」→a(「あ」だけは1個)、「い」→bとb、「う」→cとcです。

(1) 次の図の場合、どのようにすればそれぞれが自分のみかんを持つことができるでしょうか。次の【 】に、人の記号あいう、または、みかんの記号a b cを入れなさい。



1. 「あ」は、「い」からaをもらう。
2. 「い」は、「う」からbをもらう。
残り3回の受け渡しで完成させるには、
3. 「う」が、「い」から【c】をもらう。
4. 【い】が、【う】から【b】をもらう。
5. 【う】が、【あ】から【c】をもらう。

正答率 68%

(2) 次の図の場合、何回の受け渡しで完成するでしょうか? 最も少ない回数を答えなさい。



8回

正答率 38%

問題2
電球(O)が3つあります。電球は、「点いている(on) / 消えている(off)」という状態しか表せません。この電球を使って数を表現することにしました。
・電球の状態は、○…点いている状態、●…消えている状態を表します。

例えば、次の様な表現が考えられます。

【例】 0 → ●●● (説明)
1 → ●●○
2 → ●○●
3 → ○●○
・点いている総数が、数を表現している。
・○(点いている)の数が1個の場合は1で、3個の場合は3である。

(1) さて、次の場合はどのように表せばよいですか。アとイと2通りの方法を考えました。それぞれの数の表現方法を予想し、①～⑤の電球の様子を答えなさい。

電球の図(O)は、点いている場合は○、消えている場合は●で表しなさい。(○を塗って解答)

アの場合 正答率 85%

0 → ●●●
1 → ●●○
2 → ●○●
3 → ○●○

① 12 → ●●○
② 3 → ○●●

イの場合 正答率 26%

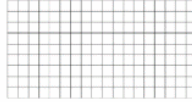
0 → ●●●
1 → ●●○
2 → ●○●

③ 4 → ○●●
④ 5 → ○●○
⑤ 6 → ○○●
⑥ 7 → ○○○

(2) (1)のイの方法で、次の数は表すには、最低何個の電球が必要ですか。

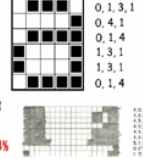
① 性別	【男・女 … 2通りの数】	正答率 50%	① 電球 1 個
② 中学校の学年	【1・2・3 … 3通りの数】	正答率 56%	② 電球 2 個
③ アルファベット	【A～Z … 26通りの数】	正答率 26%	③ 電球 5 個
④ かな	【あ～ん … 52通りの数】	正答率 21%	④ 電球 6 個

問題3
右の図のような約束で、絵を数字で表しました。
(授業で学習した表し方とは違っていますので注意してください)
次のような数字で表された場合、どのような絵になりますか。
もとの絵にもどしてください。



4,11,3
4,9,2,1,2
4,9,2,1,2
4,10,3
4,9,5
4,9,5
5,7,6
0,17,1
1,10,2

※正解



正答率 74%

問題4
(1) カード交換の手の問題です。白黒のカードを□●で表します。例を参考に、問題に答えなさい。
3枚のカード(□●)が並んでいるところに、1枚カードを追加しました。
例: □●□+□ □●□+●
上の例から予想すると、次の場合は、白と黒のどちらのカードを追加すればよいですか。
問題: ●●□+(1) □●□+(2) □□□+(3)

① □(白)	正答率 85%	② ●(黒)	正答率 88%	③ □(白)	正答率 71%
--------	---------	--------	---------	--------	---------

(2) 5枚のカードが並んでいるところに(1)と同じ条件でカードを追加しました。しかし、その後、1枚のカードがなくなっていました。なくなったカードは、白ですか、黒ですか。
問題: □●□(4) □+● ●(5) ●●●+□ □□(6) □□+□

④ □(白)	正答率 26%	⑤ □(白)	正答率 82%	⑥ □(白)	正答率 68%
--------	---------	--------	---------	--------	---------

(3) カード交換の手の授業では、「チェック用のデータを付け加えることでもとのデータの間違い(エラー)を検出できる」ことを学習しました。これらの技術はどんなところで使われていますか。
この技術と関係ある例には、○を関係ないものには×を入れなさい。
① 番号を1文字間違えて電話したら、知らない人につながってしまった。
② お店のレジで、商品のバーコードが正しく読めずブザーがなった。
③ 手紙を送るときに郵便番号を書き間違えたら相手に届かなかった。
④ 本を注文しようとしたら「ISBNが正しくありません」と言われた。

① ×	正答率 56%	② ○	正答率 79%	③ ×	正答率 74%	④ ○	正答率 79%
-----	---------	-----	---------	-----	---------	-----	---------

平均 7.1点/10

問題5
下の図を他の人に言葉で伝えようと思います。どのように伝えれば、正確に伝わらるか考えて、できる限り短い言葉で相手に伝えなさい。



名前

①四角を描き、その真ん中に点を描きなさい。
②四角の左上端から中央の点を通って、右下端に向かって直線を引きなさい。
③四角の右上端から中央の点を通って、左下端に向かって直線を引きなさい。
④四角の左側にできた三角の中に名前を書きなさい。

図 3.22 理解度テスト

- 「コンピュータの仕組み」に興味・関心を持つことができる。
- 「コンピュータの仕組み」を科学的に理解する基礎的な力を身につけることができる。
- 学習した情報科学の身近な機器への活用がわかる。

これらの結果より、CS アンプラグドのような適切な教材を使うことにより、興味・関心を高めながら、中学生が制御機器の仕組みを理解するための前提となる情報科学の基礎概念を理解することが可能であると考えられる。

第 4 章

プログラミング言語「ドリトル」によるプログラミングの授業と学習効果

4.1 はじめに

計測・制御の学習をするためにはプログラミングの知識が必要となる。中学生が自分の考えや工夫を入れたプログラミングが可能であるかを検討する。

中学校の技術・家庭科における情報教育は、ワープロや表計算ソフトに代表されるソフトウェアの使い方が学習の中心となっている [17]。しかし、中学生に対するプログラミング学習の実践報告は多くはないが、[63][64] などのグラフィックスを題材にした報告がある。実践の多くは BASIC[34] [35] を使い、与えられたサンプルプログラムを入力し、そのまま実行させるか、プログラムを少し変える程度の実習が中心である。その原因は、中学生にとって BASIC はプログラムを考え工夫するには難しい言語であることがあげられる。BASIC は生徒にとって苦手な英語で書かなくてはいけないことや、生徒が興味を持つグラフィックスやアニメーションを実行するためには、多くの行数にわたる複雑なプログラムになることがあげられる。実践の中には前者の英語の問題を解決するために、日本語でプログラムを書くことができる LOGO[36] を使う実践も見られた [65]。しかし多くの実践は、図形を描くグラフィックスや用意されているアイコンの位置をプログラムで動かすような実践が多く、自分の描いた絵や図形を動かすアニメーションは、プログラムが複雑になるため中学生には難しい課題と考えられていた。

このような中で、オブジェクト指向を取り入れた教育用のプログラミング言語「ドリトル」[66]（以下、ドリトルと記す）が開発された。このドリトルを使い、生徒にとって難しいと考えられてきた、自分が描いた図形や絵を動かすアニメーションやボタンをクリッ

クして絵を描く「お絵かきソフト」を作る授業を実践した。この実践を通して、生徒は与えられたサンプルプログラムを入力するだけでなく、自分が考えた構想をプログラムにし、独自の工夫を取り入れた作品が作れるかどうかを確認した。また、この実践による学習効果についても調査し、学習効果に関しては、2005年度と2006年度の2年間にわたり段階的に調査した。初年度は生徒アンケートを実施し、次年度は生徒アンケートによる主観的な調査を客観的なデータで示すための試みを行った。[67][68][69][70][71]

4.2 プログラミング言語「ドリトル」

授業に使用したドリトルは、プログラミング学習用のソフトウェアである。プログラミング学習に限らず、計測・制御学習やネットワーク学習にも対応しており、小学生から大学生まで幅広く利用されている。特徴としては、日本語で命令^{*1}ができ、初心者にもわかりやすく学習ができるような配慮がされている。

中学生にプログラミングの授業をする場合、最も大切なことは、どのプログラミング言語を選ぶかということである。言語が難しいと言語の意味を理解し、使いこなす前に学ぶ意欲をなくしてしまう場合もある。しかしこのドリトルは、日本語で対話的に命令できるため、中学生にもわかりやすく、学力的に課題を持つ生徒も含めたすべての生徒が意欲的に取り組むことができる。また、初心者の学習に配慮したわかりやすいエラー表示や、細かい設定が不要となるデフォルトの設定などの配慮があり、小学生でも使えるような設計がされている。また、オブジェクト指向を積極的に取り入れており、本格的なプログラミング学習も可能な仕様となっている。

ドリトルの詳しいプログラミング方法については、以下の節で説明する。

4.3 ドリトルによる授業の概要

検証を行った2005年度、2006年度のプログラミングの授業は、2005年度は全18時間で実施し、2006年度は全12時間で実施した。ここでは2005年度の授業を紹介する。授業は技術・家庭科の「情報とコンピュータ」領域で実施し、言語は前述のドリトルを使用した。

授業概要を表4.1に、授業カリキュラムを表4.2に示す。

^{*1} ドリトルは、日本語だけでなく、英語、韓国語にも対応している。

表 4.1 授業概要 (2005 年度)

教科：技術・家庭科 必修授業
学年：中学 3 年生
人数：55 名 (2 クラス)
時間数：18 単位時間 (1 単位時間は 50 分)
使用ソフトウェア：プログラミング言語「ドリトル」

表 4.2 授業カリキュラム (2005 年度)

単元	時間数
(1) タートルグラフィックス	4
(2) タイマーによるアニメーション	4
(3) ボタンによる対話的な操作	4
(4) 音楽演奏	6

4.3.1 タートルグラフィックス

最初の 4 時間は、ドリトルのタートルグラフィックス機能を用いてさまざまな図形を描きながら、基本操作やプログラムの基本を学習する。前進命令 (あるく) と角度を変える命令 (みぎまわり) を基本として三角形を描くところから始め、くり返し命令 (くりかえす) や、描いた図形の移動 (いどうする) などを学習する。具体的には、前進命令 (あるく) と角度を変える命令 (みぎまわり) を基本として三角形を描くところから始め、くり返し命令 (くりかえす) や、描いた図形の移動 (いどうする) などを学習する。図 4.1 は例題プログラムの一つで、繰り返しを使って三角形を描き、できた三角形を図形として色を塗り指定位置に置いたものである。

```
かめた=タートル!つくる。
「かめた!100ぽあるく120どみぎまわり」!3かいくりかえす。
さんかく=かめた!ずけいにする(赤)ぬる。
さんかく!100100いどうする。
```

図 4.1 図形を描き移動させるプログラム例

ここでは、「プログラムは順序をもって実行される」こと、「くり返し命令を使うことで簡単に同じことを繰り返せる」こと、「オブジェクトを作り、オブジェクトに命令できる」ことを学習する。また、プログラムの中で数学の図形（三角形、四角形）の外角、座標、移動距離、回転角度についても扱う。生徒は、三角形、四角形、星、円、などの図形を組み合わせ、図 4.2 のようなタートルグラフィックス作品を制作する。

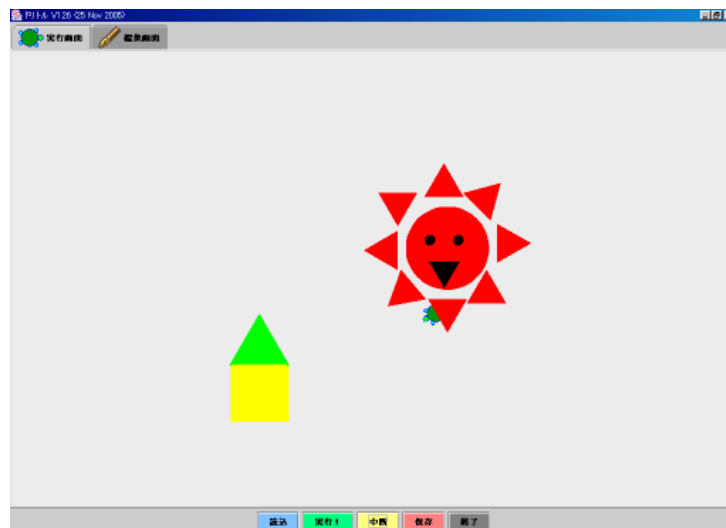


図 4.2 タートルグラフィックス作品

4.3.2 タイマーによるアニメーション

次の 4 時間では、描いた図形を一定時間移動させたり、回転させるタイマーオブジェクトを学習する。ゲームソフトなどでキャラクターが動くしくみを体感することができる。図 4.3 にタイマーを使ったプログラムの例を示す。

```
かめた=タートル！つくる。
さんかく=「かめた！100ぼあるく120どみぎまわり」！3かいくりかえす
ずけいにする（赤）ぬる。
動き=タイマー！つくる。
動き！1びょう かんかく 10びょう じかん。
動き！「かめた！15どみぎまわり。さんかく！-10 -10 いどうする。」
じっこう。
```

図 4.3 タイマーを使ったプログラム例

この単位では、タイマーによって図形の移動がゆっくりとくり返し実行されることを視覚的にとらえることで、図形の回転移動と座標移動を学習できる。

生徒は、図 4.4 のような、図形が移動するアニメーション作品を制作する。

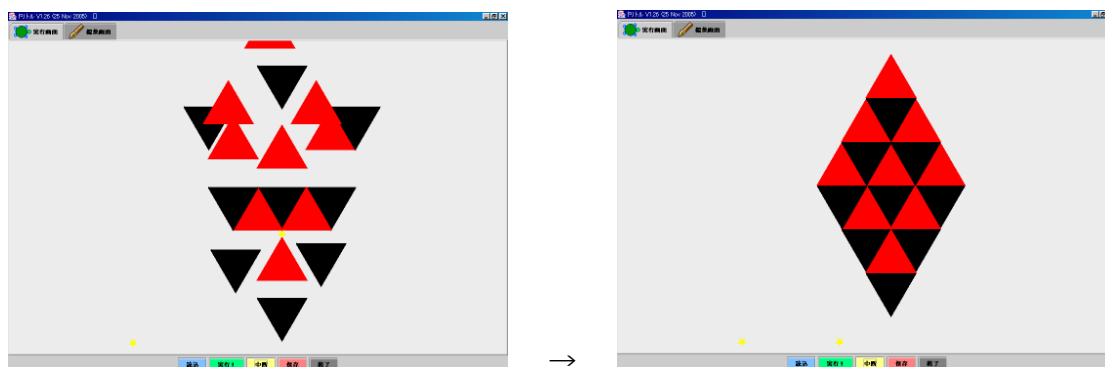


図 4.4 アニメーション作品

4.3.3 ボタンによる対話的な操作

次の 4 時間は、クリックすると命令が実行されるボタンオブジェクトを使い、ボタンを押すことで画面に線や図形を描く作品「お絵かきソフト」を制作する。ここでは、メソッドの定義の方法を学習する。また、プログラムの中で数学の座標を扱う。図 4.5 にボタンを使ったプログラムの例を、図 4.6 に生徒作品を示す。

```
かめた=タートル！つくる。
ボタン1=ボタン！”あるく” つくる。
ボタン1！-200 100 位置 150 50 大きさ。
ボタン1：動作=「かめた！50ぽ あるく」。
```

図 4.5 ボタンを使ったプログラム例

4.3.4 音楽演奏

最後の 6 時間は、今までのグラフィックスとは違う題材として、音楽を演奏するプログラムを学習する。自作や既存の曲を題材に、いろいろな楽器を重ね合わせて演奏する作品を制作する。ここでは、プログラムの複数の部分が並行して実行できることや、書き方の工夫によってプログラムをコンパクトで見やすくできることを学習する。図 4.7 にプログラム例を示す。

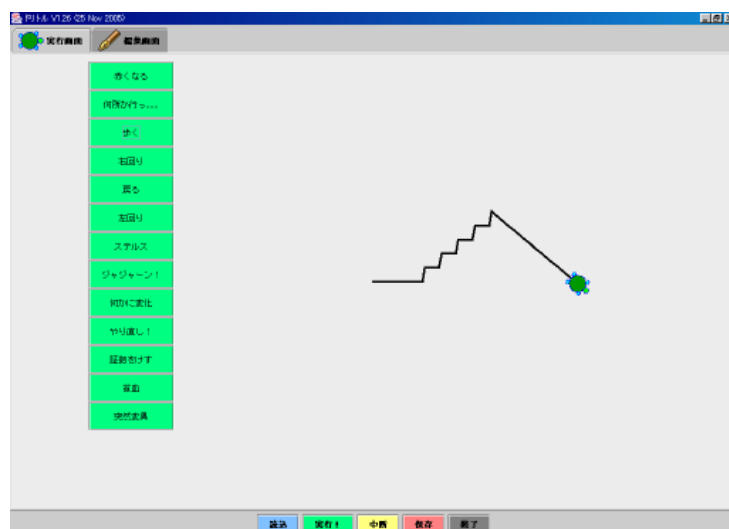


図 4.6 ボタンを使った作品

チューリップ＝メロディ！作る。
 チューリップ！『どれみーどれみーそみれどれみれー』追加。
 楽器設定＝楽器！『クラリネット』作る（チューリップ）設定。
 楽器！演奏。

図 4.7 音楽プログラム例

4.4 アンケートによる主観的な調査

生徒が主観的に感じている学習効果を調べるために、2段階で調査を行った。最初に考えを自由に記述することができる自由記述式アンケートを実施し、そこに現れた特徴的な事項をさらに細かく調べるために、選択式アンケートを実施した。

4.4.1 自由記述式アンケート

自由記述式アンケートでは、「プログラミング学習をして役に立ったことがあれば記入せよ」という設問に対し、生徒に自由記述形式で回答させた。実施時期はカリキュラム中の「(3) ボタンによる対話的な操作」が終わった段階である。表 4.3 に集計結果を示す。

回答は大きく3種類に分類することができた。1人が複数の分類に属する回答をした例は、14件あった。分類以外の回答は14件、「なし」と回答したのは2件であった。具体的な記述内容の例を表 4.4 に示す。

表 4.3 自由記述式アンケートの結果 n=55

回答	人数
A. 数学に関する理解	25
B. 考える体験	17
C. コンピュータに関する理解	8

表 4.4 自由記述式アンケートの記述例〔一部〕

A・XYの座標についてわかるようになった。
 A・XYの関数が、数学でやるよりよくわかった。
 A・数学の図形の役にたった。
 B・いろんな発想ができるようになった。
 B・根気強く同じことができるようになった。
 B・集中できるようになった。
 C・ゲームがどんな風に作られているのかわかった。

C群の回答を予想していたが、実際にはA群やB群の回答が多かった。そこで、さらに詳しく調べるために選択式アンケートを実施した。

4.4.2 選択式アンケート

選択式アンケートは、自由記述式アンケートの回答を整理し、項目ごとに「強く思う、思う、あまり思わない、思わない」の4段階で回答する形とした。設問の表現は自由記述式アンケートの回答にあった言葉をなるべくそのまま使うようにした。選択式アンケートはすべての学習が終了した時点で実施した。

以下に選択式アンケートの結果を、A群(表4.5)、B群(表4.6)、C群(表4.7)に属する設問ごとに分けて示す。「割合(%)」は、肯定的な回答(「強く思う」「思う」)を選んだ生徒の割合である。

A. 数学に関する理解

「1. 座標」の結果より、座標の理解については、ほとんどの生徒が学習効果として認めていることがわかる。「2. 図形」と「3. 図形の学習」の結果より、半分近くの生徒がプログラミング学習の方が数学の図形の授業よりわかりやすく思ったことがわかる。「4. 関

表 4.5 選択式アンケート結果 (A) n=51

項目	割合 (%)
1. 座標：数学の座標 (x 座標、y 座標、+ や -) がわかるようになった。	68.7
2. 図形：図形の角度 (内角や外角) がわかるようになった。	41.2
3. 図形の学習：数学で図形を学習するよりドリトルで「かめた」を動かした方がよくわかった。	41.2
4. 関数：数学の関数 ($y=ax$ など) の理解に役立った。	29.4
5. 関数の学習：数学で関数を学習するより、ドリトルでタイマーを使って図形を動かせる方がよくわかった。	29.4

数」と「5. 関数の学習」の結果より、生徒は関数に関しての学習効果をあまり感じていないことがわかる。

B. 考える体験

表 4.6 選択式アンケート結果 (B) n=51

項目	割合 (%)
6. 根気：根気強く同じことができるようになった。	51.0
7. 集中力：集中できるようになった。集中力がついた。	56.9
8. 考える力：考える力がついた。	68.6
9. 創造力：想像力が豊かになり、創作力が身についた。	52.9
10. 難しいことでもあきらめず、自分で調べるようになった。	66.7

このグループでは、すべての項目において、半数を超える生徒がプログラミングの効果肯定している。根気、集中力、考える力、創造力など、考える体験についての学習効果があると生徒は感じていることがわかる。中でも、「8. 考える力」については、7 割近い生徒が肯定しており、生徒は考える力を学習効果として実感していることがわかる。

C. コンピュータに関する理解

このグループも、すべての項目で肯定する割合が高かった。全般に、ソフトウェアの仕組みを理解できたと感じている生徒が多いことがわかる。また、「13. プログラムの構成」から、ほとんどの生徒はプログラムの本質である、「手順的な自動処理」の概念を理解し

表 4.7 選択式アンケート結果 (C) n=51

項目	割合 (%)
11. コンピュータソフトがどのように作られているかわかった。	62.8
12. ゲームソフトの作り方がわかった。	64.7
13. プログラムの構成「どうやったらこういう動作をする」ということがわかった。	74.5

ていることがわかる。

4.5 アンケート結果の考察

本節では、選択式アンケートの結果を A 群、B 群、C 群に分けて考察する。

A. 数学に関する理解

「1. 座標」については、図形の移動、タイマーによる移動、ボタンの位置の決定などで XY 座標を指定しなければならないため、何度も試行錯誤しながら座標を決める姿が見られた。数値と画面上の場所が視覚的に対応することから、座標の理解に結びついたと考えられる。

「2. 図形」については、導入時に三角形や四角形を描かせる課題を扱ったため、何度も試行錯誤しながら角度を決める姿が見られた。角度の値と画面上に描かれた角度が視覚的に対応することから、角度の理解に結びついたと考えられる。実際、「3. 図形の学習」を分析したところ、数学が苦手な生徒は「数学よりドリトルのほうが図形を理解できた」と回答する比率が高かった。

「4. 関数」については、肯定する生徒の割合は多くはなかった。関数をすでに理解している生徒がいたことと、理解できていない生徒にとってはタートルグラフィックスで描いた線と一次関数が結びつかなかったことなどか原因と考えられる。

一方、「5. 関数の学習」を分析したところ、数学が苦手な生徒は「数学よりドリトルのほうが関数を理解できた」と回答する比率が高かった。これは、「1. 座標」や「2. 図形」と同じ理由で、プログラミングを通して座標や傾きを理解することにより、間接的に一次関数の理解に結びついたと考えられる。

これらの結果から、プログラミング学習は、図形や関数の理解を助ける効果があると考えられる。実際、「数学の座標や図形や関数がわかるようになった」と答えた生徒の具体的な事例を見ると、次のような自由回答が多く存在した。

