

ロボット教材による論理的思考の育成に関する研究

井上春奈（長崎大学大学院教育学研究科）

藤本登（長崎大学教育学部）

河野考治（株式会社 JAPAN ROBOTECH）

小八重智史（宮崎大学教育学部）

概要

文部科学省は、2020年から小学校において「プログラミング教育」を必修化し、中学校ではその内容を充実させ、高等学校では共通必修科目「情報Ⅰ」を新設した。これに対して、大島等の各種調査によれば、教員はプログラミング教育の実施にあたり、その目的や内容に不安を抱えていることが明らかにされている。一方で、STEAM教育などの推進が求められる中で、プログラミング教育の重要性はより高まっているが、児童生徒のプログラミング的思考に関する課題把握は十分とは言い難い。本研究では、長崎大学で行われた小学生から高校生を対象にしたロボット教材を用いたプログラミング講座について、アンケート調査と事後テストの結果から、子ども達の論理的・プログラミング的思考の定着状況を調査した。その結果、小学生は日常生活の事象をプログラミング的思考で表現させることが重要であること、小学生に比べ中学生は論理的に課題解決を行う能力が高いが条件分岐のプログラミングに課題があること、高校生はプログラミング経験者と未経験者で論理的思考の定着状況に大きな差があること、小学校・中学校・高校ともに、条件分岐や学習した内容を応用してプログラムで表現することに困難さを感じていることが明らかになった。

Key Words：論理的思考，プログラミング的思考，ロボット教材，Arduino

1. 緒言

日本の課題の一つである人口の急減は、2065年に8千8百万人、高齢化率38.4%と推計され、少子高齢化による労働者不足が深刻化することが指摘されている¹⁾。また、PISAやTIMSSといった様々な学力調査の結果から、日本の子ども達には言葉・情報（データ）と向き合い、背景や意図を正しく読み取る力、判断・考察・批評したりする創造力が不足しているということが分かっている。つまり、物事を論理的に考えることや、考えや思いを自分の言葉や考えをもとにまとめ、表現する力、書く力や話す・聞く学力が小学校や中学校、高校の時に身につけていないことが課題として挙げられている²⁾。

これらを踏まえ、文部科学省は子ども