- 「座標の xy のどちらが横の方かなどわかりました。」
- 「ドリトルのおかげかはわからないけど、一次関数ができるようになった。でも、グラフの傾きとかはドリトルでわかった。」
- 「関数とかグラフが今までよりは少しできるようになった。」

B. 考える体験

授業では作品の制作を始めると、生徒は黙々とパソコンに向かい作業を続ける姿が見られる。プログラムを作っては実行し、うまくいかないところを直したり、工夫したりする。授業中は、キーボードの音しか聞こえない集中した時間が流れる。このような時間が何時間も続くことから、過半数の生徒が、「6. 根気」「7. 集中力」がついたと感じていると考えられる。

「8. 考える力」については、プログラミング学習では、順を追って考えたり、結果の予想して作業をする必要がある。また、プログラムを大きくまとめて考えたり、無駄な部分を省略することも必要になる。これらの学習体験から、生徒は「考えている」という実感を持つことができたと考えられる。

「9. 創造力」について、生徒に直接聞くと、「中学校の授業の中で、創造する場面は少ない。創造力がつくと思われる場面としては、国語の読み物で情景を考えるとときや美術で自由に描く場合くらいでほとんどない」と答えていた。今回のプログラミングの授業では、生徒が作りたい作品を想像し、実際に試行錯誤しながら作っていったことから、「創造性が養われた」と感じたと考えられる。

「10. 難しいことでもあきらめず…」については、授業では時間の関係もあり、すべての命令を扱うことができないため、マニュアルで調べるように指導した。自分の構想を実現するためには、教えられた命令だけでなく、自ら調べた命令も使うことが必要になってくる。このような指導方法によって、自分で調べるようになったことが要因と考えられる。

C. コンピュータに関する理解

プログラミング学習を行う目的の一つに「ソフトウェアの仕組みを理解させる」ことがある。制作する作品として、アニメーションやボタンオブジェクトを使ったお絵かきソフトを扱ったが、生徒はこれらの作品制作を通してソフトウェアの仕組みを理解することができたと考えられる。特に、肯定している生徒の割合が高いことから、プログラミングがソフトウェアの仕組みを教えるための有効な手段であることを再確認できた。

4.6 検証テストによる客観的な調査

2005 年度のアンケートの結果から、プログラミング学習が図形や関数に関する概念の形成を助ける効果があることがわかった [68]。しかし、これらは生徒の主観的なアンケート調査による結果であることから、2006 年度においては、客観的な理解度テストによる検証を試みた。調査する内容は、数学における「図形や関数の概念」を扱う題材のうちから「一次関数」をとりあげ、この内容理解とプログラミング学習との関係についてテストによる検証を行った。

4.6.1 検証の方法

中学 2 年生 49 名 (A 組 24 名、B 組 25 名) の技術・家庭科の授業においてプログラミング学習を実施し、対照実験による検証を行った。プログラミング学習を実施したクラスと他の教材を実施したクラスを用意し、数学「一次関数」の理解にどれくらいの理解度の違いがあるかを調査した。授業概要を表 4.8 に示す。

授業においては、タートルグラフィックスを中心とするプログラミング学習を行い、「(1) タートルグラフィックス」「(2) タイマーによるアニメーション」の授業を行った。授業カリキュラムを表 4.9 に示す。

表 4.8 授業概要 (2006 年度)

教科：技術・家庭科 必修授業
学年：中学 2 年生
人数：49 名 (A 組 24 名、B 組 25 名)
時間数：12 単位時間 (1 単位時間は 50 分)
使用ソフトウェア：プログラミング言語「ドリトル」

表 4.9 授業カリキュラム (2006 年度)

単元	時間数
(1) タートルグラフィックス	6
(2) タイマーによるアニメーション	6

具体的な検証方法を説明する。最初、A 組はプログラミング学習を行い、B 組は他の教

材 (Web ページの作成) を行う。続いて、A 組が他の教材、B 組がプログラミング学習を行う。開始前、中間点、終了時点の 3 時点で「一時関数」の理解判定を含むテストを実施し、両クラスの理解度を比較する方法で行う。この検証では、数学の授業における学習も影響することが予想されたため、数学の授業の授業の進捗を調べた結果、最初の A 組がプログラミング学習を実施している時、数学では「一次関数」の単元の後半部分を学習しており、一部、数学の学習時期と重なっていた。検証の流れを図 4.8 に示す。

第 1 回～第 3 回の検証テストについては、教科書や副教材の問題集にある問題より数種類の問題を選択して出題する。この 3 回のテスト結果を学級別の平均点での比較、基礎学力の定着していない生徒と定着している生徒の点数比較する方法で行う。

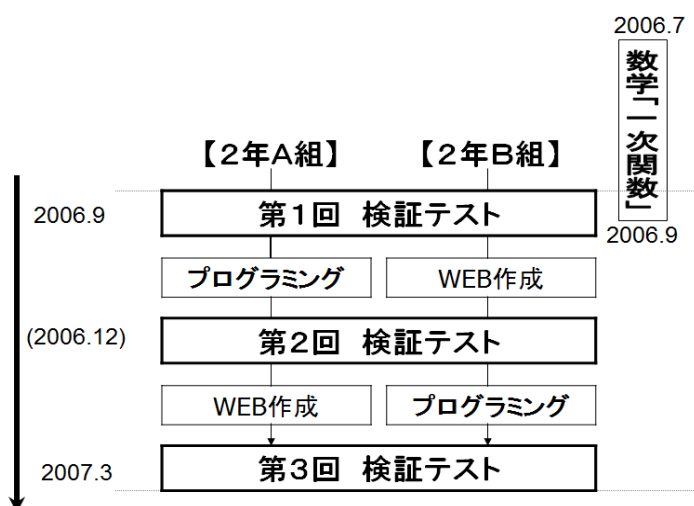


図 4.8 検証の流れ

4.6.2 検証授業における留意点

プログラミング学習の授業は、技術・家庭科で実施しているため、ソフトウェアの仕組みなどを理解するための教材として取り入れている。授業は教科の目標である「創意工夫する力」をつけるため、グラフィックスを中心に扱い、タートルや図形の動きや配置を工夫したり、プログラムの記述を工夫することに重点を置く指導をしている。また、今回の検証では、数学における学習効果の検証を行っているため、数学の理解を助けるための補助授業にならないように注意した。

事前の生徒アンケートからは、「パソコンの授業が好き」と答えた生徒は 93.0% であり、「数学を嫌い」と答えた生徒は 67.5%、「数学が不得意」と答えた生徒は 69.8% であった。つまり、ほとんどの生徒はパソコンによる授業が好きであるが、数学を不得意と感じたり嫌いと思っている生徒は 2/3 を超えている。この生徒の中には、数学という言葉だけで拒

否反応を示す生徒もいる。数学に偏った授業をするとパソコン嫌いが増えることも予想されたため、数学での授業は意識せずに授業を行うこととした。

また、制作する作品においては、プログラムも大切ではあるが、発想・アイデアを重視した作品になるように工夫を促した。このことは、プログラムの思考では優位になれない低学力の生徒も、発想・アイデアでは優位に立つことができるため、すべての生徒が制作意欲をもって取り組めるようにするためである。すべての生徒が、意欲的に取り組み、プログラミングを通して論理的思考を身につけていくように考えた。

4.6.3 検証テストの問題

グラフィックス中心の授業のため、数学の単位としては、図形、関数への波及効果が期待できる。今回の検証では、関数の分野に絞って問題を作成した。作成にあたっては、数学の先生の要望も踏まえ、基礎・基本問題を中心に選んだ。また、数学嫌いの生徒に配慮して、問題数は最小限にとどめた。

3回の検証テストがあるが、数学の問題については、数値を入れ替えるだけで同じ問題を使う。論理的思考問題に関しては、他学年で予備調査を実施した上で、同じレベルになるように調整して実施するように考えた。

以下に問題を示す。

視覚的にとらえる問題

視覚的にとらえる問題として、次の2つの問題を用意した。

まず、図4.9のような座標上に与えられた点をとる「座標問題」である。座標については、中学1年の「比例・反比例」の単元で学習する。この問題は、ドリトルのプログラミングではボタンの配置などを座標で指定するため、自然と座標のとらえ方が身につくと思われるため選んだ。

1. 次のア～エの点を書きなさい。

ア. 点 (5, 3)

イ. 点 (2, -3)

ウ. 点 (-3, -5)

エ. 点 (-4, 4)

図 4.9 座標問題

次に、図4.10のような一次関数の式を与え、グラフを描かせる「グラフ問題」である。これらの問題は、数学の「一次関数」の単元の中では重要なところであり、教科書ではグラ

理解のために多くのページを使っている。プログラミング学習のタイマーによる図形の動きが、グラフの直線上の動きになっていることから理解できるようになると予想した。図形の動いた軌跡が画面上に直線で描かれるわけではないが、動きの指定が xy の変化量であるため、間接的に直線を理解できると考えた。プログラミングで、一次関数の式を意識するわけではないが、図形を動かすことによって間接的に理解できる問題と考えた。

2. 次の一次関数のグラフを書きなさい。

ア. $y = 3x - 2$

イ. $y = -1/2x + 2$

ウ. $x = 2$

図 4.10 グラフ問題

視覚的にとらえられない問題

数学の教科書にある「一次関数」における基本問題の中から選んだ。関数の変化を数としてとらえる問題である。

まず、図 4.11 のような一次関数の「表の空欄埋め問題」である。この問題は、「一次関数」の導入のところで使われている基礎的な問題であり、教科書問題集によく出ている。表の見方がわかり、隣の数値との差を考えることにより空欄の数値を予想する。

3. y が x の一次関数で、 x の値に対応する y の値が次の下の表のようになっている。表のア. イの空欄にあてはまる数を予想しなさい。

x	-2	-1	0	1	2	3	...	イ
y	-4	ア	2	5	8	11	...	17

図 4.11 表の空欄埋め問題

次に、図 4.12 のような一次関数の式から変化の割合を求める「変化の割合問題」である。この問題は、中学2年の「一次関数」の教科書にある基礎問題であるが、「変化の割合」という言葉が理解できない生徒も多い。そこで、「いくら増えますか」という表現に変更した。一次関数の式の意味がわかっているかを調べる問題である。

これらの問題は、プログラミング学習と直接的にはかかわっていないが、間接的にプログラミングを学習することにより、数値を代入したり、数値を予想することがあるので、できるようになると思われたため選んだ。

検証テストを実施している。この学習したクラスを中心に考えて、以下では、第1回検証テストを「事前テスト」、第2回検証テストを「事後テスト」、また、プログラミング学習を実施したクラスを「学習クラス」、実施していないクラスを「非学習クラス」と記す。

データは、プログラミングの授業全12時間の内、3/4(9時間)以上出席した生徒で、両方の検証テストを受けた生徒を対象とした。学習クラスは21名、非学習クラス22名であった。

4.7.1 視覚的にとらえる問題

「座標問題 (図 4.9)」の正答率は、表 4.10 のようになった。

表 4.10 座標問題の正答率 (学習クラス n=21, 非学習クラス n=22)

問題	学習クラス (事前→事後)	非学習クラス (事前→事後)
(1) 点 (5,3)	90.5 → 85.7%	77.3 → 68.2%
(2) 点 (2,-3)	90.5 → 85.7%	72.7 → 59.1%
(3) 点 (-3,-5)	90.5 → 81.0%	63.6 → 54.5%
(4) 点 (-4,4)	85.7 → 81.0%	63.6 → 45.5%

学習クラスも非学習クラスも正答率が減少していることがわかる。

次に、個々の生徒の変化に着目して調べた。事前テストで不正解だった生徒のうち、何人が事後テストで正解するようになったかを調べた。(以下、この生徒を「学力向上者」と記す。) 表 4.11 に事前テスト不正解かつ事後テスト正解の人数／事前テスト不正解の人数を示す。

表 4.11 座標問題の学力向上者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) 点 (5,3)	1/2 人 (50.0%)	4/5 人 (80.0%)
(2) 点 (2,-3)	1/2 人 (50.0%)	3/6 人 (50.0%)
(3) 点 (-3,-5)	0/2 人 (0.0%)	3/8 人 (37.5%)
(4) 点 (-4,4)	0/3 人 (0.0%)	3/8 人 (37.5%)

学習クラスの対象生徒が少なく、学習クラスと非学習クラスに差があるとは言えない。

次に、事前テストで正解した生徒のうち、何人が事後テストで不正解になったかを調べ

た。(以下、この生徒を「学力低下者」と記す。) 表 4.12 に事前テスト正解かつ事後テスト不正解の人数／事前テスト正解の人数を示す。

表 4.12 座標問題の学力低下者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) 点 (5,3)	2/19 人 (10.5%)	6/17 人 (35.3%)
(2) 点 (2,-3)	2/19 人 (10.5%)	6/16 人 (37.5%)
(3) 点 (-3,-5)	2/19 人 (10.5%)	5/14 人 (35.7%)
(4) 点 (-4,4)	1/18 人 (5.6%)	7/14 人 (50.0%)

人数は少ないが学習クラスと非学習クラスに差が認められる。学習クラスの方が、学力低下者の人数・割合とも少ないことがわかる。非学習クラスの方の約 1/3～半数の生徒は、事前テストで正解した問題を間違えるようになっていることがわかる。

次に、正答率が全体として減少する傾向にあるため、不正解のパターンを調べた。すると、図 4.14 のような座標の点を描く問題を直線で答えるという 点と直線を混乱している間違いが多く見られた。このような生徒は、事後テストでは、学習クラス 1 名、非学習クラス 5 名であった。不正解者のほとんどである。

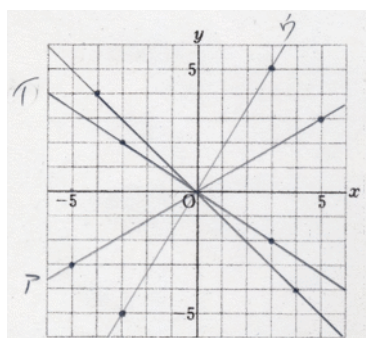


図 4.14 座標問題の間違い例

「グラフ問題 (図 4.10)」の正答率は、表 4.13 のようになった。学習クラスも非学習クラスも正答率が増加している。

「学力向上者」と「学力低下者」を調べると、表 4.14 と表 4.15 のようになった。学習クラスの方が、正解する生徒の増加が大きいことがわかる。

両クラスとも学力低下者の人数が少なく、学習クラスと非学習クラスに明らかな差があるとは言えない。

表 4.13 グラフ問題の正答率 (学習クラス n=21, 非学習クラス n=22)

問題	学習クラス (事前→事後)	非学習クラス (事前→事後)
(1) $y=3x-2$	52.4 → 66.7%	72.7 → 81.8%
(2) $y=1/2x+2$	47.6 → 66.7%	40.9 → 63.6%
(3) $x=2$	19.0 → 57.1%	22.7 → 50.0%

表 4.14 グラフ問題の学力向上者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) $y=3x-2$	5/10 人 (50.0%)	2/6 人 (33.3%)
(2) $y=1/2x+2$	6/11 人 (54.5%)	7/13 人 (53.8%)
(3) $x=2$	10/17 人 (58.8%)	8/17 人 (47.1%)

表 4.15 グラフ問題の学力低下者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) $y=3x-2$	2/11 人 (18.2%)	0/16 人 (0.0%)
(2) $y=1/2x+2$	2/10 人 (20.0%)	2/9 人 (22.2%)
(3) $x=2$	2/4 人 (50.0%)	4/5 人 (80.0%)

4.7.2 視覚的にとらえられない問題

「表の空欄埋め問題 (図 4.11)」の正答率は、表 4.16 のようになった。

表 4.16 表の空欄埋め問題の正答率 (学習クラス n=21, 非学習クラス n=22)

問題	学習クラス (事前→事後)	非学習クラス (事前→事後)
(1) y の値	71.4 → 71.4%	45.5 → 54.5%
(2) x の値	66.7 → 52.4%	40.9 → 54.5%

正答率を比較すると、学習クラスは変化していないが、非学習クラスは増加している傾

向がある。

次に、「学力向上者」と「学力低下者」を調べると、表 4.17 と表 4.18 のようになった。

表 4.17 表の空欄埋め問題の学力向上者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) y の値	3/6 人 (50.0%)	6/12 人 (50.0%)
(2) x の値	0/7 人 (0.0%)	6/13 人 (46.2%)

表 4.18 表の空欄埋め問題の学力低下者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) y の値	3/15 人 (20.0%)	2/10 人 (20.0%)
(2) x の値	3/14 人 (21.4%)	3/9 人 (33.3%)

非学習クラスの正答率が増加しているのは、学力向上者が多かったことによるものであることがわかる。

「変化の割合問題 (図 4.12)」の正答率は、表 4.19 のようになった。

表 4.19 変換の割合問題の正答率 (学習クラス n=21, 非学習クラス n=22)

問題	学習クラス (事前→事後)	非学習クラス (事前→事後)
(1) y の値	47.6 → 61.9%	54.5 → 59.1%
(2) 変化の割合	42.9 → 23.8%	18.2 → 27.3%

正答率を比較すると、学習クラスは変化していないが、非学習クラスは増加している傾向がある。

次に、「学力向上者」と「学力低下者」を調べると、表 4.20 と表 4.21 のようになった。

学習クラスの正答率が減少しているのは、学力低下者が多かったことによるものであることがわかる。

表 4.20 変換の割合問題の学力向上者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) y の値	4/11 人 (36.4%)	5/10 人 (50.0%)
(2) 変化の割合	3/12 人 (25.0%)	4/18 人 (22.2%)

表 4.21 変換の割合問題の学力低下者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) y の値	3/10 人 (30.0%)	2/12 人 (16.7%)
(2) 変化の割合	8/9 人 (88.9%)	2/4 人 (50.0%)

4.7.3 論理的思考問題

「論理的思考問題 (図 4.13)」の正答率は、表 4.22 のようになった。事前テストでは小問数が 3、事後テストでは小問数が 2 と違ったため、事前テストの小問 (2) をはずして比較している。小問についての一貫性がとれていないため、問題を全体で 1 つとしてとらえた完全正答でも比較している。

表 4.22 論理的思考問題の正答率 (学習クラス n=21, 非学習クラス n=22)

問題	学習クラス (事前→事後)	非学習クラス (事前→事後)
(1) 小問 1	42.9 → 71.4%	22.7 → 50.0%
(2) 小問 2	14.3 → 33.3%	4.5 → 36.4%
完全正答	9.5 → 23.8%	0.0 → 27.3%

正答率は、学習クラス、非学習クラスともに増加している。全体に占める割合は、ほぼ同じで違いは見られない。

次に、「学力向上者」と「学力低下者」を調べると、表 4.23 と表 4.24 のようになった。

非学習クラスには、事前テストでの完全正答者がいなかったため比較できない。また、人数が少数のため、明らかな違いや変化があるとはいえない。

表 4.23 論理的思考問題の学力向上者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) 小問 1	7/12 人 (58.3%)	9/17 人 (52.9%)
(2) 小問 2	3/18 人 (16.7%)	3/21 人 (14.3%)
完全正答	4/19 人 (21.1%)	6/22 人 (27.3%)

表 4.24 論理的思考問題の学力低下者

問題	学習クラス	非学習クラス
(1) 小問 1	1/9 人 (11.1%)	2/5 人 (40.0%)
(2) 小問 2	2/3 人 (66.7%)	0/1 人 (0.0%)
完全正答	1/2 人 (50.0%)	0/0 人 (0.0%)

4.8 検証テスト結果の考察

本節では、検証テストの結果、及び実施上の問題点に関して考察する。

4.8.1 視覚的にとらえる問題

「座標問題 (図 4.9)」については、全体的に正答率が減少している。生徒の解答から、学習後、時間が経つと座標の正負の位置や (x,y) のどちらが横軸か縦軸かを忘れたり、一次関数のグラフを学習したために点と直線を混同して考える生徒ができてたりすることが原因と考えられる。学習クラスの学力低下者が少なかったのは、プログラミング学習で、グラフィックスの位置を示すために常に座標を指定するなどの作業で、座標の概念が定着したことによるものと考えられる。

「グラフ問題 (図 4.10)」については、全体として正答率が増加しているが、学習クラスの方が学力向上者がやや多い。これは、「タイマーによるアニメーション」の学習において、図形の移動が直線としてとらえられたため、視覚的に直線のイメージが身についていったと考えられる。

以上の結果より、「視覚的にとらえる問題」については、学習効果があると考えられる。

4.8.2 視覚的にとらえられない問題

「表の空欄埋め問題 (図 4.11)」「変化の割合 (図 4.12)」ともに、非学習クラスの方がよい結果が出ている。これは、プログラミング学習以外の要因が考えられる。ただ、事前テストと事後テストを同じ条件で実施することは難しく、非学習クラスの事前テスト実施の際に十分な時間がとれなかったことが原因となっている可能性もある。

「変化の割合問題」で、学習クラスの学習低下者が多い原因は特定できないが、この問題は、「 x の値を変化させるとき、 y はいくら増えますか」という言葉の意味が理解できるかどうかという要素が大きく、学習直後には覚えていたが、学習後 2 ヶ月の間に忘れたものと思われる。

「表の空欄埋め問題」「変化の割合問題」とも、学習効果は認められない。ただ、全 12 時間と少ない時間での検証であるため、長期の学習によっては効果が認められる可能性も考えられる。

4.8.3 論理的思考問題

正答率としては、学習クラスも非学習クラスも向上しているが、とくに差は認められない。事前テストと事後テストにおいて、全く違う問題のため比較が難しい。事前に予備調査を実施し、難易度をほぼ同じレベルに設定したが、同じレベルになったかどうかを判断するのは非常に難しい。よって、論理的思考問題に関しての学習効果は不明である。

4.8.4 検証テスト実施上の問題点に関する考察

検証テストによる客観的な調査において、数学の図形や関数の理解に関する問題について有効と思われたが、検証するまでには至らなかった。この原因は、同程度の難易度の問題を作成する難しさ、同じ条件でテストを実施する難しさがあげられる。論理的思考問題は、問題によって思考方法が異なり、同じように比較するためには問題に関するデータが必要となる。また、数学嫌いの生徒に対して、いかに真剣に問題に取り組ませるかという問題もあった。また、教育課程の中での検証のため時間的な制約もあった。授業時間については、プログラミングの授業は週 1 時間である。学校行事や休日などにより欠ける場合があり、間隔が 2 週間になることもある。このような場合は、復習のための時間が必要となる。このような要因により、客観的な調査による検証は非常に難しいものとなった。また、全体として少ない全 12 時間での検証のため、長期にわたる学習効果や学習後の経過について検証すると明らかな有効性が認められる可能性がある。

4.9 まとめ

本章では、グラフィックスを中心とするプログラミングの授業を通して、中学生が自分の考えや工夫を入れたプログラミングが可能であることを検討するとともに、プログラミング学習における学習効果の検証を試みた [67][68][72]。

それぞれの単元で制作した生徒作品を見ると工夫された作品が多く、予想以上によく考えたプログラムを作っていた。第 4.3 節で紹介した生徒作品は、とくに優秀な作品を集めたものではなく、生徒の制作した作品の中で代表的なものを紹介した。すべての生徒が、自分の考えによるプログラム作品を制作することができている。このことから、中学生でもオブジェクト指向言語「ドリトル」のような適切な言語を使うことにより、自分の考えをプログラムに生かし、工夫した作品を作ることができることがわかった。

学習効果の検証においては、アンケートによる主観的な調査においては多くの生徒は、根気・思考力・考える力が身につくと感じている。また、学習の目的であるソフトウェアの仕組みに関しても理解できたという実感を持っており、実際のプログラミングの実習の成果ともあわせて、十分理解できていると判断できる。

これらの結果より、「ドリトル」のような適切な言語を使うことにより、中学生が制御機器の仕組みを理解するための前提となるプログラミングが可能であると考えられる。

初等中等教育の段階でプログラミング学習を行う目的は、単にプログラム技術の習得ではなく、概念を作ったり、発想を育てたりする効果も大きい。また、さまざまな能力を伸ばす可能性もある。そのため、中学生だけでなく小学生にも対応したプログラミング学習の授業カリキュラムを作成し、学習効果を検証していく必要がある。

第 5 章

自律型の制御ロボット教材の評価と授業

5.1 はじめに

本章では、第 3 章の情報科学の学習や第 4 章のプログラミング学習を基礎に、制御機器の仕組みを理解するための中学生の計測・制御学習について議論する。

中学校技術・家庭科の新学習指導要領 [4] では、「プログラムによる計測・制御」の学習が必修となる。しかし、計測・制御学習に関する実践は、自律型 3 モーター制御ロボットを使った報告 [74]、レゴマインドストームを使った報告 [75] などがあるが実践事例は少ないのが現状である。その上、個人向け教材として市販されている自律型の制御ロボット教材^{*1}の調査や、新学習指導要領での授業を想定した学習効果の検証はされていない。新学習指導要領向けに新しい教材が発売されている中で、中学校での計測・制御学習に使用する教材としてどのような要件が必要で、どのような学習が可能かを検討することは重要である。

まず、新学習指導要領のねらいに照らし合わせて、計測・制御学習の教材に求められる要件を整理し、市販されている 10 種類の制御ロボット教材を比較検討する。次に、これらの制御ロボット教材を実際に使った授業を実施し、新学習指導要領のねらいが達成できるかを確認する。さらに学習の進め方に関しても新学習指導要領の授業を想定した授業を行い、学習効果についても検証する。これらの結果をもとに、新学習指導要領のねらいが達成できるか、どのような学習効果があるかを検討する。

^{*1} 本論文では制御機器に関する用語を次のように区別する。「制御ロボット教材」は、「制御ソフト」(制御ロボットを動かすためのソフトウェア)と「制御ロボット」(制御機器・ハードウェア)の両方を含む表現とする。制御ロボットの種類としての自律型、車型などの用語を追加し、「自律型の制御ロボット教材」、「車型の制御ロボット教材」とする場合もある。

5.2 計測・制御学習のねらい

本研究における教材評価および授業設計の基準とするため、中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編 [11] (以下、新学習指導要領解説) の分析を行った。また、履修時間の多少によって教材の評価が異なるため、年間指導計画の分析も行った。

5.2.1 新学習指導要領でのねらい

新学習指導要領解説には、領域 D の「プログラムによる計測・制御」に関して、次の二つの内容があげられている。

- ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知ること。
- イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できること。

具体的なキーワードとして、次のことが書かれている。

- センサ、コンピュータ、アクチュエータなど計測・制御のシステム構成。
- インタフェースの必要性。
- 情報処理の手順には、順次、分岐、反復の方法があることを知る。
- 簡単なプログラムを作成できるようにする。

また、領域 D の配慮事項として、「ものづくりを支える能力を育成する観点から、(略)、プログラムにより機器等を制御したりする喜びを体験させるとともに、(略)。」とある。このことから、授業には教材 (機器) を使った実習が必修であると判断した。

5.2.2 新学習指導要領での計測・制御学習の割り当て時間

第 1.3.2 節で紹介したように、新学習指導要領では A~D の 4 領域すべてが必修化されたが、技術・家庭科の総授業時数は変わっていない。技術分野の総時間数は、3 年間で 87.5 単位時間 (35+35+17.5) である。それぞれの領域に割り当てる時間は決まっていないが、表 5.1 に示すように、ある教材会社の試案によると、計測・制御に割り当てられる時間は 5~7 単位時間程度と非常に少ない。別の教材会社の試案でも、8.5 単位時間となっている。前述の実践 [74] は 31 単位時間、実践 [75] は 18 単位時間であり、このような 5 単位時間という短い時間の実践報告は少ない。

しかし、領域 A も含めた複合教材と考えると、2 領域をあわせて 35 単位時間程度の時間確保ができるものと考えられる。制御ロボット教材は、基板の電子部品の半田付けなど

の電気学習や制御ロボットの機構など機械学習も含めた総合的な学習教材としてとらえることもできる。この実践は、[82] で報告されている。

表 5.1 教材会社による指導計画の例

1 年生 35 単位時間	領域 A 材料と加工 (25～30) 領域 D 情報 [モラル](5～10)
2 年生 35 単位時間	領域 C 生物育成 (8～10) 領域 D 情報 [マルチメディア作品](7～10) 領域 B エネルギー変換 電気 (15～20)
3 年生 17.5 単位時間	領域 B エネルギー変換 [動力](10～12) 領域 D 情報 [計測・制御](5～7)

5.3 自律型の制御ロボット教材の評価

まず、新学習指導要領のねらいに照らし合わせて、計測・制御学習の教材に求められる要件を整理し、市販されている制御ロボット教材を調査した。

5.3.1 制御ロボット教材に求められる要件

新学習指導要領の検討に基づき、制御ロボット教材に求められる要件を整理した結果を表 5.2 に示す。

表 5.2 制御ロボット教材に求められる要件

-
- A. 分岐、反復の命令がわかりやすい制御ソフト
 - B. センサを使った計測学習ができる機能
 - C. エラーが少ない転送方法
 - D. 不具合の原因を特定しやすい工夫
 - E. 創意工夫が生かせる教材
-

自律型の制御ロボット教材の特徴は、光センサやタッチセンサなどのセンサが搭載されており、これを生かしたプログラムができることにある。このセンサを生かした条件分岐プログラムの学習のポイントとなる。しかし、初めて学習する生徒にとって理解が難しい。そこで、簡単でわかりやすくプログラミングできる制御ソフト (要件 A) が必要不可欠

欠となる。また、搭載されたセンサをプログラムの実行時だけに利用するのでなく、計測学習ができるかどうかという観点 (要件 B) も制御の仕組みを理解する上で重要なポイントとなる。

また、自律型の制御ロボット教材は、作ったプログラムを制御ロボットに転送し、制御ロボットが独立してプログラムを実行する仕組みである。家電等に使われている組込型の制御と似ており、計測・制御の基本的な仕組みを理解させるにはよい教材であると思われる。しかし、実際に教材を使用すると不具合も多く発生する。原因としては、プログラムミス、転送エラー、制御ロボットの不具合などが考えられる。転送エラーが少なく (要件 C)、不具合が起こった場合でも原因を特定しやすい工夫 (要件 D) が必要である。また、ものづくりを支える能力を育成する教科としての観点から、形や機能などに創意工夫が生かせる教材 (要件 E) であることも必要である。

5.3.2 自律型の制御ロボット教材の評価

著者らが収集した 10 種類の制御ロボット教材について、概要を整理したものを表 5.3 に示す。

表 5.3 調査した制御ロボット教材一覧

制御教材名	制御ソフト	転送方法	搭載センサ
製品 a	フローチャート型	音	タッチ
製品 b	タイル型	画面点滅	光
製品 c	記述型 (複数あり)	シリアル	タッチ
製品 d, e	フローチャート型	USB	赤外線
製品 f, g	フローチャート型	音	タッチ (光)
製品 h	タイル型	音	赤外線、タッチ
製品 i	タイル型	シリアル	赤外線、光、タッチ
製品 j	記述型、タイル型	シリアル	赤外線、タッチ

製品 a～g は教材用として販売されている制御ロボットである。製品 h は学校教材ではないが小中学生向けのロボット教室で使われている。また、製品 i は中学生を含めたサッカー競技用ロボットで、製品 j は海外 (韓国) で教材用に開発された制御ロボットである。

これらの制御ロボット教材を使い、表 2 の要件を調査した。

要件 A 分岐、反復の命令がわかりやすい制御ソフト

制御ソフトを分類すると3つのタイプに分けられる。フローチャートのように命令を矢印でつなげるフローチャート型(図5.1)、命令のタイルを縦一列又は方眼上に並べるタイル型(図5.2)、BASICやプログラミング言語「ドリトル」[80]などの言語を使って命令を記述する記述型(図5.3)である。フローチャート型とタイル型は、見た目は同じように思われるが、反復命令の場合、矢印でループを作る方法と反復の始まりタイルと終わりタイルで挟み込む方法とで異なるため分類した。条件分岐プログラムを考えた場合、視覚的にとらえられるフローチャート型やタイル型は生徒にとってわかりやすくなっているが、記述型は文字で記述するためわかりにくいと考えられる。しかし、改行など記述方法を工夫することにより視覚的にわかりやすくすることもできる。

調査した制御ロボット教材のほとんどは、フローチャート型・タイル型であり、記述型だけのものは少ない。

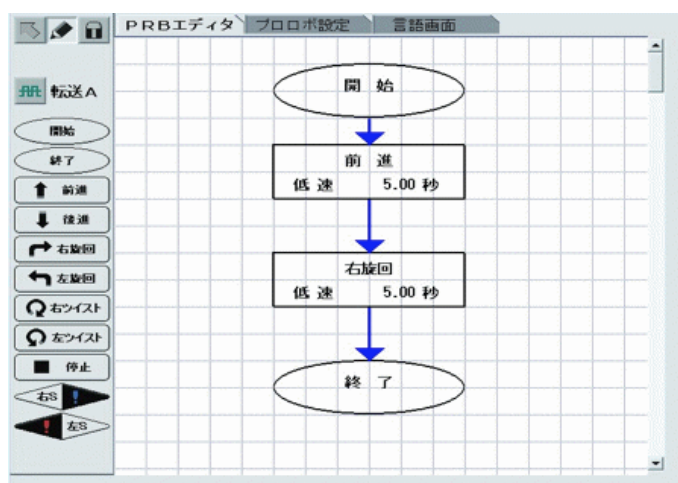


図 5.1 フローチャート型

要件 B センサを使った計測学習ができる機能

制御ロボットには、光(可視光)センサ・赤外線センサ、又は、タッチ(接触)センサが、必ず搭載されている。センサを搭載していないものはない。しかし、センサの値を読み取り、プログラムに生かせる機能のついた制御ロボット教材は少ない。計測ができる製品は、赤外線センサが計測した値を制御ソフト上に表示させ、プログラムに使うことができるようになっている。製品の中には、オプションで距離センサなどを取り付けると読み取ったセンサの値を表計算ソフトに記録することができるものもある。

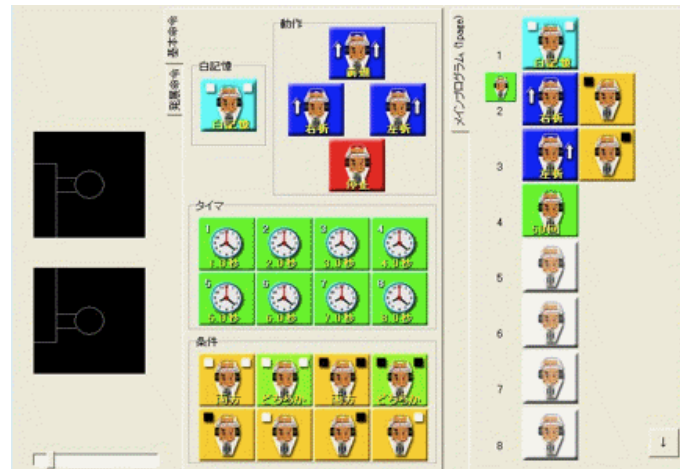


図 5.2 タイル型

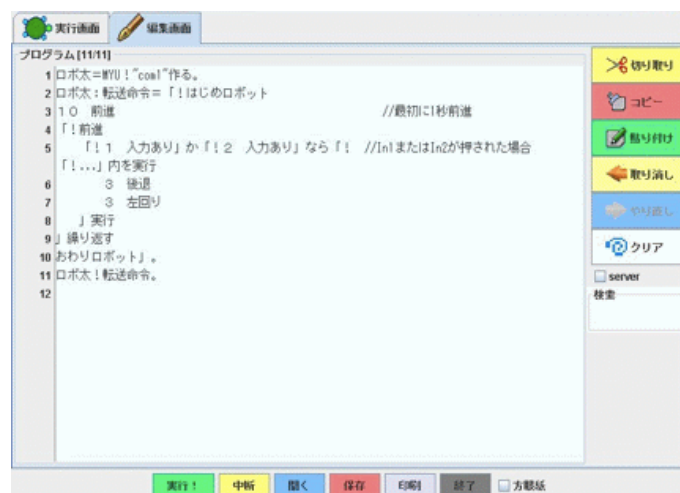


図 5.3 記述型

計測ができる製品は、赤外線や光センサを使っており、タッチセンサでは計測を扱うことは難しいと思われる。タッチセンサでは、計測結果 (接触したという結果) を利用したプログラムを作ることにはできるが、計測結果を調べる機能はついていない。

新学習指導要領には計測・制御とはあるが、どのような計測をしなければいけないかは、明確には示されていない。しかし、計測結果を表示させる機能を使うことにより、計測・制御の学習をより深めることができると考えられる。

要件 C エラーが少ない転送方法

転送方法は、シリアルポート (COM) や USB ポートを使った転送方法、音信号に変換してヘッドホン端子を使って転送する方法 (音通信)、画面点滅を読み取る独自の方法がある。転送エラーが少ないものから、シリアル・USB ポート、音通信、画面点滅の順となる。音通信の場合は、音量調整がうまくいかないと転送エラーが多い。また、画面点滅は液晶ディスプレイの明るさ、教室の明るさに影響され、転送エラーが多い。

別の観点から見ると、画面点滅は転送している信号を点滅として視覚的にとらえることができる。音通信は信号を音声ファイルに変換して音として聞くことができるものもある。転送する信号を光や音に変換することで生徒にわかりやすくする効果があると思われる。しかし、実際の授業で使ってみると、画面点滅や音通信は予想以上に転送時のトラブルが多く、生徒が困る場面も多く発生する。

要件 D 不具合の原因を特定しやすい工夫

自律型の制御ロボット教材では、制御ロボットが全く動かないというトラブルも多い。原因は、プログラムのエラー、プログラム転送時のエラー、制御ロボットのハードの不具合、電池の消耗などが考えられる。原因を特定しやすくするための工夫として、ハードに問題がないかを確認するためのテストプログラム、プログラムにエラーがないかどうかをソフト側でチェックする機能、ソフト側での転送状況の表示、制御ロボット側での転送の成否を知らせる音声又は LED の点灯などの工夫が見られた。すべての制御ロボットに不具合の原因を特定するための何らかの工夫がある。

要件 E 創意工夫が生かせる教材

制御ロボットは、全く改造できないタイプと制御ロボットの形状の改造やセンサの追加などができるタイプがある。開発メーカーの考え方によって大きく異なり、全く改造できないタイプのもの、いろいろな形に工夫することをねらったもの、センサを追加して発展学習できるようになったものがある。形が工夫できるタイプは形への創意工夫を生かす学習ができる利点はあるが、学習時間をたくさん必要とするため、授業の扱い方によって使い分けるのがよいと思われる。

5.3.3 制御ロボット教材の評価結果

教材調査における「制御ロボット教材に求められる5種類の要件」に関して、次のことがわかった。

- 「要件A 分岐、反復の命令がわかりやすい制御ソフト」に関しては、フローチャート型、タイル型、記述型の3種類があり、前2者が図示される形のプログラムであるため、分岐命令が視覚的にわかりやすいと考えられる。
- 「要件B センサを使った計測学習ができる機能」に関しては、実機を調査した結果、計測結果をプログラムに生かせるように考えられているが、計測結果を表示できる機能を持った製品は非常に少ない。赤外線センサや光(可視光)センサを搭載した一部の製品に画面上に計測結果を表示できる機能がある。新学習指導要領には明記されてはいないが、計測結果を生かせる機能のある方が学習効果が高いと考えられる。
- 「要件C エラーが少ない転送方法」に関しては、実際に転送実験した結果、エラーが少ないのは、USBやシリアルポートを使った転送方法である。
- 「要件D 不具合の原因を特定しやすい工夫」に関しては、実機を調査した結果、自律型の制御ロボットのすべてに、不具合の原因を特定しやすい工夫がされている。トラブルの多い制御ロボットにとって、必要不可欠な機能と考えられる。
- 「要件E 創意工夫が生かせる教材」に関しては、実機を調査した結果、一部の教材に、形を改造したりセンサを追加したりできる製品がある。

以上の結果をまとめると表5.4のようになる。

表5.4 制御ロボット教材に求められる要件の評価

要件	満たす ←	→ 満たさない
A	○フローチャート型、○タイル型	△記述型
B	○測定値を画面表示できる	×表示できない
C	○USB、○シリアル	△音 ×画面点滅
D	○テストプログラム、○エラーチェック	
E	○形を工夫できる	×拡張不可、形の工夫不可

・評価：○満たす、△条件付き満たす、×満たさない

5.4 多種類の制御ロボット教材を使った実践

自律型の制御ロボット教材によって新学習指導要領解説にある内容ア、イが達成できるかを調べるため、表 3 で紹介した 10 種類の自律型の制御ロボット教材を使った授業を実施した。

5.4.1 実践内容

授業は、2008 年度と 2009 年度の 2 年間にわたって実施した。総合的な学習の中での実施のため、生徒の自主的な学習活動を重視し、授業のねらいを「自律型の制御ロボット教材の仕組みや使い方を自分たちで調べ、実際に動作させる方法を習得すること」とした。学習時間は、全 8 回 (100 分授業) であるが、実際に制御ロボットの研究ができるのは 5 回である。学習の進め方は、2 名程度の少人数グループを構成し、自分たちの希望で割り当てられた制御ロボットの制御方法やプログラミング方法を調べ、自分の作ったプログラムで実機を制御する。調べる手段は、付属の説明書やインターネットの情報である。

生徒に与えた課題は、次の 2 つである。

- 基本課題：制御ロボットの仕組みや転送方法など基本的な制御方法を調べ、プログラムをロボットに転送してロボットを動くようにする。
- 発展課題：光センサ・タッチセンサなど付属するセンサを使ったプログラムを作り、ラインレース・障害物回避などの働きを持った制御ロボットにする。

また、2009 年度に準備したロボットは、生徒 18 名に対して計 21 台である。内訳は、製品 a (4 台)、製品 b (2 台)、製品 c (4 台) (4 種類)、製品 d (1 台)、製品 e (2 台)、製品 f (1 台)、製品 g (1 台)、製品 h (2 台)、製品 i (2 台)、製品 j (2 台) である。

授業の概要を表 5.5 に示す。

5.4.2 実践結果

授業形態が少人数学習のため、授業者が生徒の観察や生徒個人へ聞き取りを行いやすい。そこで、授業者による授業中の生徒の観察と生徒個人への聞き取りによって、課題の達成状況を判断した。また、全 8 回の授業の中で、3 回終了後 (中間調査) と 8 回終了後 (事後調査) にアンケート調査を実施し、生徒の内面的な変化を調査した。

表 5.5 授業概要

学年：	中学3年生
教科：	総合的な学習の時間 (国際・情報)
選択：	英会話や外国の文化を調べる「国際講座」と自律型の制御ロボットを研究する「情報講座」のどちらかを選択
時数：	100分×8回 (研究5回、まとめ2回、発表会1回)
情報講座生徒数：	2008年度:男子 19/19名、女子 3/19名、計 22/38名 2009年度:男子 15/23名、女子 3/19名、計 18/42名

新指導要領解説の内容ア、内容イの達成度

内容ア「計測・制御の仕組みの理解」については、授業での観察の結果、全員が何らかのプログラムを作り転送して制御ロボットを動かせることができていた。生徒は、プログラミング、転送、制御ロボットの動作確認と何度も試行錯誤を重ねていた。観察による制御方法理解の達成度は、表 5.6 のようになる。全員が達成できており、自律型の制御ロボット教材を使った授業では、内容アを達成できることがわかった。

内容イ「プログラムの作成」について、表 5.7 に自己評価によるプログラミング達成度を示す。「イ、サンプルを入れただけ」と答えた生徒3名は、記述型の制御ソフトで制御していた生徒であり、分岐のプログラミングを自分たちだけで理解するのは難しかったことがわかった。しかし、同じ制御ソフトを使った生徒でも、センサを使った条件分岐プログラムまで理解できた生徒もいた。このことから、記述型の制御ソフトについて、今回の自学する授業スタイルでは、生徒の理解の差が大きいことがわかった。フローチャート型とタイル型は、分岐を含むプログラムを理解しやすいことがわかった。

また、生徒の観察から、生徒に与えた課題の達成状況は、基本課題については全員達成できていたが、発展課題はあまり達成できなかった様子であった。

表 5.6 制御方法理解の達成率 (観察) n=18 (2009 年度)

段階	達成率	人数
プログラム作って、転送し制御できる	100.0%	18 名
プログラム作れるが、転送わからない	0.0%	0 名
プログラム作れない、転送わからない	0.0%	0 名

表 5.7 プログラミング達成度 (自己評価) n=18 (2009 年度)

段階	割合	人数
センサを使った条件分岐プログラム	66.7%	12 名
繰り返し命令のプログラム	44.4%	8 名
自分のプログラムができる	55.6%	10 名
サンプルを入れただけ	16.7%	3 名
全くわからなかった	0.0%	0 名

・生徒の自己評価によるもの、複数回答

生徒の興味・関心の変化

アンケートの結果 (表 5.8) から、授業の楽しさについては、ほとんどの生徒が肯定的であったとわかる。希望して選択した生徒であるため、当然の結果ともいえるが、中間調査より事後調査の方が肯定度が高まっていることは注目に値する。

表 5.9 からコンピュータの仕組みへの関心、制御ロボットへの関心については、全員がコンピュータと制御ロボットに興味・関心を持ち、授業を通して興味が深まったという結果が得られた。自律型の制御ロボットを用いることで、生徒の興味・関心につながる学習が可能であることがわかった。

表 5.8 授業の楽しさ n=18 (2009 年度)

選択肢	中間調査		事後調査	
楽しい	72.2%	13 名	77.8%	14 名
楽しい方	16.7%	3 名	22.2%	4 名
普通	11.1%	2 名	0.0%	0 名
楽しくない方	0.0%	0 名	0.0%	0 名
楽しくない	0.0%	0 名	0.0%	0 名

5.4.3 多種類の制御ロボット教材を使った実践の考察

授業での観察の結果、全員が何らかのプログラムを作り転送してロボットを動かせることができていたことから、どの自律型の制御ロボット教材を利用した場合でも、新学習指導要領解説の内容アを達成できると考えられる。

表 5.9 授業後の興味・関心 n=18 (2009 年度)

選択肢	PC の仕組み		制御ロボット	
大変興味を持った	33.3%	6 名	16.7%	3 名
興味を持った	66.7%	12 名	83.3%	15 名
あまり持たなかった	0.0%	0 名	0.0%	0 名
持たなかった	0.0%	0 名	0.0%	0 名

アンケート結果では興味・関心に関して肯定的な結果であったことから、自律型の制御ロボットを用いることで生徒の興味・関心を高める学習が可能であると考えられる。

第 5.3 節の教材に求められる要件については、多種類の制御ロボット教材の授業を通して、生徒の作成したプログラムや実機への転送・動作の様子より、要件 A の制御ソフトと要件 C の転送方法と要件 D の不具合の特定に関しては、適切な要件であると思われた。

授業では制御ロボットが動かないトラブルが非常に多かった。うまく動作しない原因を生徒だけでは究明できず、指導者が対応しなければいけない場合も多かった。トラブルの原因は、転送ケーブルの接続不良から電池の消耗による誤作動まで多岐にわたり、中には指導者が対応してもわからないものもあった。

5.5 新学習指導要領向けの実践

前節の実践では、新学習指導要領解説の内容イに関して達成できたとは言えなかった。そこで、センサの読み取り機能のついている製品を用いて、授業方法を変えた実践を行った。この授業は、新学習指導要領下での授業を意識して授業設計した。この実践で、新学習指導要領解説の内容イの達成度を検証するとともに、計測・制御学習の学習効果についても調査した。

5.5.1 実践概要

3 年生の「技術・家庭」の必修授業において、自律型の制御ロボットを使った計測・制御の授業を行った。授業概要を表 5.10 に示す。

授業内容

計測・制御の授業を設計するに当たり、稲川による高校での実践資料 [83] を参考に、次の学習を考えた。

表 5.10 授業概要

学年：中学 3 年生
教科：技術・家庭 (技術分野) 必修授業
時数：50 分× 5 回
教材：センサの値を画面表示、フローチャート型 (製品 e)
生徒数：47 名 (2 クラス)

(1) センサを使った計測学習

この制御ロボット教材は、制御ソフトの画面に赤外線センサの値を表示させることができ (図 5.4)、この値を使ってプログラムを考えることができる。また、USB 延長ケーブルを使い、ロボットを移動させていろいろな条件での値を調べさせることもできる。ライントレースプログラムにつながる紙の白い部分と黒い部分の値の違いを測定し、プログラムにつながる課題設定にした。



図 5.4 センサの値の表示 (白色と黒色の値)

(2) 情報処理手順を考えたプログラミング学習

授業のねらいを、新学習指導要領解説にある順次、分岐、反復の手順を学習させることとして、次のように計画した。

順次、反復については、図 5.5 に示す「正方形コース」を、第 1 時は順次処理、第 2 時は反復処理で考える。同じ課題を順次と反復で考えさせ、処理の違いも気づかせる設定とした。プログラムの違いを図 5.6 に示す。

分岐については、センサによる計測学習とあわせて、スタート (白) とゴール (黒) の赤外線センサでの値を測定した後、図 5.7 の「黒になったら止まるコース」のプログラムを課題にした。次の展開として、図 5.8 左に示す片方のセンサだけでトラック型のコースをライントレースするプログラムにつなげていった。片方のセンサだけのため、右回り又は

左回り専用のプログラムとなる。次の時間には、左右両方のセンサを使って図 5.8 右の S 字コースやラインが交わっているコースでのプログラムを課題にした。

これらの学習を表 5.11 に示す全 5 時間の指導計画で実施した。

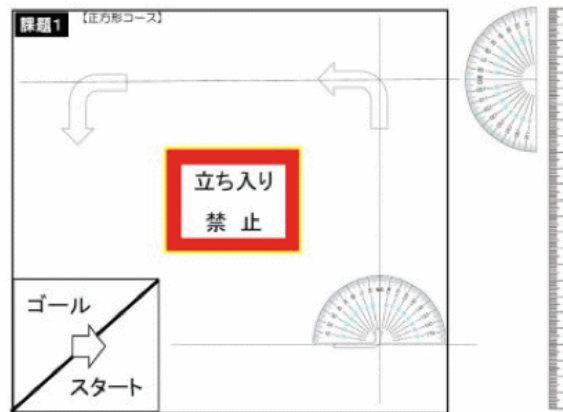


図 5.5 正方形コース

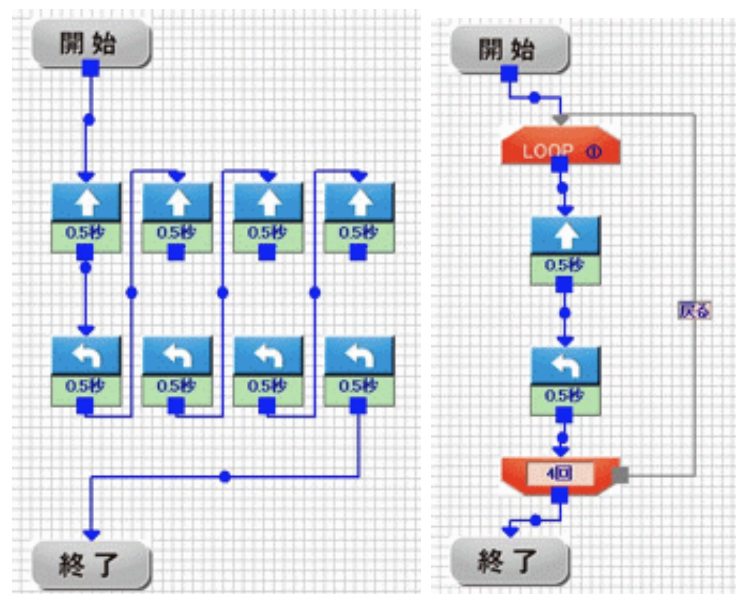


図 5.6 「正方形コース」の順次処理 (左) と反復処理 (右)

5.5.2 実践結果

授業での観察と生徒のプログラム作品、及び事前・事後調査から達成度を判断した。

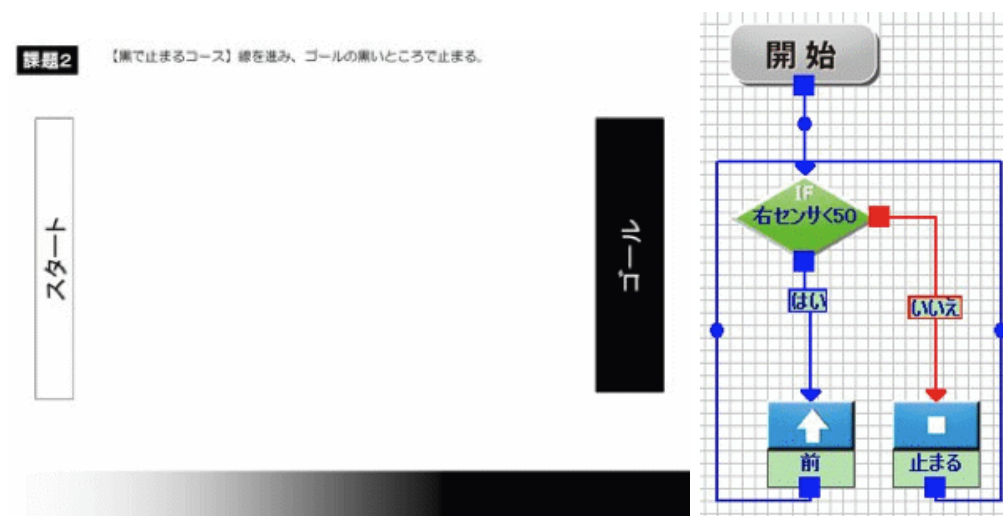


図 5.7 黒になったら止まるコースと分岐プログラム

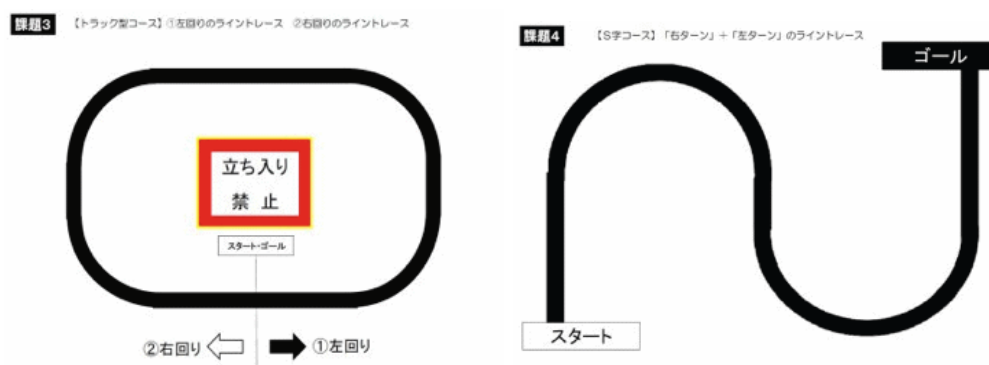


図 5.8 トラックコースと S 字コース

新学習指導要領解説の内容イ「プログラムの作成」

プログラム作成ができたことの評価は、毎時間ごとに制作した生徒のプログラムに基づいておこなった。生徒の作成したプログラムを見ると、順次、反復については問題なく全員できていた。分岐については、片方のセンサだけを使った正方形コースや黒になったら止まるコースの分岐処理は全員できていたが、左右両方のセンサを利用する S 字コースやラインが交わるコースのプログラムができた生徒は全体で 2 名/39 であった。

この結果より、順次、反復、分岐の基本的な課題はできているため、内容イ「基本的なプログラムの作成」は達成できたことがわかった。

表 5.11 指導計画

第1時：	制御の基本的な仕組み／直進とモーターの調整 順次処理による「正方形コース」課題
第2時：	反復命令を使った「正方形コース」課題
第3時：	光センサを使った計測 分岐命令を使った「黒で止まるプログラム」作成
第4時：	片方だけのセンサを使った「ライントレース」課題
第5時：	左右両方のセンサを使った「ライントレース」課題

計測・制御の学習効果

計測・制御学習の学習効果として、身近にある制御機器の理解が深まるかを調査した。表 5.12 にある質問を事前・事後の両方のアンケートで実施した。今回の授業では、光センサを利用した学習はしているが、温度や圧力などの他のセンサを使った制御については学習していない。授業では直接学習することのなかった制御機器の仕組みを考えることができるかを調べた。

エアコンの仕組みの説明の正解と不正解の例を表 5.13 に示す。また、正解者数を表 5.14 に示したが、制御機器でない自転車（電動自転車を除く）については、他の質問がセンサによる計測・制御を正しく説明できるかを基準に採点したため集計から除いた。

事前・事後の正答率をも検定で分析したところ、「エアコン」「炊飯器」「自動車」においては、「0.1% 水準で有意」に向上したことがわかった。「エレベータ」についても、高い正解率が得られた。これらのことから、計測に対応した教材を使うことで、身近にあるさまざまな制御機器の理解が深まることがわかった。

表 5.12 制御機器の仕組みに関する質問

- | |
|---|
| 1. エアコンはどのようにして温度を調整しているかわかりますか。簡単に説明しなさい。
2. 次の機器の中にはコンピュータが組み込まれていると思いますか。組み込まれているものには○をつけ、どのように使われているかを簡単に説明しなさい。
(1) 炊飯器 (2) エレベータ (3) 自動車 (4) 自転車 |
|---|

表 5.13 エアコンの仕組み説明の正解例と不正解例

正解例：温度がわかるセンサがついていて、設定した温度より上がれば温度を下げるように動作する。

不正解例：

- ・リモコンで温度を変えている。
- ・リモコンの命令でプログラムが動作して温度調整する。

表 5.14 制御機器の仕組みに関する正解者数 $n=39$

設問	事前 (人)	事後 (人)	t	p
1. エアコン	1	28	9.25	$p < .001$
2.(1) 炊飯器	15	26	3.86	$p < .001$
(2) エレベータ	19	21	1.43	$p = .16$
(3) 自動車	11	23	4.11	$p < .001$

授業の楽しさ・難易度・興味・関心

事後調査では、授業に関しての授業の楽しさ・難しさや制御機器・PC への興味・関心を 5 段階で評価する調査も実施した。調査結果を表 5.15 に示す。

授業は、ほとんどの生徒が楽しく感じていることがわかったが、難易度に関しては難しいと感じる生徒が多い一方、やさしいと感じる生徒もいる。どのようなところが難しく感じたに関しては、制御ロボットの操作は簡単であったが、与えたライントレースプログラムを難しく感じていたことが生徒の記述よりわかった。制御機器やコンピュータへの関心は、高まったと答える生徒がほとんどで、否定的な選択肢を選んだ生徒はいなかった。

5.5.3 新学習指導要領向けの実践の考察

生徒の作成したプログラムを毎時間評価した結果、順次、反復については問題なく全員できていたことから、自律型の制御ロボット教材で、新指導要領解説の内容イを達成できると考えられる。

事後調査で、授業の楽しさ・難しさ、制御機器・PC への興味・関心を調べた結果、制御学習の楽しさ、PC・制御機器に関する興味・関心につながる学習ができることがわかった。

表 5.15 事後調査 n=39

	5	4	3	2	1
1. 楽しさ	25 名 64.1%	12 名 30.8%	1 名 2.6%	1 名 2.6%	0 名 0.0%
2. 難しさ (全体)	17 名 43.6%	16 名 41.0%	2 名 5.1%	4 名 10.3%	0 名 0.0%
・ プログラムの難しさ	16 名 41.0%	18 名 46.2%	1 名 2.6%	3 名 7.7%	1 名 2.6%
・ 制御ロボットの操作方法の難しさ	0 名 0.0%	5 名 12.8%	17 名 43.6%	11 名 28.2%	6 名 15.4%
・ 課題の難しさ	18 名 46.2%	14 名 35.9%	5 名 12.8%	2 名 5.1%	0 名 0.0%
3. 制御機器への興味・関心	12 名 30.8%	20 名 51.3%	7 名 17.9%	0 名 0.0%	0 名 0.0%
4. コンピュータへの興味・関心	18 名 46.2%	19 名 48.7%	2 名 5.1%	0 名 0.0%	0 名 0.0%

制御機器の仕組みに関する質問で、事前調査と事後調査に有意な差があったことより、制御学習を通して、身近にある制御機器の仕組みに関する理解が深まると考えられる。

今回使用したフローチャート型の制御ソフトは、分岐命令など見た目には非常にわかりやすいが、実際に生徒がプログラムを作成する場合、分岐された矢印をどこにもどせばよいのかを迷っている生徒も多く見られた。どこからどこまでを繰り返すかを考えることが非常に難しいように思われた。実際には試行錯誤しながら正解のプログラムを見つけた生徒が多く、制御ロボットの動きを予測しながらプログラムを作っていたかどうかについては疑問が残った。また、制御ロボットのハード面でのトラブルも多く見られた。モーターの接触が悪く動作しない場合やモーターの取付角度が曲がっているために直進しない場合など、制御ロボットがうまく動かないトラブルも多く発生した。

5.6 まとめ

本章では、自律型の制御ロボット教材を調査し、これらの教材を使った授業で教材を評価した。さらに、学習指導要領に照らし合わせて学習効果を検証した。

教材調査 (第 5.3 節) では、次のことがわかった。

- 「制御ソフト」は、フローチャート型、タイル型、記述型の3種類があり、分岐命令がわかりやすいのは前2者である。
- 「計測」は、計測結果をプログラムに生かせるように考えられているが、計測結果を表示できる機能を持った製品は少ない。赤外線センサや光(可視光)センサを搭載した一部の製品に、画面上に計測結果を表示できる製品がある。
- 「転送方式」で、エラーが少ないのは、USB やシリアルポートを使った転送方法である。
- 自律型の制御ロボットのすべてに、不具合の原因を特定しやすい工夫がされている。
- 「創意工夫」が生かせる教材として、形を改造したりセンサを追加したりできる製品がある。

最初の授業実践(第5.4節)では、10種類の自律型の制御ロボット教材を使った授業の結果、次のことがわかった。

- どの自律型の制御ロボット教材を利用した場合でも、新学習指導要領解説の内容アを達成できる。
- 自律型の制御ロボットを用いることで、生徒の興味・関心につながる学習が可能である。

次の授業実践(第5.5節)では、「センサの測定値を画面表示、フローチャート型」の自律型の制御ロボット教材を使い、次のことがわかった。

- 自律型の制御ロボット教材で、新指導要領解説の内容イを達成できる。
- 制御学習の楽しさ、PC・制御機器に関する興味・関心につながる学習ができる。
- 制御学習を通して、身近にある制御機器の仕組みに関する理解が深まる。

以上の結果より、自律型の制御ロボット教材は、新学習指導要領のねらいを満たすことのできる有効な教材であることがわかった。また、本研究での実践授業を通して、自律型の制御ロボットは、生徒が興味・関心を持ち、楽しく学習できる教材であり、コンピュータや制御機器への理解が深まるだけでなく、身近にある制御機器の理解も深まることがわかった。

しかし、第5.4節と第5.5節の授業実践から、二つの課題が明らかになった。一つ目は、フローチャート型、タイル型の制御ソフトは、分岐命令など見た目にはわかりやすいが、実際にプログラムを作成する場合、どこからどこまでを繰り返すかを考えることが非常に難しく、生徒はきちんと理解してプログラムを作っているかどうか疑問が残った。見た目にわかりやすいだけでなく、作るときに考えを整理しやすい制御ソフトが必要である。二つ目は、実際に授業をするとロボットのトラブルが非常に多いことがわかった。うまく動

作しない原因を生徒だけでは究明できず、指導者が対応しなければいけない場合も多くあった。うまく動作しない場合は指導者が対応しなければならず、1人1台の制御ロボットを使う学習環境では1クラスあたり40台もの制御ロボットを使うため、指導者の負担は非常に大きいと思われる。トラブルの発生を少なくするための工夫が必要である。

明らかになった課題は、次の二つである。

1. プログラムを作るときに、考えを整理しやすい制御ソフトが必要である。
2. 制御ロボットは故障やトラブルが多いため、トラブルの発生を少なくする工夫が必要である。

第 6 章

状態遷移概念を利用した制御プログラミングの学習効果

6.1 はじめに

第 5 章で明らかになった課題「プログラムを作るときに、考えを整理しやすい制御ソフトが必要である」を解決する方法として、状態遷移概念を利用した制御プログラミングを提案する。

現代の社会生活においては、身近にある多くの電化製品にマイコン制御が組み込まれている。身近になった制御の仕組みを学習することは、生徒にとっても学習意義を感じる内容であると考えられる。紅林らの [73] は、制御プログラム学習の経験の有無によって、制御に関わる事故報道の制御対象の認知に差が生じることを報告し、古平らの [75] は、プログラムによる計測・制御学習が、身のまわりの機器に目を向けさせ、制御機器の仕組みの理解につながることを報告している。

計測・制御学習で扱う教材は、さまざまな種類が考えられるが、車型の自律型制御ロボット教材が多く使われている [62][84][85][86]。自律型の制御ロボット教材は一般に、教材に付属するソフトウェアでプログラムを作り、そのプログラムをロボットに転送する。制御ロボットは転送されたプログラムを制御ロボットだけで処理し、動作する。これらの教材には、手続きの考え方にに基づくビジュアルプログラミング環境が多い。ここでの手続きの考え方とは、命令（指令）を順番に実行することを基本とし、その順番を条件判断や繰り返しの構造によって制御していく方法をいう。

本章では、計測・制御学習における制御プログラムにおいて、状態遷移の考え方を取り入れたプログラミング方法を提案し、車型の自律型制御ロボット教材を使った授業で、その有効性を検証する。

6.2 手続きの考え方に基づくプログラムの特徴と問題点

2010年現在、市販されている計測・制御学習用の教材を中心に、手続きの考え方にに基づくプログラムの特徴と問題点について検討した。市販されている車型の自律型ロボットでは、赤外線（光）センサやタッチセンサを使った課題が中心となる。代表的な課題としてはラインレースや迷路脱出がある。そこで、ラインレース課題を題材に代表的なプログラムの記述方法を整理する。

6.2.1 フローチャートによる記述の例

プログラム例（Beauto Builder R^{*1}）として図6.1に示したものは、左右に取り付けられた2つの赤外線センサ（左センサ、右センサ）で黒のラインを挟んで走行するラインレースプログラムである。このプログラムは、矢印を使ってプログラムの流れを指定している。反復構造は、矢印を前の命令に戻す方法で表現する。分岐構造は、菱形のブロックから複数の矢印を出すことで表現している。ラインレースでは、センサによる検知を無限に繰り返させる必要があり、一番下の命令ブロックからの矢印を最初の部分に接続したプログラムとなっている。この方法は、図6.2に示したフローチャートと比較するとわかるように、フローチャートをそのままプログラムとして記述した形となっている。

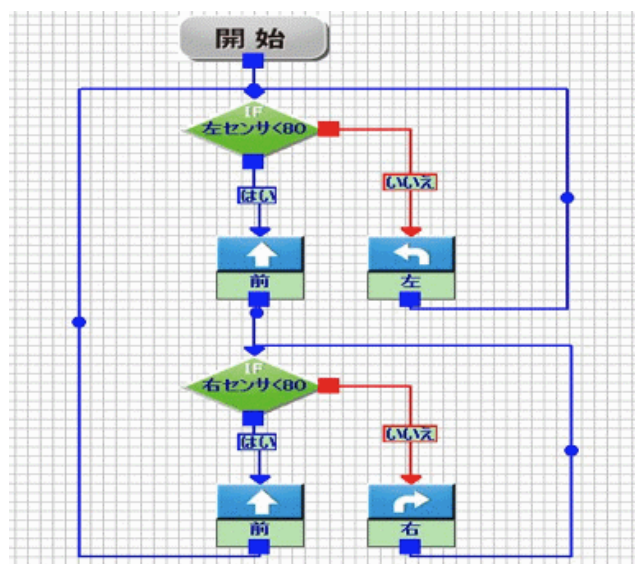


図 6.1 フローチャートによる記述のプログラム例

^{*1} http://www.vstone.co.jp/products/beauto_racer/

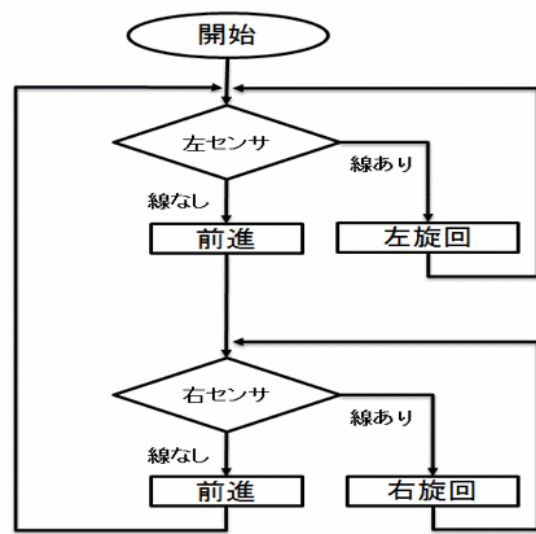


図 6.2 図 6.1 のプログラムのフローチャート

6.2.2 タイルによる記述の例

プログラム例 (IconWorks^{*2}) として図 6.3 に示したものは、第 6.2.1 節と同じく、左右に取り付けられた 2 つの光センサ (センサ 1、センサ 2) を使ったライントレースプログラムである。このプログラムは、命令のタイルを線で結ぶことでプログラムの流れを表し、左上から右下へ流れるように書かれている。反復構造は、 ∞ の絵が描かれた 2 種類のタイルで挟み込むことによって繰り返す範囲を指定している。分岐構造は、目の絵が描かれたタイルがセンサを表し、 $\bigcirc \times$ のタイルで判定後の分岐を示している。ライントレースでは、左右 2 つのセンサによる検知をそれぞれが繰り返しながら、プログラム全体を無限に繰り返す入れ子構造のプログラムとなる。これを、ループ端を用いたフローチャートで示すと図 6.4 のようになる。

6.2.3 手続きの考え方に基づく記述の問題点

ライントレースのプログラムでは、前述の 2 種類のプログラムにあるように、センサの値による分岐構造が反復構造の中であって繰り返されるといいう形を持つ。この形は、計測・制御プログラムで一般に見られる特徴でもある。

フローチャートによる記述は、矢印で表現され、全体の流れはよくわかるが、反復構造は読む側が線をたどってその意図を読み取らなくてはならない。プログラム初心者である

^{*2} <http://www.elekit.co.jp/product/promo/kirobo/>

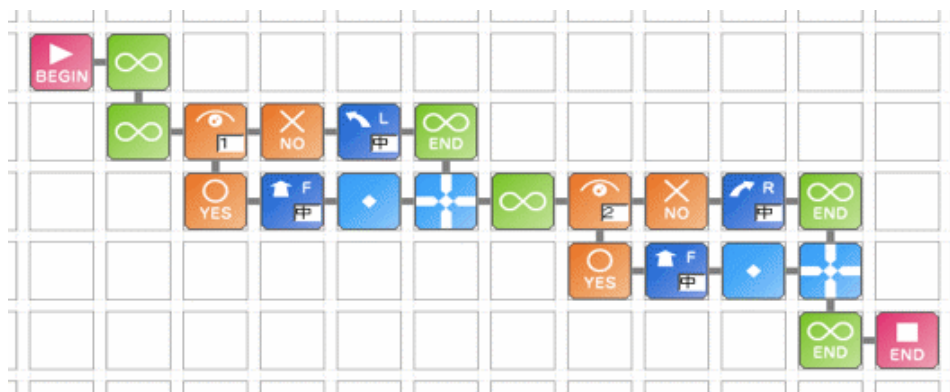


図 6.3 タイルによる記述のプログラム例

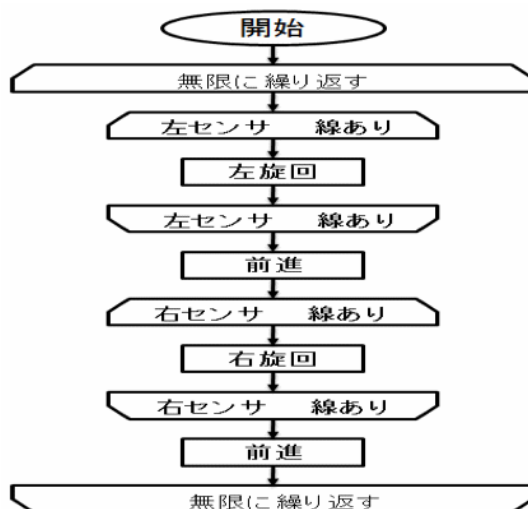


図 6.4 図 6.3 のプログラムのフローチャート

中学生が実際にプログラムを作ると、どこからどこまでを繰り返し、どこから次の段階の処理に進めるか、どのように矢印をつなげればよいかで悩むことが多い。とくに複数のセンサによる処理が入る場合は、どこに矢印を戻して反復すればよいかかわらなくなる場合がある。

タイルによる記述は、反復や分岐の構造が明示され、それぞれの部分的な構造はわかりやすくなっている。しかし、プログラム全体としては、図3のプログラムのように反復の中に反復が繰り返される入れ子構造になると、全体の構造を読み取るのが難しくなる。プログラム初心者は必要以上に複雑な入れ子構造を作る傾向があり、プログラム初心者である中学生の場合、複数の入れ子構造ができ、構造を理解できなくなる心配がある。

6.3 状態遷移の考え方に基づくプログラムの可能性

手続きの考え方に基づく記述の問題を踏まえ、本章では状態遷移の考え方を取り入れてプログラミングできないかを検討した。

6.3.1 状態遷移図

状態遷移とは、プログラムの状況が有限個の状態にわかれていて、条件に応じてその間を移り変わって行くという捉え方であり、その様子を図示したものが状態遷移図である。制御工学においては、状態遷移図を使ってわかりやすく動作記述する手法が用いられている [87]。ラインレースプログラムを状態遷移図で示すと図 6.5 となる。この中で、角丸四角形が対象のシステムの「状態」を表している。矢印線によって、センサ値などの条件によって状態が変わることを表している。計測・制御プログラムの基本構造である反復は一つの状態に集約されている。この状態遷移図を使うことによって、プログラム初心者である中学生にとっても理解しやすいプログラムができると考えられる。

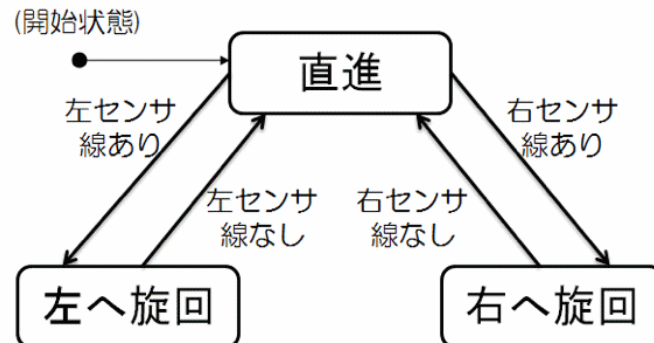


図 6.5 ラインレースプログラムの状態遷移図

6.3.2 状態遷移の考え方に基づいたプログラム

状態遷移図を用いた制御学習の実践としては、千田らの「ロボットを用いた初心者のためのプログラミング教育」[88]がある。千田らは、高専5年生に状態遷移図を用いた制御教育を実施した結果について、「状態遷移の考え方を取り入れることでロボットの制御構造が非常に見通し良くなり、容易にプログラムを作成することが可能となる」と報告している。

状態遷移の考え方に基づいたプログラミング言語の例としては、制御ロボット教材「梵

天丸」のプログラミング言語「まきもの」[89]がある。「まきもの」は、制御ロボットの動きを状態遷移として理解できることを考慮して設計されている。「まきもの」の状態（だん＝段）にある動作の命令は「とまれ」「みぎまわれ」「ぜんしん」など1つだけ入れることができ、停止や前進などの動作状態を維持するようになっている。次の状態に移るための条件は、それぞれの状態（だん＝段）の最後に書かれている。

しかし「まきもの」は、条件によって動作を分岐したり、異なる動作に移る数だけ、新しい状態（段）を定義して呼び出す必要がある。そのため、課題が少し複雑になると、状態の数が増えてしまい、全体を理解しづらくなるという問題がある。図6.6は、後述する課題2のプログラム（図6.14）を「まきもの」で記述したプログラムである。「前進状態」「後退状態」「回転状態」という、細かい動作ごとに状態を分けて記述する必要があるため、「壁に衝突したら反転して前進を続ける」という、行いたい動作の目的が読み取りにくくなっている。

そこで、状態遷移の考え方で、プログラム全体の流れが読み取りやすいプログラミング言語を検討した。

```
： 前進のだん
    ぜんしん
    まえだ：後退のだん
： 後退のだん
    こうしん
    1 0：回転のだん
： 回転のだん
    みぎまわれ
    1 2：前進のだん
```

図 6.6 「まきもの」のプログラム例

6.4 プログラミング言語 Rtoys

状態遷移の考え方に基づいて制御プログラムを記述するプログラミング言語 Rtoys を青木らが開発している [90]。Rtoys は学校現場で実践の多いビジュアルプログラミング環境のスクイーク Etoys[38] を制御ロボット教材に対応させ、状態遷移の考え方でプログラミングできるようにしたものである。本章では、この Rtoys を評価する。比較実験により評価するため、通常の手続きプログラミングの手法に基づいた Rtoys も試作した。以下では、状態遷移の考え方に基づく方を「状態 Rtoys」、手続きの考え方に基づく方を「手続

き Rtoys」と記す。

6.4.1 状態 Rtoys

状態 Rtoys によるライントレースプログラムを図 6.7 に示す。このプログラムは図 6.5 の状態遷移図をプログラムにしたものである。ロボットの動作状態を表すウィンドウが 3 つあり、それぞれ「直進」「左へ旋回」「右へ旋回」という状態名が付けられている。それぞれの「状態」の中には、「前進」「左回り」などのロボットの動作命令と、分岐命令を作るための「テスト」、光センサの値を指定するための「アナログセンサ」、状態を遷移させるための命令「状態を変える」が入っている。

状態 Rtoys では、ある一定の動作を繰り返す反復を 1 つの「状態」としている。「状態」の中には、「前進」「テスト」などの命令を複数入れることができ、それらは繰り返し実行される。複雑なプログラムは複数の状態に分割し、状態遷移によって結ぶ形で記述する。複雑なプログラムになっても、状態という単位で分割でき、全体的な流れが見やすく整理できるという特徴を持つ。

状態 Rtoys のプログラム画面を図 6.8 に示す。画面の右には使用できる命令が表示され、下にはロボットの動きがシミュレーション表示されている。

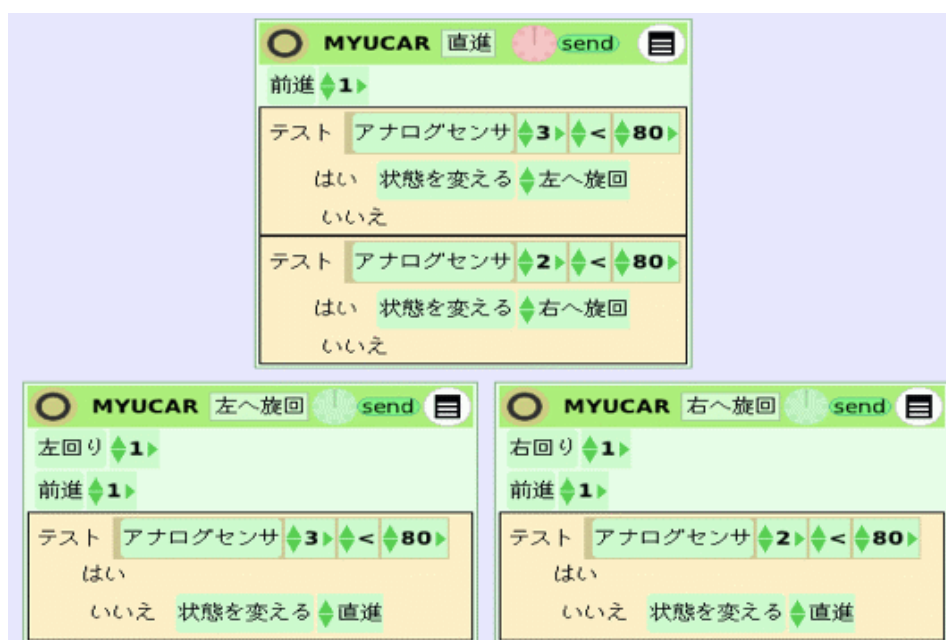


図 6.7 状態 Rtoys によるライントレースプログラム

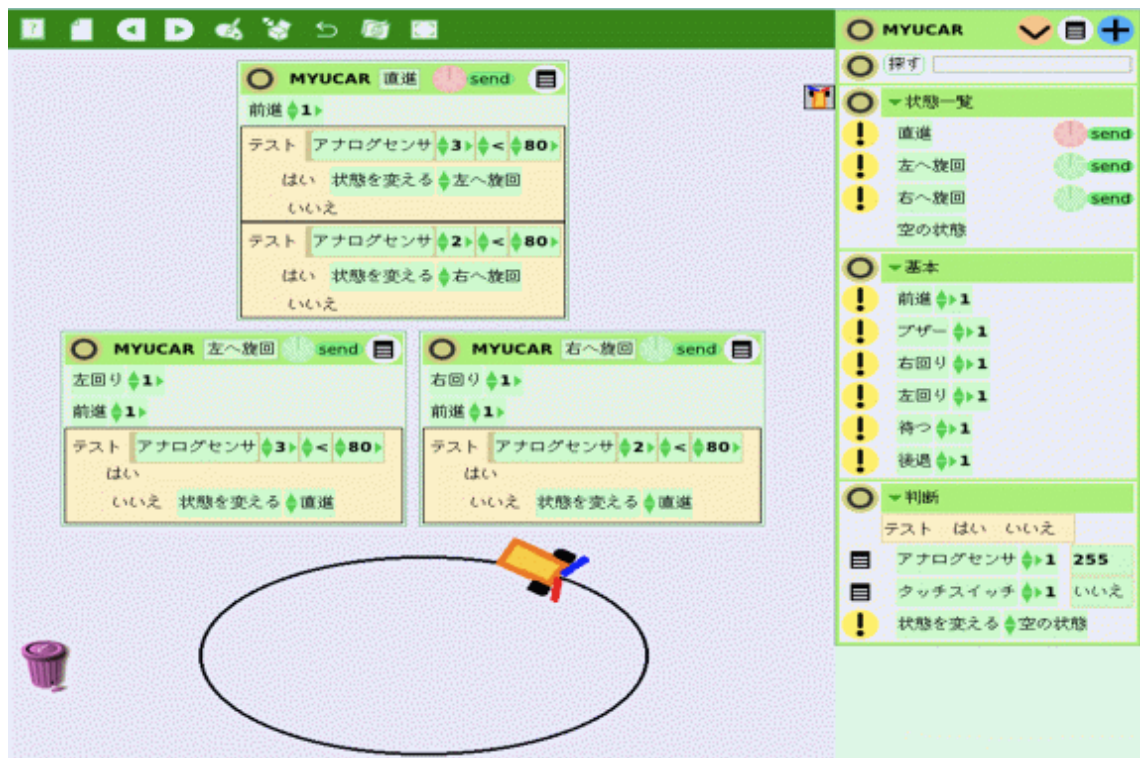


図 6.8 状態 Rtoys のプログラム画面

6.4.2 手続き Rtoys

手続き Rtoys のプログラム画面も、構成は図 6.8 と同じであるが、使用できる命令の一部が異なる仕様となっている。

光センサ（アナログセンサ）を使ったラインレースプログラムは、手続き Rtoys では図 6.9 のようになる。第 6.2.2 節の図 6.4 のフローチャートに相当する考え方でプログラムを記述することができる。

手続き Rtoys のプログラムは、第 6.2.3 節の中でタイルによる記述の問題点としてあげたように、複数の入れ子ができ、全体の構造が読み取りにくくなる問題がある。この入れ子構造をなくす方法として、手続きの考え方に基づくプログラミングでは一般的に、break 文などのループから脱出する方法が用意されている。手続き Rtoys においても、ループから脱出する命令として「繰り返し脱出」を用意した。図 6.10 に示すプログラムは、触覚センサ（タッチセンサ）を使って、1 回目と 2 回目の接触で異なる動作をさせる場合である。前進している状態で、触覚センサに触れると後退に切り替わり、もう一度触覚センサに触れると前進に切り替わるプログラムを示している。「繰り返し脱出」を使わないプログラムは図 6.10 左のように入れ子構造になり、「繰り返し脱出」を使った入れ子

構造でないプログラムは図 6.10 右のようになる。このように手続き Rtoys は、2 つの方法でプログラムでき、課題によって生徒が考えやすい方で作ることができる。



図 6.9 手続き Rtoys によるライントレースプログラム



図 6.10 入れ子構造の場合 (左) と繰り返し脱出の場合 (右) の違い

6.5 検証授業

技術・家庭科の計測・制御学習の授業で、実際に状態 Rtoys と手続き Rtoys を使い、学習効果を検証した。

6.5.1 検証授業の仮説

状態 Rtoys と手続き Rtoys を使った制御プログラムにおいて、次の仮説の検証を試みた。

仮説: 状態遷移の考え方に基づく方法を取り入れることにより、生徒は自律型の制御ロボットが複数の状態で動作するような実用的なプログラムが作れるようになる。

6.5.2 検証に使用した制御ロボットとソフトウェア

今回の検証に用いた制御ロボット教材は、左右に触覚センサ（タッチセンサ）のついた車型の自律型制御ロボット*³（図 6.11）である。検証に用いたソフトウェアは、本来の状態遷移の考え方に基づく状態 Rtoys と、今回の比較実験のために用意した手続き Rtoys である。

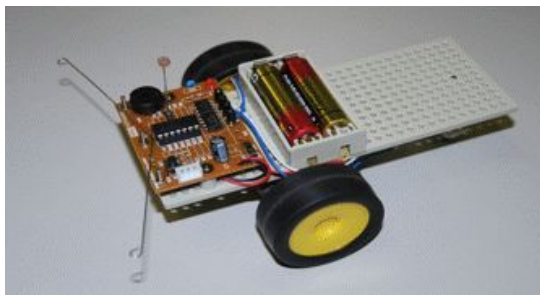


図 6.11 検証に使用した車型の自律型制御ロボット

6.5.3 授業概要・計画

検証授業は、筆者が勤務する公立中学校の 3 年生 1 クラスを 2 つに分けて実施している技術・家庭科で行った。それぞれのクラスに同じ制御ロボットと課題を与え、ソフトウェ

*³ ミュウロボ (ロボット工房スタジオミュウ) <http://www.studiomyu.com/>

アだけを変えた比較実験とした。データは2回以上欠席した生徒を除く、各クラス16名ずつを分析した。授業の概要を表6.1に示す。

第1時は、Etoysのプログラミング方法を習得させるための内容で、制御ロボットを使わずに実施した。第2時以降はそれぞれのクラスで状態Rtoysと手続きRtoysを使用し、実際に制御ロボットにプログラムを転送して動作させながら授業を進めた。以下では、状態Rtoysを使って授業をしたクラスを「状態クラス」、手続きRtoysを使って授業をしたクラスを「手続きクラス」と記す。表6.2に授業計画を示す。

課題は、制御ロボットの特徴である触覚センサを使った迷路脱出の授業を想定したものとし、学習のステップや難易度を考慮して設定した。授業方法は、考える時間を十分に与え、できる限り生徒の力だけで解決させるようにした。前時の理解が必要な授業では、最初に前時の課題の解説をした後、新しい課題に取り組ませた。

表 6.1 検証授業概要

教科：技術・家庭科必修授業 学年：中学3年生

時間数：6単位時間（1単位時間は50分）

	状態クラス	手続きクラス
使用ソフトウェア	状態 Rtoys	手続き Rtoys
使用ロボット	自律型制御ロボット	自律型制御ロボット
受講者数	16名	16名

表 6.2 授業計画

第1時	Etoysによるアニメーション
第2時	課題1：制御ロボットが円を描くプログラム
第3時	課題2：壁に衝突すると反対に向きを変えるプログラム
第4時	課題3：壁に衝突すると後退するプログラム
第5時	課題4、5：触覚に触れるたびに動きを変えるプログラム
第6時	課題6：（自由制作）触覚に触れるたびに動きを変える作品

6.5.4 授業内容

授業内容を指導者の授業記録をもとに説明する。

第 1 時 : Etoys によるアニメーション

第 1 時は、Etoys の絵を操作する機能の使い方や基本的な命令の作り方を指導した。自分の描いた図形に命令を入れ、動きや音を楽しむアニメーションを作らせた。

第 2 時 : 円を描く課題

第 2 時は、制御ロボットへのプログラムの転送方法、制御ロボットの動かし方を中心に指導した。また、それぞれの Rtoys にある命令やシミュレーションについて簡単に説明した。課題は、「課題 1 : 制御ロボットが円を描くプログラム」とし、できた生徒には正方形や三角形を描くプログラムにも挑戦させた。制御ロボットが同じ動作（円や正方形を描く）を繰り返すプログラムとし、1 つの繰り返しの中で考えられる課題にした。課題 1 の正解例を図 6.12 に示す。



図 6.12 課題 1 の正解プログラム例

第 3 時 : 壁に衝突すると反対に向きを変える課題

第 3 時は、触覚センサの働きと分岐命令の使い方を指導した後、「課題 2 : 壁に衝突すると反対に向きを変えるプログラム」（図 6.13）を考えさせた。制御ロボットがある条件のときに違う動作に変わるプログラムとし、1 つの「状態」の中で考えることができる課題として設定した。正解例を図 6.14 に示す。

課題 2 :

前進しながら、何かに衝突すると反対向きに向きを変えるプログラムを作り、ロボットを動かしてみましょう。

図 6.13 課題 2 : 壁に衝突すると反対に向きを変える課題

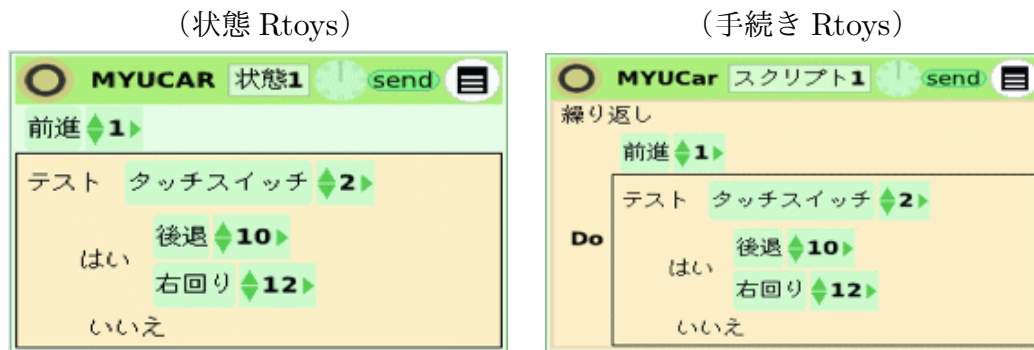


図 6.14 課題 2 の正解プログラム例

第 4 時：壁に衝突すると後退する課題

第 4 時は、分岐命令の使い方を復習した後、「課題 3：壁に衝突すると後退するプログラム」（図 6.15）を考えさせた。ロボットがある動作を繰り返しながら、ある条件で別の動作の繰り返しの移るプログラムとし、2つの「状態」の中で考えることを想定して設定した。授業で作成した課題通りに動く生徒プログラムを図 6.16 に示す。

課題 3：

前進しながら、何かに衝突すると後退し続けるプログラムを作り、制御ロボットを動かしてみましょう。

図 6.15 課題 3：壁に衝突すると後退する課題

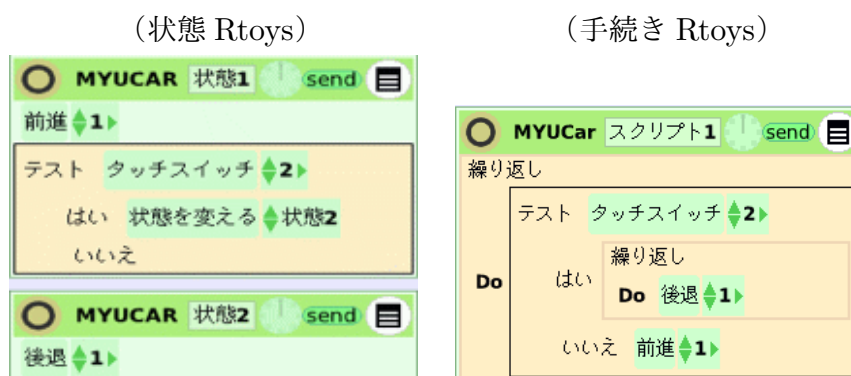


図 6.16 課題 3 において生徒が作成したプログラム例 (正解)

第5時：触覚に触れるたびに動きを変える課題

第5時では最初に、課題3での「状態」の考え方を、状態 Rtoys は「状態を変える」、手続き Rtoys は「繰り返し脱出」を使って指導した。次に、「課題4、5：触覚に触れるたびに動きを変えるプログラム」（図6.17）を考えさせた。制御ロボットが2つ又は3つの動作をするプログラムとし、複数の「状態」を考える課題として設定した。

課題4の生徒プログラムを図6.18と図6.19に示す。状態 Rtoys（図6.18）では右回りと静止の状態の2種類の状態を作成し、右回りの状態で左の触覚センサが接触すると静止の状態に切り替えるように考えて解決している。手続き Rtoys（図6.19左）では、上から手順を考え、右回りを繰り返している状態で、左の触覚センサが接触すると「繰り返し脱出」命令で、繰り返しから抜け出し、静止の状態に切り替えるように考えて解決している。

課題4：次のストーリーでプログラムを作って、制御ロボットを動かしてみましょう。

- 1) 初め制御ロボットは止まっています。
- 2) 右側の触覚が触られると右側に回り始めます。
- 3) 2) で回っている時、左側の触覚に触れると止まります。

課題5：次のストーリーでプログラムを作って、制御ロボットを動かしてみましょう。

- 1) 初め制御ロボットは止まっています。
- 2) 右側の触覚が触られると右側に回り始めます。
- 左側の触覚が触られると左側に回り始めます。
- 3) 2) で回っている時、反対側の触覚に触れると止まります。

図6.17 課題4、5：触覚に触れるたびに動きを変える課題

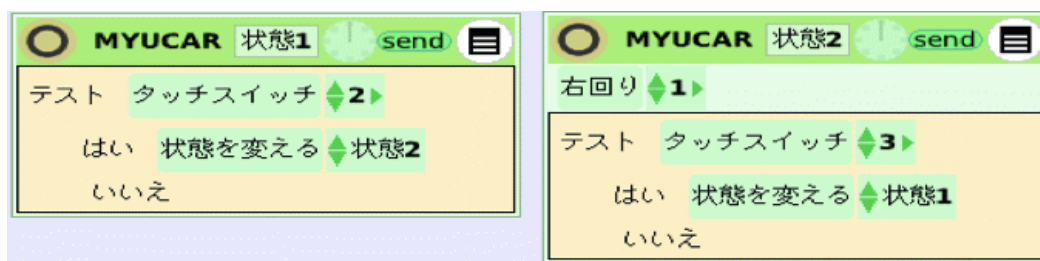


図6.18 課題4において生徒が作成したプログラム例（正解）（左右で一つのプログラム）（状態 Rtoys）

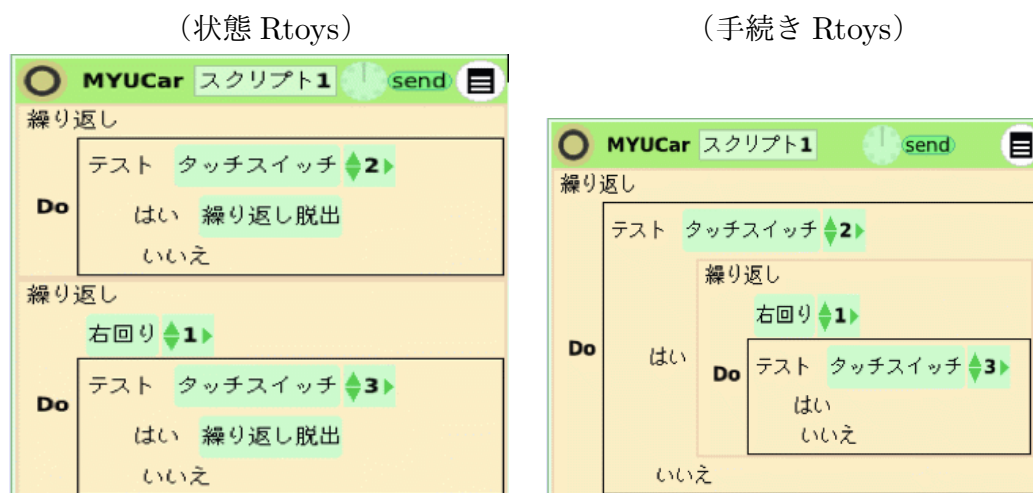


図 6.19 課題 4 において生徒が作成したプログラム例 (正解) (手続き Rtoys)

第 6 時：触覚に触れるたびに動きを変える作品

最後の授業は、今までの学習内容を使った自由制作の時間とした。課題は「課題 6：触覚に触れるたびに動きを変える作品」とし、数多く動きが切り替わる作品にするように指導した。

6.6 検証授業の結果

6.6.1 課題の達成率

それぞれの課題の達成率を表 6.3 に示す。達成人数は、生徒が授業者の前でプログラムを実行し、授業者が課題通りに動作することを確認した人数を示している。それぞれのクラスの達成率を比較すると、課題 3 を除き、状態クラスの方が、達成率が高い結果となっている。課題 1 と複雑な動きをする課題 4、5 に対しては、有意差が見られた (1% 水準で有意)。

6.6.2 状態の理解についての観察

「状態」の考えを初めて必要とする「課題 3：壁に衝突すると後退するプログラム」の授業では、生徒の問題解決の過程を調査した。この課題は、前進と後退で制御ロボットの状態が異なることを考える必要がある。しかし、1 つの状態だけで考えると、前進する中で、触覚センサが触れているときのみ後退し、触れていないときは前進するプログラムになる。触覚センサが離れた瞬間に前進に切り替わり、制御ロボットは壁の前で前後の動き

表 6.3 課題の達成率

	状態クラス	手続きクラス	p 値	有意差
課題 1	94% (15/16)	50% (8/16)	0.0077	$p < 0.01$
課題 2	94% (15/16)	73% (11/15)	0.15	無
課題 3	13% (2/16)	31% (5/16)	0.20	無
課題 4	75% (12/16)	19% (3/16)	0.0019	$p < 0.01$
課題 5	44% (7/16)	0.0% (0/16)	0.0034	$p < 0.01$

・達成率の () 内は (達成人数 / 出席人数)、検定方法はフィッシャーの正確確率検定

を繰り返す動作となる。生徒のプログラムを調査したところ、両方のクラスで全ての生徒が、最初はこのような前後の動きを繰り返すプログラムを作っていた。実際に生徒が最初に作ったプログラムを図 6.20 に示す。

時間を十分与えても、解決できない生徒が多いため、どの段階まで考えているかを調べた。生徒からは、「後退する時間が終了すると、プログラムの最初の前進に戻り、前進してしまう」「スイッチが入っている間だけしか、後退命令が効かない」という意見があった。挙手により確認したところ、ほぼ全員の生徒が、「原因はわかっているが、解決するためのプログラムが作れない」状態であった。そこで次時（第 5 時）の授業の最初に、「状態」の考え方をそれぞれのクラスで指導した。課題 3 のプログラムを例に、状態 Rtoys は「状態を変える」を使って 2 つの状態に分けることを、手続き Rtoys は「繰り返し脱出」を使って次の状態に移ることを指導した。

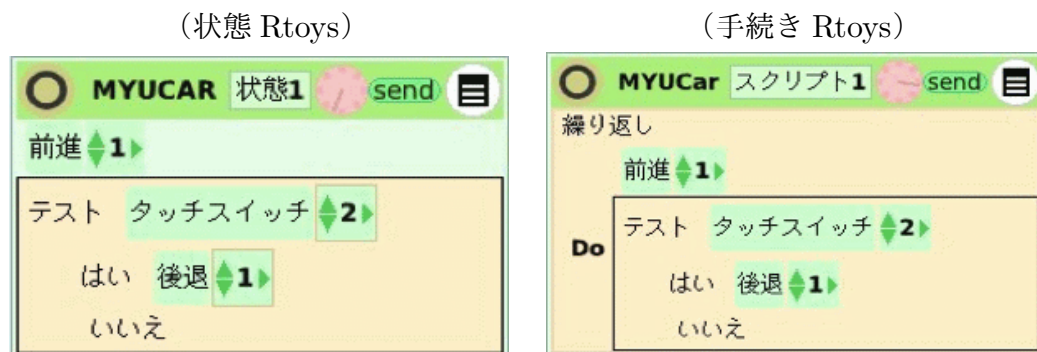


図 6.20 課題 3 において生徒が最初に作成したプログラム例（不正解）

6.6.3 生徒作品の分析

第6時に制作した課題6の生徒作品を分析した。課題は「触覚に触れるたびに動きを変える作品」である。触覚センサで「前進」「右回り」などの動作が切り替わる回数（動作数）を調べたところ、図6.21のようになった。手続きクラスにおける動作数の分布は左右対称でなく、外れ値も存在することから、正規分布を仮定したt検定ではなく、Wilcoxonの順位和検定を行ったところ $p=0.024$ で、5%水準で2つの群に有意な差が認められた。

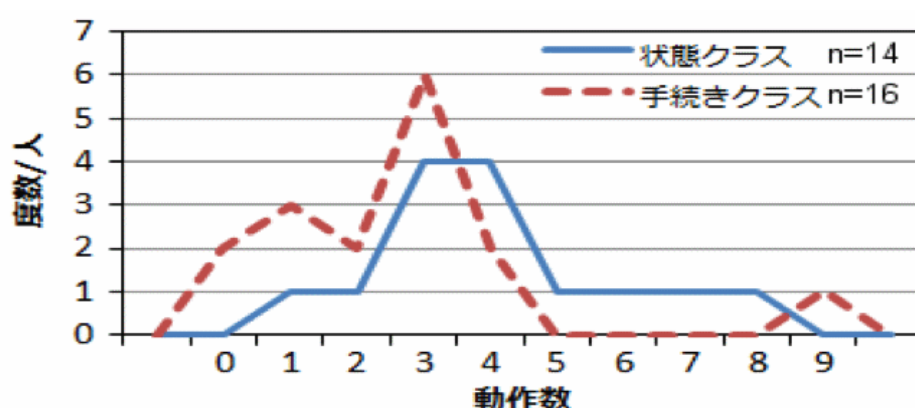


図 6.21 触覚センサによる動作数の人数分布

同じ動作数の生徒作品を図6.22と図6.23に示す。状態 Rtoys の作品（図6.22）は、状態ごとに分けられて動作がわかりやすくなっているが、手続き Rtoys の作品（図6.23）は、入れ子構造になっている部分では動作の内容が読み取りにくくなっている。また、プログラムを見てわかるように、同じような動作をさせる場合でも、考える複雑さは大きく異なると思われる。

6.7 考察

課題の達成率（表3）から、状態クラスは、初めて複数の状態を扱う課題3はできていないが、いちど理解した後は、続く課題を高い割合で完成している。逆に、手続きクラスは課題が進むに連れて完成できない生徒が増えている。状態 Rtoys は、制御ロボットが複数の状態を必要とする複雑な動きをする課題に対して有効であることがわかる。

課題3について、状態クラスの正解者が少ないのは複数の状態を考える初めての課題のため、別の状態が必要になるという考え方ができなかったためであると考えられる。一方、手続きクラスの生徒は、図6.16の生徒プログラムでは、反復から脱出して別の状態を考えているのではなく、1つの反復の中にさらに反復を入れ子構造にすることで解決し



図 6.22 状態 Rtoys の生徒作品（動作数 4）

ている。他の生徒も同じで、「繰り返し脱出」を使って別の状態にする考え方の解答はなかった。また、最初は全員が状態を考えないプログラムを作っていたことや、後に原因はわかってきたが解決できなかったことから、「状態」のとらえ方や「状態が遷移する」「反復から脱出して別の状態にする」という考え方は、課題を解いている中で自然と思いつくものではなく、指導する必要がある内容であることがわかった。今回の授業では、実際にプログラムを作る過程で不具合を体験した後に、状態の考え方を指導した。

状態の考え方を指導した後の生徒作品の分析では、状態 Rtoys の方は制御ロボットのそれぞれの状態に分け、自分の考えを整理しながら作品を作っている。一方、手続き Rtoys の方は繰り返し脱出を使った作品でも、動作を整理できていない作品も数多く見られた。このことから、状態 Rtoys の方が、状態の考え方が身につけやすく、自分の考えを整理しやすい言語であると考えられる。そして、その結果として、状態 Rtoys の方が触覚センサに、数多く動きが切り替わる制御プログラムを作ることができていると考えられる。

6.8 まとめ

本章では、課題「プログラムを作るときに、考えを整理しやすい制御ソフトが必要である」を解決する方法として、状態遷移の考えを取り入れたプログラミング方法を提案した。まず、市販されている計測・制御学習用の教材を中心に、手続きの考えに基づくプログラムの特徴と問題点について検討し、問題点を克服する試みとして状態遷移の考えに基づくプログラミング方法を提案した。検証では、中学生を対象に、自律型制御ロボット教材を用いた計測・制御のプログラミング学習を実施した [91][92]。

従来型の言語を用いた対照群と比較した結果、次のことがわかった。



図 6.23 手続き Rtoys の生徒作品（動作数 4）

- 手続き型のプログラミングに比べ、状態遷移の考え方に基づく方法は、複雑な動きをするプログラムを記述できるようになる。
- 状態遷移の考え方に基づくプログラミング方法は、考えを整理しやすい。
- 状態遷移の考え方は自然に気づくものではなく、指導する必要がある。

これらの結果より、状態遷移の考え方に基づくプログラミング方法は、中学生がプログラムを作るときに考えを整理しやすい有効な方法であると考えられる。

学習の効果については、状態遷移の考え方を導入することで、より複雑な動きを行わせる課題を扱えるようになることを確認した。複雑な動きをする課題は、複数の状態を持って動作していることから、複数の状態を持つ情報機器やシステムの仕組みを理解する学習に発展できる可能性が考えられる。

第 7 章

制御教材を共有する学習システムの構築

7.1 はじめに

第 5 章で明らかになった課題「制御ロボットは故障やトラブルが多いため、トラブルの発生を少なくする工夫が必要である」を解決する方法として、制御教材を共有して使用することにより使用する台数を減らし、トラブルを少なくする学習システムを提案する。

中学校の計測・制御の学習では、実習用の教材として自律型の制御ロボット教材が多く使われる。しかし、この教材はプログラム転送時のエラーや制御ロボットのハード面での故障など、不具合が発生する場合も多い [84]。生徒が 1 人 1 台の制御ロボットを使う学習環境では、このような不具合に対応する指導者の負担は大きい。また、1 人 1 台 (学級全体で 40 台) の制御ロボット教材を準備することは、学校予算の面、維持管理の面からも難しいと考えられる。授業における指導者の負担や教材を準備する経済的な負担から考えると、制御ロボットの台数は少ない方が望ましいと考えられる。一方、プログラムの制作や制御ロボットの操作など生徒の学習効果から考えると、1 人 1 台の学習環境の方が望ましいと考えられる。そこで、数台の制御ロボットを生徒全員で共有して利用し、プログラムの制作や制御ロボットの操作などは個人で学習を進める学習環境を設計・開発し、中学生の実験授業で確認した。教室内で少数の制御ロボットを複数台の端末から共有して利用できる計測・制御の学習システムを提案する。

7.2 計測・制御学習における学習環境

中学校の計測・制御学習における教材や学習形態を調査した。制御教材には車型で自律型の制御ロボット教材が多く使われており、実践研究で使用されている制御ロボット

のほとんどは、レゴ マインドストーム (LEGO MINDSTORMS) である。学習形態は1~2 名に対して1 台の割合で使用し、制御プログラムを制作する学習を展開している [74][75][85][86][94]。中学校の授業向けに市販されている制御ロボット教材を調査すると、1 人1 台の環境で学習することを前提にした教材が多く販売されている [84]。

中学校での学習形態は、個人で学習を進める場合とグループで学習を進める場合が考えられる。使用する制御ロボットの台数を少なくする場合、数名のグループに1 台の制御ロボットを与えることにより使用台数を少なくできる。しかし、1 人1 台の環境と同じ学習効果が得られるとは限らない。そこで、個人学習の場合とグループ学習の場合に関して、制御機器に関する理解、プログラム学習に関する理解、学習評価の問題、教材費などの観点から、どちらの学習形態がよいかを検討した。

制御機器に関する理解やプログラム学習に関する理解に関して、個人学習では個人でプログラムを作り、自分の制御ロボットにプログラムを転送し、自分で制御ロボットを操作しながら学習を進める。一方、グループ学習では、全員で協力しながら学習を進めることが基本ではあるが、一人の生徒が中心になりプログラムを作り制御ロボットに転送すれば、他の生徒が理解できていなくても課題が達成できる。全員が理解できているかどうかはわかりにくい。グループ学習ではグループで作業を分担する関係から、生徒がすべての作業を体験できない可能性もある。生徒の役割分担を決めて実行させることは難しい学習形態である [93]。制御学習やプログラム学習に関する理解に関しては、個人学習の方が望ましい学習形態と考えられる。さらに、学習評価に関しても、個人学習の方が全員が同じ作業をし、学習結果が個別にわかることから、評価も容易にできると考えられる。しかし、個人学習の場合は、人数分の制御ロボット教材を準備する必要がある。グループ学習は制御ロボットの台数が少なくて済むことから、制御ロボットの故障やトラブルなど比較的多く発生する不具合に対する対応も容易にできる。また、使用する制御ロボットの台数が少ないことは、経済的な負担も少ない。このように個人学習とグループ学習では、それぞれにメリットがある。そこで、それぞれのメリットを生かした次のような学習環境を考えた。

- プログラム制作や制御ロボットの操作は、個人学習で行えるようにする。
- 制御ロボットは教室全体で共有し、使用する台数を少なくする。

制御ロボットを共有する方法については、教室全体で共有する方法と、グループで共有する方法が考えられる。グループで共有する方法については、公平な順番が維持できず取り合いになる場合が心配される。また、指導者の近くに制御ロボットがないため、不具合が発生していても気がつかなかったり、制御ロボットの動きに関して具体的なアドバイス

が与えられなかったりするため、教室全体で共有し、指導者のそばで制御ロボットを管理できる共有環境とした。しかし、生徒の手元に制御ロボットを置かない環境のため、作ったプログラムを確認する方法として、シミュレーション機能が必要となる。さらに、教室全体で複数台の制御ロボットを共有するためには、制御ロボットの個体差を吸収するキャリブレーション機能も必要となる。

シミュレーション機能、キャリブレーション機能を搭載し、教室内にあるネットワークを利用した学習システムを提案する。

7.3 関連研究

ネットワークを使って制御機器をコントロールするシステムに関しては、大学生を対象とした工学教育用の遠隔実験システムが開発されている [95]。制御機器を実際に見て操作するのではなく、離れたところにある制御機器の動作をカメラ画像で判断するなど、初心者が使用するには高度なシステムとなっている。このようなシステムは大学の専門教育には適していると考えられるが、基本的な制御プログラムや制御機器の操作の修得を目指す初心者の中学生にとっては適しているとはいえない。初等中等教育向けの制御機器を共有する学習環境を調査すると、機器の共有に関する研究は非常に少ない。それは、学習指導要領 [4] の改訂以前は、計測・制御学習は選択教科の技術・家庭科の中で行われていたため、実践が非常に少なかったこと、選択教科のため少人数での実践が可能であったことが理由として考えられる。中学校において教室内のネットワークを使った報告として、チャットプログラムを作り、チャットやメールの仕組みが学習できる機能を実装したプログラム言語「ドリトル」がある [80]。プログラミング学習の中で、教室内のネットワークを活用した事例であり、計測・制御学習に関して教室内のネットワークを活用した事例ではない。

シミュレーション機能に関しては、シミュレーションを教育に生かす先行研究として [96] が報告されている。また、個人持ち教材として市販されている車型の制御ロボット教材に搭載されているものもある^{*1}。しかし、この教材を中学校の授業で使ったところ、生徒は実機でプログラムを動かしたいという気持ちが強く、シミュレーション機能を使う生徒は少数であった。実機が手元にある環境では、生徒はシミュレーション機能を使うことは少ないと考えられる。

キャリブレーション機能に関しては、個人持ち教材として市販されている車型の制御ロボット教材の多くに搭載されている [84]。これは、安価なモーターを使用しているため左右のモーターの回転速度を調整して車型の制御ロボットを直進させるために使われる。本

^{*1} Beauto Racer (Vstone 社) http://www.vstone.co.jp/products/beauto_racer/index.html

研究の学習システムに必要なキャリブレーション機能は、個々の制御ロボットの直進性の調整だけでなく、制御ロボット間の個体差を吸収するためのキャリブレーション機能である。

7.4 教材を共有する学習環境の設計

制御ロボットを共有する方法として、教室内のネットワークを使う方法で設計した。この利点として、まず、生徒の端末を特定してサーバーに登録することができる。次に、サーバーに生徒の作ったプログラムを集めることにより、サーバーに個体の特性情報を登録しておき、プログラムを補正して転送する方法を使うことで、キャリブレーション機能が容易に実装ができることがあげられる。

教室内のネットワークを使って制御ロボットを共有する環境では、学習者は次のステップで学習を進める。

- (1) 端末でプログラムを作成し、画面上のシミュレーション機能で動作を確認する。
- (2) 確認したプログラムをサーバーに転送する。
- (3) サーバーで自分のプログラムを実機 (制御ロボット) に転送する。
- (4) 実機 (制御ロボット) で動作を確認する。

図 7.1 に提案する学習システムのモデル図を示す。

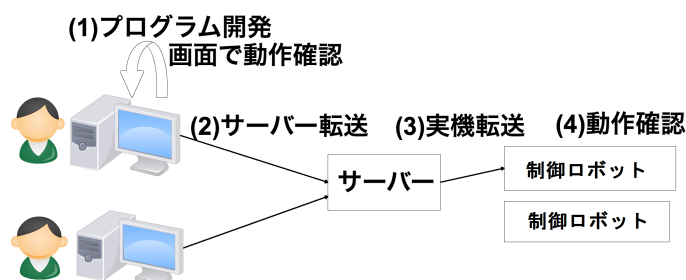


図 7.1 制御教材を共有する学習システム

この学習環境を実現するためには、生徒の端末とサーバーでは、それぞれ次のような処理が必要となる。

生徒の端末では、次の処理が必要となる。

- プログラムの作成
- 画面での動作確認
- サーバーへのプログラム転送

サーバーでは、次の処理が必要となる。

- プログラムの受信と保持
- 端末から送られたプログラムの待ち行列の管理
- 実機 (制御ロボット) ごとの補正
- 実機 (制御ロボット) への転送

そして、上記の処理をするためには、次の機能を実装する必要がある。

- 端末におけるシミュレーション機能
- サーバーへのプログラム転送機能
- 実機 (制御ロボット) へのプログラム転送機能
- 実機 (制御ロボット) の個体差をなくすキャリブレーション機能

以下の節では、これらの機能の実装について説明する。

7.5 システムの実装

7.5.1 システムの概要

プログラム言語は、ドリトル [97] を使用した。ドリトルは教育用に開発された言語であり、Windows、Mac OSX、Linuxなどで動作可能である。プログラムを日本語によるオブジェクト指向で記述できる特徴を持ち、小中学校から大学までの幅広い授業で利用されている。グラフィックスなどの画面内のプログラムに加え、ネットワークでの通信やロボットなどの外部機器制御が可能である。

制御教材には、ミュウロボを使用した [98]。図 7.2 に示すミュウロボは車型の自律型の制御ロボット教材であり、中学から大学までの制御の授業で利用されている [82]。左右の車輪に DC モーターが組み込まれ、このモーターを制御することで、前進、後退、左右の回転の動作をすることができる。基板には、CPU として PIC(16F688) が搭載されており、255 バイトの命令を格納できる*2。作成したプログラムをコンピュータからシリアルケーブルを使い、実機のメモリに転送することで、自律型の制御ロボットとして動作する。センサとしては、触覚センサ (タッチセンサ)、赤外線センサ、距離センサ等を取りつけることができ、計測値を使ったフィードバック制御が可能である。

ドリトルは標準でミュウロボに対応しており、記述されたプログラムを制御教材に合わせた命令コードにコンパイルし、実機に転送できる。図 7.3 に標準のドリトルでの端末側の構成を示す。ミュウロボの命令コードは、命令 1 バイト + パラメータ (0 から 2 バイト)

*2 今回は 255 バイトを格納できる機種を使用した。127 バイトや約 2K バイトの機種も存在する。

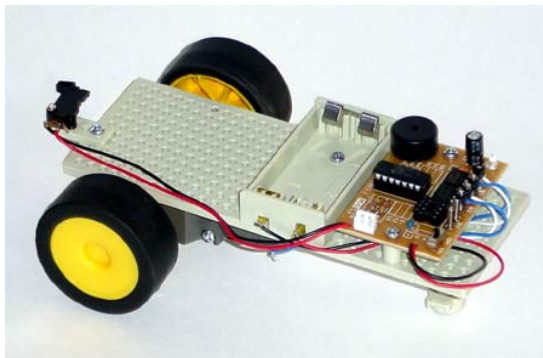


図 7.2 使用した制御ロボット教材「ミュウロボ」

からなるバイトコード (BC) である。制御はアンカーによるジャンプと、ブロック呼び出しと呼ばれるサブルーチン呼び出しを利用する。生成したバイトコードは実機に転送し、自律的な動作を行うことができる。



図 7.3 標準のドリトルでのコンパイル実行

7.5.2 端末でのシミュレーション機能

図 7.4 に端末側の構成図を示す。ドリトルは標準でミュウロボに対応しており、記述されたプログラムを制御ロボット教材に合わせた命令コードにコンパイルし、実機に転送する。ミュウロボの命令コードは、命令 1 バイト + パラメータ (0 から 2 バイト) からなるバイトコードである。制御はアンカーによるジャンプとブロック呼び出しと呼ばれるサブルーチン呼び出しを利用する。

今回は、コンパイルされたバイトコードを解釈するインタプリタを開発し、画面上でロボットに見立てたキャラクタを移動して実行することで、画面シミュレーションを実現した。

インタプリタはドリトル言語で実装した。配列に格納したバイトコードを 1 バイトずつ解釈し、1 パス目でジャンプテーブルを作成し、2 パス目で命令を実行する 2 パス方式で動作する。

画面シミュレーション機能は、学習者がプログラムを作成した後、実機を動作させる前

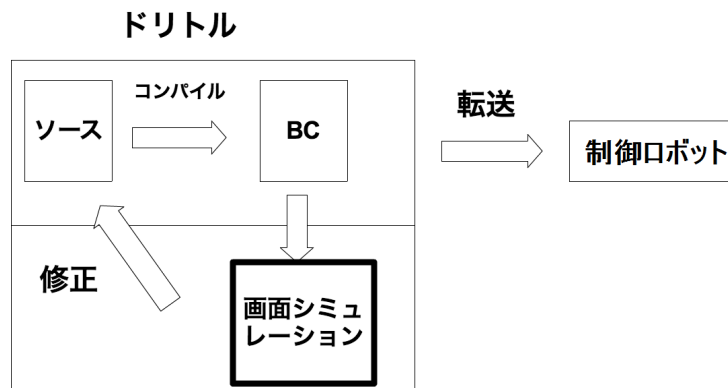


図 7.4 端末での画面シミュレーション機能の実装

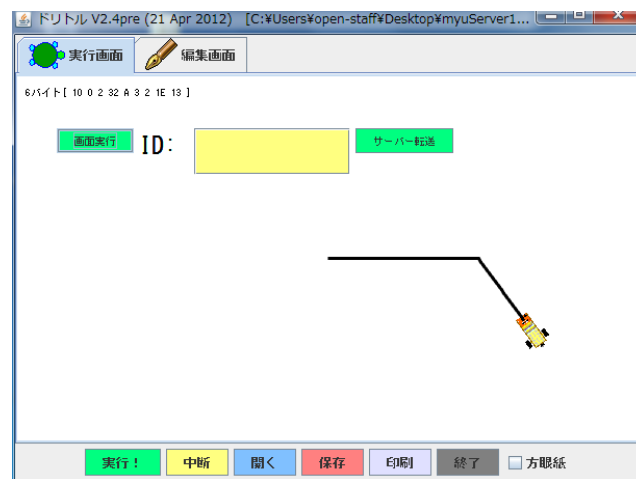


図 7.5 端末での画面シミュレーション

に画面上で動作確認を行うために使用する。シーケンス制御の課題を考えた場合、移動する距離や角度は実機と近い動作にしておく必要がある。今回は複数台の実機で単位時間あたりに移動する距離や回転する角度を測定し、標準的な動作を行うようにシミュレーションのパラメータを調整した。

7.5.3 サーバーへのプログラム転送機能

ドリトルは標準でクライアント・サーバーの通信をサポートしており、サーバー上の変数領域をクライアントから読み書きすることが可能である。今回はこの機能を活用し、クライアントでプログラムからコンパイルされたバイトコードの入った配列を、サーバー上の変数領域に格納するようにした。格納した変数名をユーザーごとの ID（ログイン名または端末の IP アドレス）とすることで、ユーザーを識別できるようにした。

表 7.1 に格納するバイトコードの例を、表 7.2 にミュウロボのバイトコードの命令の一部を示す。

表 7.1 バイトコードの格納例

ユーザー ID	バイトコード
wada	10 0 2 A A 5 8 A 13
nakano	10 0 2 F B 5 2 A 13

表 7.2 バイトコードの命令の例

命令	使用例	説明
2	2 A	「前進 10」を実行する
8	8 1E	「後退 30」を実行する
A	A 5	「右回り 5」を実行する
B	B 14	「左回り 20」を実行する
53	53 A	飛び先 (10) を指定する
54	54 A	指定した飛び先 (10) に飛ぶ

7.5.4 実機へのプログラム転送機能

図 7.6 にサーバーの画面を示す。サーバーの画面には、クライアントから転送されたプログラムのリストが表示される。学習者は画面のリストから選択または ID を入力することで、プログラムを実機に転送できる。



図 7.6 サーバー画面

今回提案する環境では、サーバーに IC コードリーダーを接続し、ログイン名をバーコード表示したカードから取得するようにした。この工夫により、学習者が他人のプログラムを誤って選択してしまうミスを防ぎ、スムーズな実習を行うことができるようにした。

7.5.5 個体差をなくすキャリブレーション機能

実機の個体差をなくすためのキャリブレーション機能をサーバー側に実装した。端末から送られてきたバイトコードの引数にあたる部分に、補正係数を掛ける形で補正した。補正係数は実機ごとに異なるため、すべての実機の動作距離と回転角度を測定し、補正係数を割り出している。共有する制御ロボットには番号がつけてあり、その番号ごとに補正係数を変更して制御ロボットに出力されるようにしている。

7.6 授業での評価

7.6.1 実施した授業

大学で実施された中学生向けセミナーにおいて、開発した学習システムの評価実験を行った。対象は、一般公募で集まった中学生 15 名 (1 年 7 名、2 年 6 名、3 年 2 名) である。実験方法は、この 15 名を無作為に 2 つのグループ (A 8 名、B 7 名) に分け、1 人 1 台の制御教材を使用して学習を進める個人学習の環境 (個人環境) と今回開発したネットワークを利用して制御教材を共有する学習環境 (共有環境) の両方を用意し、比較実験をした。また、2 つのグループは、両方の環境が体験できるように、前半の実習と後半の実習で使用する環境を入れ替えた。共有環境では、サーバーを 1 台、制御ロボット (ミュウロボ) を 3 台使用した。また、課題のコースは、10 コース以上用意し、実機でコースを試すための待ち行列はできないようにした。

午前中はドリトルを使ったグラフィックスを中心とする基本的なプログラミング学習、午後はミュウロボを使った計測・制御学習を行った。

午後の授業の展開を次に示す。

- (1) 操作説明 (50 分): 制御命令、転送方法の説明
- (2) 実習 1(50 分): 課題 1 A グループは個人環境、B グループは共有環境
- (3) 実施 2(50 分): 課題 2 A グループは共有環境、B グループは個人環境

学習する課題としては、次にあげる 2 種類のものを用意した。

課題 1: 柱状の障害物の周囲を (右回りで) 回転するプログラム

課題2： 2つの柱状の障害物を(左回りで)8の字に回るプログラム

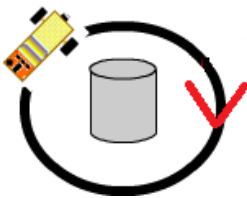


図 7.7 課題1の例

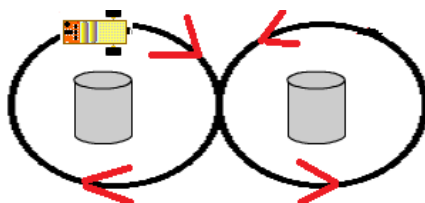


図 7.8 課題2の例

課題1は、前進と回転を組み合わせて障害物を回る課題である。前進と回転の時間を厳密に設定しなくても、周回することは可能である。課題2は、同じ方向の回転だけでなく、反対方向の回転も必要な課題である。

7.6.2 授業の結果

課題が達成されたかどうかの判断は、TA(ティーチングアシスタント)の立ち会いの下で、ミュウロボをコース上で走行させ、与えられた条件の通りに走行するかをTAが判定する形で行った。TAを複数配置し、TAの立ち会いを待つ生徒がでないように配慮した。

それぞれの課題に対する達成割合を表7.3に示す。課題1については、個人環境では8名全員が達成できたが、共有環境では5名が達成でき、2名は達成できなかった。達成できなかった2名は、実機でのコース試行をそれぞれ3回は実施している。個人環境での最短の達成者は22分、最長で30分、課題達成者8名の平均は26分であった。共有環境では、最短で16分、最長で40分、課題達成者5名の平均は27分であった。

課題達成者の実機での試行回数を表7.4に示す。課題1については、個人環境では最小2回、最大15回、課題合格者の平均試行回数は6.0回であった。共有環境においては、最小1回、最大5回、課題合格者の平均試行回数は2.2回となった。課題2については、個人環境の合格者4名の平均試行回数は13.5回で、共有環境の合格者の試行試行回数は6回であった。個人環境における試行回数の少ない生徒は、実際にコースで試行する前に実

機を自分の座席付近で動作させてからコースを使っていたため、実際に実機を動作させた回数はもっと多いと考えられる。共有環境においては、手元に実機がないため、試行回数分だけの実機走行である。

課題 2 は今までの環境をそれぞれが交代して取り組んだ学習である。課題 2 の達成者は、個人環境では 7 名中 3 名、共有環境では 8 名中 3 名であった。課題達成者の実機での平均試行回数は個人環境が 12.7 回、共有環境が 5.7 回であった。課題達成までの所要時間の平均は、個人環境で 27 分、共有環境で 34 分であった。

表 7.3 課題の達成割合 (達成者/全体人数)

グループ	環境	課題 1	環境	課題 2
A	個人	8/8	共有	3/8
B	共有	5/7	個人	3/7

表 7.4 実機での平均試行回数 (課題達成者のみ)

グループ	環境	課題 1	環境	課題 2
A	個人	6.0	共有	5.7
B	共有	2.2	個人	12.7

7.6.3 授業の考察

課題の達成割合から、開発した学習システムの有効性を考察する。

課題 2 については、個人環境も共有環境もほぼ同じ達成割合である。しかし、課題 1 については、個人環境では全員が達成できているにもかかわらず、共有環境では 2 名の生徒が達成できなかった。共有環境で課題 1 が達成できなかった生徒 2 名を詳しく調べた。片方の生徒は、後半の実習の個人環境でも課題を達成することができなかった生徒であり、どちらの環境においても課題を達成できなかった生徒である。もう一方の生徒は、個人環境の課題では最も長い時間の 42 分もかかって課題 2 を達成している生徒であることから、課題 1 に関しても時間さえあれば達成できた可能性があると思われる。開発した制御ロボット教材を共有する共有環境は、1 人 1 台の制御ロボット教材を使用する個人環境と同等の学習達成率があり、中学生が使用することは可能であると考えられる。また、複数の教員による生徒の観察より、共有環境において、サーバーへのプログラムの転送、サーバーからの制御ロボットへのプログラムの転送において、問題なく使用する様子が観

察されており、本システムが中学生にとって適切に使用できるシステムであることを確認した。

しかし、比較的やさしい課題1に対して共有環境の一部の生徒が達成できなかった。これは、時間が足らなかったことが原因とも考えられるが、見方を変えるとシミュレータを使用しているため、シミュレータと実機の動きを結びつけて考えることが、中学生にとっては難しく、慣れるまでに時間がかかったとも考えられる。共有環境では作ったプログラムをサーバーに転送し、サーバーで自分のプログラムを実機に転送するという一連の流れを理解する必要があり、個人環境に比べてさらに多くの作業をする必要がある。このことは、共有環境ではシミュレータで動きを確認するため、個人環境の実機での動作確認に比べ、時間が短縮されるという予想に反して、共有環境の方が時間が多くかかっていたことから理解できる。共有環境では、実機への試行回数は個人環境の半分以下であるにもかかわらず、共有環境の方が課題達成までの平均時間が個人環境よりも多くかかっている。

実機での平均試行回数より、制御ロボット教材を共有する学習環境では、1人1台の学習環境に比べて、実際に実機を使ってコースで試行する回数がおおよそ1/2以下になることがわかった。このことは、コースの待ち行列の問題に対しても有効な解決法であることを示している。

今回の実験授業では、学習者8名に対して、サーバー1台、制御ロボット3台で行った。40人程度の授業であれば、実機は10台程度、2,3台のサーバーを用意すれば授業が可能であると考えられる。

7.7 まとめ

本章では、課題「制御ロボットは故障やトラブルが多いため、トラブルの発生を少なくする工夫が必要である」を解決する方法として、制御教材を共有する学習システムを設計し、実際に中学生の授業で評価した。その結果、1人1台の制御ロボットを使う環境と同等の学習効果を得ながら、使用する制御ロボットの台数を少なくすることができた。使用する制御ロボットが少ないということは、指導者の負担だけでなく、経済的な負担も軽減される。少数の教材を集中的に管理することで、手間を減らし安定した授業運営が行えることにつながる。また、学習者はシミュレータを使うことにより、シミュレータの動きとプログラムを見ながらの学習になるため、実機を何度も走らせながらの学習よりも、プログラム作成に集中できる環境であるともいえる。この環境は一般的な開発環境に近い形となっており、一般的な開発環境を体験的に学習することができるシステムにもなっている。

提案したシステムは、ネットワークを利用する点に特徴がある。今回は、教材を共有することを目的としたが、プログラムの共有や共同制作に発展させることが可能なシステム

である。また、仕組みを応用することで、ネットワークや情報システムの学習が可能である。技術・家庭科(技術分野)の学習内容には、ネットワークに関する学習も含まれており、ネットワークの仕組みを理解するための実習としても利用できる。さらに、ICカードリーダーやバーコードリーダーなどの入力装置の仕組みや利用を考えることで、POSシステムなど身近な情報システムの学習としても利用できると考えられる。

第8章

結論

本論文では、日本の学校教育における課題、技術教育の課題、情報教育の課題を踏まえ、中等教育を対象にした制御機器の仕組みを理解するための情報教育教材を提案した。まず、制御機器の仕組みを理解するための前提となる情報科学の基礎概念やプログラミングが、中学生に理解可能であるかを確認するとともに、効果的な教育手法を提案した。次に、制御教材の調査および授業より計測・制御学習における課題を明らかにした。課題を解決する方法として、状態遷移概念による制御プログラミングと教材を共有する学習システムを提案した。

第1章では、日本の学校教育における学習意欲や思考力の問題、理数離れ等の社会問題、技術教育に生産技術教育の問題、情報教育での操作教育中心の問題より、制御機器の仕組みを理解する必要性、「情報の科学的な理解」の必要性を考察した。また、情報教育についての制度的な問題を含め、現状の日本の情報教育を世界の情報教育の流れと比較して分析した。

第2章では、情報教育の課題として明らかになった「情報の科学的な理解」を深める学習について、情報科学の学習、プログラミング学習、計測・制御学習の3つの学習を取り上げ、それぞれの課題を考察した。情報科学の学習では、高校における一般的な授業例から望まれる指導法を考察した。プログラミング学習では、教育用プログラミング言語を考察し、課題を検討した。計測・制御学習では、望まれる教材の分析を行い、教材や適切な制御ソフトの研究の必要性を議論した。

第3章では、情報科学の学習として「コンピュータサイエンス アンプラグド」を使った体験的な教育手法による情報科学の授業を提案し、学習効果について検討した。実施後のアンケート及び評価テストより、授業を通してコンピュータに興味・関心を持つ生徒が増え、コンピュータの仕組みを科学的に理解する基礎的な力を身につけることができることを確認した。適切な教材を使うことにより、情報科学の基礎概念が中学生にも理解可能であることが明らかになった。

第4章では、プログラミング学習としてプログラミング言語「ドリトル」を使った授業を提案した。グラフィックスを中心とした生徒作品より、自分の考えや工夫を取り入れた作品を制作していることがわかり、自分の考えを入れたプログラミングが中学生に可能であることを確認した。学習効果を検証した結果、アンケートや検証テストより、ソフトウェアの仕組みを理解するだけでなく、図形や関数の理解に関する問題に対する学習効果もあることが明らかになった。

第5章では、情報科学とプログラミングの学習を基礎に、制御機器の仕組みを理解するための計測・制御学習について検討した。市販されている自律型の制御ロボット教材を調査し、教材の評価基準を作成した。これらの教材を使った授業を実施した結果、学習指導要領のねらいを達成し、学習を通して身近にある制御機器の仕組みに関する理解が深まることが明らかになった。同時に、「プログラムを作るときに、考えを整理しやすい制御ソフトが必要である」「制御ロボットは故障やトラブルが多いため、トラブルの発生を少なくする工夫が必要である」という二つの課題が明らかになった。

第6章では、第5章で明らかになった一つ目の課題を解決するために、状態遷移の考え方に基づくプログラミング方法を提案した。教育用のプログラミング言語であるスクイー ク Etoys をロボット制御に対応させ、状態遷移の考え方を取り入れたプログラミングができるようにした制御ソフトウェア Rtoys で実験授業を行った。課題の達成率とプログラム作品の分析より、市販教材に使われている手続き型のプログラミングに比べ、状態遷移の考え方に基づく方法は、考えを整理でき、複雑な動きをするプログラムが記述できる有効な方法であることを確認した。

第7章では、第5章で明らかになった二つ目の課題を解決するために、制御教材を複数の生徒で共有する学習システムを提案した。開発したシステムは個人で作成したプログラムをシミュレータで確認した後、サーバーに転送し、サーバーから共有する制御ロボットに転送して動作確認をする。使用する制御ロボットの台数を少なくすることができ、教師の負担が軽減されるだけでなく、一般的な開発環境を体験的に学習することができるシステムになっている。実験授業において、1人1台の環境で学習する方法と同程度の学習効果があることが確認できた。

本研究は、中等教育における制御機器の仕組みを理解するための前提を明らかにし、計測・制御学習の課題を示し、解決法の一つとして状態遷移による制御プログラミングと教材を共有する学習環境を提案した。中等教育における制御教育だけでなく、初等教育や高等教育における情報教育にも寄与できるものとする。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、入学以来御指導をいただいている大阪電気通信大学 兼宗進教授に御助言と御指導をいただきました。また、大阪電気通信大学 松村雅史教授、南部雅幸教授には、本論文の完成にあたり御教示、御助言をいただきました。感謝いたします。

中学校の技術・家庭科の教員になり 29 年になります。教員になった頃は、日々の生徒への指導に追われ、研究など遠い存在でした。教員生活が大きく変わったのは、1995 年に三重大学教育学部附属中学校に赴任してからでした。授業で使用する教材で困っていた時、プログラミングソフト「ロゴ坊」を提供し、授業をサポートしていただいたのが兼宗先生でした。以来、多方面で御指導をいただき、18 年になります。最初の頃は授業のサポートが中心でしたが、その後、研究の世界に誘っていただきました。研究の方法や考え方を丁寧にわかりやすく教えていただきました。今の自分があるのも、兼宗先生のおかげと感謝しております。

研究の世界に入ってから、たくさんの方々に支えていただきました。とくに、筑波大学大学院 久野靖教授には、中学校の教員の世界では書くことのない学術論文の書き方を、兼宗先生とともに一から丁寧に指導していただきました。どのように分析するか、どのように考察するかなど、たくさんのことを教えていただきました。また、イーテキスト研究所代表 原久太郎氏には、たくさんの研究の場を提供していただきました。いろいろな方との出会いを通して、研究のための人とのつながりができました。深く感謝いたします。

本論文の第 6 章の研究は、高麗大学大学院博士課程 青木浩幸氏の研究成果をもとに検証を進めました。第 7 章の研究は、大阪電気通信大学 中野由章氏に協力をいただきました。研究に関して、御示唆をいただきました高麗大学 李元揆教授、静岡大学 紅林秀治教授、大阪学院大学 西田知博准教授、愛知教育大学 鎌田敏之准教授に感謝いたします。また、神奈川県立秦野総合高等学校 間辺広樹先生、神奈川県立相模向陽館高等学校 保福やよい先生、大阪府立寝屋川高等学校 野部緑先生にもコメントをいただきました。検証授業におきましては、松阪市立鎌田中学校、松阪市立飯南中学校、松阪市立飯高東中学校の生徒の皆さんに協力をいただきました。授業だけでなく、アンケートや検証テストにも積極的に協力していただいたおかげで成果をあげることができました。感謝いたします。

最後になりましたが、社会人大学院生ということで、平日は学校の職務に、夜間と休日は研究に、という生活が続けながら本論文を完成できたのは、常日頃より支援・応援いただきました職場の方々や家族のおかげです。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 文部科学省: 中学校学習指導要領, 1998.
- [2] 国立教育政策研究所編: 生きるための知識と技能 2, OECD 生徒の学習到達度調査/PISA2003 年調査国際結果報告書, 2004.
- [3] 国立教育政策研究所編: 生きるための知識と技能 3, OECD 生徒の学習到達度調査/PISA2006 年調査国際結果報告書, 2007.
- [4] 文部科学省: 中学校学習指導要領, 2008.
- [5] 藤田りか子: 知識ゼロからのフィンランド教育, 幻冬舎, 2009.
- [6] 鈴木誠: フィンランドの教員養成, 日本理科教育学会全国大会要項, pp. 52, 2010.
- [7] 大橋ゆか子: 小学校教員養成課程における理科教育のあり方, 文教大学教育学部紀要, Vol. 40, pp. 75–80, 2006.
- [8] 日本産業技術教育学会: 技術教育の理解と推進のために, 2003.
http://www.soc.nii.ac.jp/jste/oldsite/Site/qi_fa_huo_dong_files/sheet1.pdf
- [9] 日本産業技術教育学会: 今、世界の技術教育は?, 2006.
http://www.soc.nii.ac.jp/jste/oldsite/Site/qi_fa_huo_dong_files/sheet2.pdf
- [10] 国立教育政策研究所: 技術科教育のカリキュラムの改善に関する研究 – 歴史変遷と国際比較 –, 「教科等の構成と開発に関する調査研究」研究成果報告書 (6) , 2001.
http://www.nier.go.jp/kiso/kyouka/PDF/report_06.pdf
- [11] 文部科学省: 中学校学習指導要領解説, 技術・家庭編, 2008.
- [12] 坂口謙一: 生産技術教育を担う教科へ接近した技術科, 技術教室 Vol.2009, No.2, 農山漁村文化協会, 2009.
- [13] 国立国会図書館: 高等学校における情報科の現状と課題, ISSUE BRIEF, No. 604, 2008.
- [14] 中央教育審議会: 幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について (答申) pp.113, 2008.
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/news/20080117.pdf
- [15] コンピュータ教育開発センター: 平成 20 年度「高等学校等における情報教育の実態

- に関する調査」, 2008.
<http://www.cec.or.jp/ict/hsjoho.html>
- [16] 広道丈人: 中学校における情報教育の在り方ーコンピュータリテラシーの向上をめざしてー, 滋賀県総合教育センター研究紀要, No.43, pp.181-196, 2001.
- [17] 宮崎英一: Visual Basic 上における簡易型 BASIC 言語の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.48, No.1, pp.11-17, 2006.
- [18] 文部科学省: 小学校学習指導要領, 2008.
- [19] 文部科学省: 高等学校学習指導要領, 2009.
- [20] 久野靖: 初等中等教育における一般情報教育, メディア教育研究 2010, Vol.1, No.2, S1 – S10, 2010.
- [21] 李元揆: 変わりつつある情報教育, 6. 海外の情報教育の動向, 情報処理学会誌, Vol.46, No.11, pp.1297-1301, 2007.
- [22] ACM K-12 Task Force, A Model Curriculum for K-12 Computer Science, 2nd ed., 2003.
<http://csta.acm.org/Curriculum/sub/CurrFiles/K-12ModelCurr2ndEd.pdf>
- [23] 間辺広樹: 福祉の学校における情報教育(情報 A・情報 C)ーキーワードは Digital・Web・Flashー, 日本文教出版 ICT・Education, No.27, pp.14-17, 2005.
- [24] 間辺広樹: おもしろ情報学習ノート, 日本文教出版, 2008.
- [25] 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進: 「コンピュータを使わない情報教育」の学習法とそのデジタルコンテンツに関する研究, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教育研究会報告, 2009(15), pp.179-184, 2009.
- [26] Tim Bell, Jason Alexander, Isaac Freeman, Mick Grimley: Computer Science Unplugged: school students doing real computing without computers, The NZ Journal of applied computing and information technology, Vol.13, No.1, pp.20-29, 2009.
- [27] Dave Baum, Michael Gasperi, Ralph Hempel, and Luis Villa: Extreme MIND-STORMS: an advanced guide to LEGO MINDSTORMS. Technology in action series. Apress, 2000.
- [28] 金塚茉莉子, 山本利一, 本村猛能: プログラミング技術習得のための学習過程の提案: 大学生による小学生を対象としたプログラミング指導, 日本教育情報学会学会誌, Vol.24, No.4, pp.37-43, 2009.
- [29] 山菅和良, 嶋田彰子: 新しい教材と学ぶ楽しさを実感できる授業の工夫ーレゴ・マインドストームロボラボを利用した授業実践を通してー, 宇大附属中研究論集, Vol.52, pp.66-75, 2004.
- [30] 古平真一郎, 柴崎寿, 石島隆志 他: レゴマインドストームを用いたプログラム学習に

- 対する一考察 (工学教育・教材開発), 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集, pp.127-128, 2006.
- [31] 小椿清隆, 石井久隆, 吉野健一: 教育用レゴマインドストーム NXT を活用した科学館における学習プログラムの開発, 千葉県立現代産業科学館研究報告, Vol.15, 2009.
- [32] 中島康博, 宮川秀俊: 技術科教育における創造性の育成に関する基礎的研究 (I) – プログラミングと表計算・データベースの学習についての一考察 –, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 36, No.3, pp.185-191, 1994.
- [33] 山口晴久: プログラミング学習要因の構造的関係, 日本産業技術教育学会誌, Vol.40, No.4, pp.195-202, 1998.
- [34] John G. Kemeny and Thomas E. Kurtz : Basic programming, John Wiley & Sons, 1967.
- [35] 白石和夫: Windows 環境における JIS Full BASIC の実装. 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.SIG9(PRO8), pp.52-61, 2000.
- [36] Seymour Papert: Mindstorms : children, computers, and powerful ideas. Basic Books, 1980.
- [37] Luca Cardelli and Rob Pike: Squeak : a language for communicating with mice, Proceedings of SIGGRAPH, Vol.19, No.3, pp.199-204, July 1985.
- [38] Squeak Etoys: <http://www.squeakland.org/>
- [39] Scratch: <http://scratch.mit.edu/>
- [40] 澤本和憲, 菊地佑太, 山崎謙介 他: 初等教育における創造的情報教育の授業デザイン – Squeak etoys による授業実践 –, 情報処理学会, 2006-CE-83(11), 2006.
- [41] 下村勉, 荻田弘樹: 教育用ソフトウェアスクイークを用いた創造性教育の実践 – 小学校と連携して –, 三重大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, Vol.29, pp.55-60, 2009.
- [42] James Gosling, Bill Joy, and Guy Steele: The Java Language Specification, Addison-Wesley, 1996.
- [43] Bjarne Stroustrup: The C++ programming language, Addison-Wesley, 1986.
- [44] 文部科学省: 高等学校学習指導要領, 第 10 節 情報, 1999.
- [45] 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説, 情報編, 2010.
- [46] 坂口喜啓, 榎見和孝: ポケットコンピュータを用いたモータ制御用教材の活用例, 日本産業技術教育学会誌, Vol.31, No.4, pp.261-265, 1989.
- [47] 宮倉禎典, 津田政明, 金澤信利, 廣瀬幸雄, 村田昭治: 制御モデルを用いた情報基礎教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.32, No.4, pp.263-267, 1990.
- [48] 杵淵信, 安孫子啓: RS-232C を利用したシーケンス制御の教具化, 日本産業技術教育学会誌, Vol.33, No.1, pp.47-72, 1991.

- [49] 亀山寛: コンピュータ制御を取り入れた情報基礎教育試案, 日本産業技術教育学会誌, Vol.33, No.1, pp.59-68, 1991.
- [50] 大倉宏之: 制御学習のためのステッピングモータ教具の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.33, No.2, pp.127-132, 1991.
- [51] 菅野徳明, 杵淵信: ディスプレイを利用した制御用シリアルインターフェースの開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.34, No.1, pp.37-42, 1992.
- [52] 大倉宏之, 須見尚文, 上田整: 制御学習用ロボットアームとプリンタインターフェースを利用した制御システムの開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.34, No.3, pp.151-157, 1992.
- [53] 亀山寛: プリンタインターフェースを利用した制御教具の検討, 日本産業技術教育学会誌, Vol.35, No.3, pp.185-198, 1993.
- [54] 川崎直哉, 吉木徹: サーボ制御を用いた木琴自動演奏システムの開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.36, No.4, pp.269-275, 1994.
- [55] 大倉宏之, 上田整, 谷野剛: 多関節形板書ロボットアームの開発とその制御法について, 日本産業技術教育学会誌, Vol.37, No.1, pp.1-6, 1995.
- [56] 村尾卓爾, 山崎博司: 気化器を題材にしたコンピュータ制御教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.35, No.2, pp.97-101, 1993.
- [57] 佐藤博, 入蔵靖彦, 渡辺武: センサとコンピュータにより制御された機械を教えるための教材開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.36, No.2, pp.119-126, 1994.
- [58] 大倉宏之, 小島洋, 須見尚文: 制御学習 NC ルータ盤と自動 NC プログラミングシステムの開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.38, No.4, pp.263-269, 1996.
- [59] 村尾卓爾, 大内信顕: 材料加工を題材としたコンピュータ制御教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.36, No.3, pp.215-221, 1994.
- [60] 森慎之助, 山本 透: 融合教材”インテリジェントハウス”を使用したプログラムと計測・制御学習, 日本産業技術教育学会誌, Vol.49, No.4, pp.323-330, 2007.
- [61] 紅林秀治, 井上修次, 江口啓, 鎌田敏之, 青木浩幸, 兼宗 進: 自律型 3 モータ制御用ロボット教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol.51, No.1, pp.7-16, 2009.
- [62] 嶋田彰子, 山菅和良, 針谷安男, 鈴木道義: 自律型ロボット教材を活用したプログラムと計測・制御学習に関する授業方法の開発と評価, 日本産業技術教育学会誌, Vol.49, No.4, pp.297-305, 2007.
- [63] 上田学, 橋本孝之: グラフィックスのプログラミングを中心とした「情報基礎」教育, 日本産業技術教育学会誌, Vol.31, No.3, pp.197-202, 1989.
- [64] 奥西邦彦, 松田純雄, 富山朝司, 結城守利: グラフィックスによる簡単なプログラムの作成を中心とした「情報基礎」の指導, 日本産業技術教育学会誌, Vol.35, No.1, pp.39-45, 1993.

-
- [65] 林秀昭, 八高隆雄: 日本語 LOGO による「情報基礎」のためのプログラム実行学習の
実践, 日本産業技術教育学会誌, Vol.35, No.1, pp.57-60, 1993.
- [66] 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井眞吾, 久野靖: 学校教育用オブジェクト指向
言語「ドリトル」の設計と実装, 情報処理学会論文誌プログラミング, Vol. 42, No.
SIG11(PRO12), pp.78-90, 2001.
- [67] Yukio Idosaka, Hiroto Ashikaga, Shuji Kurebayashi, Toshiyuki Kamada,
Susumu Kanemune, Yasushi Kuno: Positive Side Effects of Programming Classes
– Especially on Thinking Ability and Mathematics –, The 3rd International Con-
ference ISSEP 2008, pp. 87-96, 2008.
- [68] 井戸坂幸男, 足利裕人, 紅林秀治, 鎌田敏之, 兼宗進, 久野靖: プログラミング学習の
他教科への波及効果 ～数学と考える力を対象とした調査と検証計画～, 情報処理学
会, 情報教育シンポジウム (SSS2006), pp.89-96, 2006.
- [69] 佐藤和浩, 紅林秀治, 青木浩幸, 西ヶ谷浩史, 井戸坂幸男, 鎌田敏之, 原久太郎, 久野靖,
兼宗進: IT クラフトマンシップ ～小中学生によるドリトルプログラミング～, 情報
処理学会, コンピュータと教育研究会, CE(83), 2006.
- [70] 紅林秀治, 兼宗進: プログラミング学習について –ロボット制御の学習とプログラ
ミング学習の比較から–, 日本産業技術教育学会, 技術教育分科会 技術教育の研究,
Vol.11, pp.7-8, 2005.
- [71] 紅林秀治, 兼宗進: プログラミング学習についての一考察: ロボット制御のプログラ
ミング学習とソフトウェア作りのプログラミング学習を比較して, 情報処理学会, 情
報教育シンポジウム (SSS2004), 2004.
- [72] 井戸坂幸男, 足利裕人, 紅林秀治, 鎌田敏之, 兼宗進, 久野靖: プログラミング学習の
他教科への波及効果 (2) ～数学と考える力を対象とした調査と検証計画～, 情報処理
学会, コンピュータと教育研究会, CE(88), pp.89-96, 2007.
- [73] 紅林秀治, 江口啓, 兼宗進: 制御プログラム学習における中学生の学習効果, 日本産業
技術教育学会誌, Vol.51, No.4, pp.301-309, 2009.
- [74] 紅林秀治, 青木浩幸, 室伏春樹, 江口啓: 自律型 3 モーター制御ロボット教材による学
習効果の検討, 日本産業技術教育学会誌, Vol.51, No.3, pp.195-202, 2009.
- [75] 古平真一郎, 坂本弘志, 針谷安男: 自律型ロボット教材を用いた「プログラムによ
る計測・制御」学習の授業実践に基づく学習効果の検証, 日本産業技術教育学会誌,
Vol.51, No.4, pp.285-292, 2009.
- [76] 針谷安男, 飯塚真弘, 山菅和良: プログラムによる計測・制御学習の授業実践とその
学習効果の検証, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 52, No. 3, pp. 205-214, 2010.
- [77] Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged - An
enrichment and extension program for primary-aged children, 2006.

- http://csunplugged.org/sites/default/files/activity_pdfs_full/CS_Unplugged-en-10.2006.pdf
- [78] 兼宗進監訳: コンピュータを使わない情報教育 アンプラグドコンピュータサイエンス, イーテキスト研究所, 2007.
<http://www.etext.jp>
- [79] 井戸坂幸男: コンピュータを使わない情報教育実践の試み, 日本産業技術教育学会誌, Vol.50, No.4, pp.235-242, 2008.
- [80] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野靖: 初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. SIG13(PRO18), pp.58-71, 2003.
- [81] 井戸坂幸男, 久野靖, 兼宗進: コンピュータサイエンスアンプラグドに基づく授業方法改善の試みとその実践, 日本産業技術教育学会誌, Vol.53, No.2, pp.115-123, 2011.
- [82] Shuji Kurebayashi, Hiroyuki Aoki, Toshiyuki Kamada, Susumu Kanemune, Yasushi Kuno: Proposal for Teaching Manufacturing and Control Programming Using Autonomous Mobile Robots with an Arm, LNCS Vol.5090, pp.75-86, 2008.
- [83] 稲川孝司: 車型ロボットによる問題解決学習 – アルゴリズムとフローチャートの学習を通して –, 日本文教出版, ICT Education, No.43, pp.21-25, 2010.
- [84] 井戸坂幸男, 久野靖, 兼宗進: 自律型ロボット教材の評価と授業, 日本産業技術教育学会誌, Vol.53, No.1, pp.9-16, 2011.
- [85] 伊藤陽介, 森誉範, 菊地章, 大泉計: 「プログラムと計測・制御」のためのロボット学習教材の開発と実践, 日本産業技術教育学会誌, Vol.49, No.3, pp.213-221, 2007.
- [86] 伊藤陽介, 石塚仁志, 大泉計, 菊地章: ロボカップジュニア・レスキューを題材とする情報技術学習の提案, 日本産業技術教育学会誌, Vol.50, No.2, pp.59-67, 2008.
- [87] 滝田啓司, 酒井充, 米田政明 他: オブジェクト指向と状態遷移モデルによるシーケンス制御用言語, 情報処理学会研究報告, 91-SE-83, pp.139-146, 1992.
- [88] 千田和範, 野口孝文, 梶原秀一 他: ロボットを用いた初心者のためのプログラミング教育, 電子情報通信学会技術研究報告 ET 教育工学, Vol.106, No.166, pp.21-24, 2006.
- [89] 岩本正敏, 水谷好成: ロボット教材を活用した情報基礎教育, 電子情報通信学会技術研究報告 ET 教育工学, Vol.101, No.309, pp.31-38, 2001.
- [90] Hiroyuki Aoki, DongHee Park, WonGyu Lee: Robot Programming with Squeak "Rtoys" – Connection between Drawing Worlds and the Real World, International Conference on Technology Education in the Asia Pacific Region Conference, pp. 390-398, 2009.
- [91] 井戸坂幸男, 青木浩幸, 李元揆, 久野靖, 兼宗進: 状態遷移概念を利用した制御プログ

- ラミングの学習効果, 日本産業技術教育学会誌, Vol.53, No.3, pp.179-187, 2011.
- [92] Hiroyuki Aoki, JaMee Kim, Yukio Idosaka, Toshiyuki Kamada, Susumu Kanemune, and WonGyu Lee: Development of State-Based Squeak and an Examination of Its Effect on Robot Programming Education, KSII Transactions on Internet and Information Systems Vol. 6, No.11, 2012.
- [93] 嶋田彰子, 柴崎寿, 山菅和良, 針谷安男: 技術科教育における自律型ロボット教材を用いた授業実践, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要 第 28 号, pp117-125, 2005.
- [94] 嶋田彰子, 山菅和良, 針谷安男, 鈴木道義: 自律型ロボット教材を活用したプログラムと計測・制御学習に関する授業方法の開発と評価, 日本産業技術教育学会誌, Vol.49, No.4, pp.297-305, 2007.
- [95] 吉澤大輔, 平野秀樹, 米川揮, 橋本政宏, 岩月正見: 工学教育用遠隔実験システムの開発と評価, 電子情報通信学会技術研究報告 ET 教育工学 104(534), 2004.
- [96] 吉田恵美, 山本茂樹, 西野洋介, 早川栄一: ロボットプログラミング学習支援環境の実現, 電子情報通信学会技術研究報告 ET 教育工学 103(536), pp.123-128, 2003.
- [97] 兼宗進, 久野靖: ドリトルで学ぶプログラミング, 第 2 版, イーテキスト研究所, 東京, 2011.
- [98] 紅林秀治, 青木浩幸: ドリトル, eBASIC による計測・制御とプログラミング, イーテキスト研究所, 東京, 2009.

関連発表

主論文

論文誌

1. 井戸坂幸男, 久野 靖, 兼宗 進: コンピュータサイエンスアンプラグドに基づく授業方法改善の試みとその実践, 日本産業技術教育学会誌, 第 53 巻, 第 2 号, pp.115-123, 2011.
2. 井戸坂幸男, 久野 靖, 兼宗 進: 自律型ロボット教材の評価と授業, 日本産業技術教育学会誌, 第 53 巻, 第 1 号, pp.9-16, 2011.
3. 井戸坂幸男, 青木 浩幸, 李 元揆, 久野 靖, 兼宗 進: 状態遷移概念を利用した制御プログラミングの学習効果, 日本産業技術教育学会誌, 第 53 巻, 第 3 号, pp.179-187, 2011.
4. Hiroyuki Aoki, JaMee Kim, Yukio Idosaka, Toshiyuki Kamada, Susumu Kanemune, and WonGyu Lee: Development of State-Based Squeak and an Examination of Its Effect on Robot Programming Education, KSII Transactions on Internet and Information Systems Vol.6, No.11, 2012.

国際会議

1. Yukio Idosaka, Hiroto Ashikaga, Shuji Kurebayashi, Toshiyuki Kamada, Susumu Kanemune, Yasushi Kuno: Positive Side Effects of Programming Classes - Especially on Thinking Ability and Mathematics - , The 3rd International Conference ISSEP 2008, pp.87-96, 2008.

参考論文

国際会議

1. Tomohiro Nishida, Yukio Idosaka, Yayoi Hofuku, Susumu Kanemune, Yasushi Kuno: New Methodology of Information Education with "Computer Science Unplugged", LNCS 5090, pp.241-252, 2008.
2. Tomohiro Nishida, Susumu Kanemune, Yukio Idosaka, Mitaro Namiki, Tim Bell, Yasushi Kuno: A CS Unplugged Design Pattern, SIGCSE 2009, The 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, 2009.

解説記事

1. 井戸坂幸男: コンピュータを使わない情報教育実践の試み, 日本産業技術教育学会誌, 第 50 巻, 第 4 号, pp.235-242, 2009.

口頭発表

1. 井戸坂幸男, 足利 裕人, 紅林 秀治, 鎌田 敏之, 兼宗 進, 久野 靖: プログラミング学習の他教科への波及効果 ～数学と考える力を対象とした調査と検証計画～, 情報処理学会 情報教育シンポジウム 論文集, pp.89-96, 2006.
2. 井戸坂幸男, 足利 裕人, 紅林 秀治, 鎌田 敏之, 兼宗 進, 久野 靖: プログラミング学習の他教科への波及効果 (2) ～数学と考える力を対象とした調査と検証報告～, 情報処理学会研究報告 CE-88, pp.127-134, 2007.
3. 井戸坂幸男, 保福やよい, 崔 淑敬, 鎌田 敏之, 紅林 秀治, 兼宗 進, 久野 靖: コンピュータを使わない情報教育実践の試みと課題, 第 25 回 日本産業技術教育学会東海支部 講演論文集, pp.130-139, 2007.
4. 井戸坂幸男, 兼宗 進, 久野 靖: 中学校におけるコンピュータを使わない情報教育 (アンプラグド) の評価, 情報処理学会研究報告 CE-93, pp.49-56, 2008.
5. 井戸坂幸男, 青木 浩幸, 兼宗 進, 久野 靖: コンピュータサイエンスアンプラグドの小学生向け実践の取り組み, 情報処理学会 情報教育シンポジウム 論文集, pp.25-31, 2008.
6. 井戸坂幸男, 保福やよい, 兼宗 進, 久野 靖: コンピュータを使わない情報教育実践の試みと課題 (2), 第 26 回 日本産業技術教育学会 東海支部講演論文集, pp.161-164,

- 2008.
7. 井戸坂幸男, 西田 知博, 兼宗 進, 久野 靖: 中学校におけるC Sアンプラグドの授業提案, 情報処理学会研究報告 CE-98, pp.163-170, 2009.
 8. 井戸坂幸男, 兼宗 進, 久野 靖: アンプラグドを使った情報の授業提案, 日本産業技術教育学会 第 52 回 全国大会講演要旨集, pp.45, 2009.
 9. 井戸坂幸男, 兼宗 進, 久野 靖: 中学校における自律制御ロボット教材の評価と授業, 第 27 回 日本産業技術教育学会 東海支部講演論文集, pp.13-16, 2009.
 10. 井戸坂幸男, 兼宗 進, 久野 靖: 中学校における自律型制御ロボット教材の評価と授業 ～新学習指導要領の「計測・制御」授業に向けて～, 情報処理学会研究報告 CE-103, No.22, 2010.
 11. 伊藤 敏, 井上 祥史, 井戸坂幸男, 兼宗 進, 香山 瑞恵, 二上 貴夫, 原 行人, 金 秉旭, 金 韓成, 權 大容, 李 元揆, 栗本 直人, 須浦 裕光, 布施 泉: 教育用ロボットを使った授業案の共創, 教育システム情報学会 第 35 回 全国大会講演要旨集, 2010.
 12. 井戸坂幸男, 青木 浩幸, 久野 靖, 兼宗 進: 状態遷移概念を利用した制御プログラミングの学習効果, 第 28 回 日本産業技術教育学会 東海支部講演論文集, pp.161-164, 2010.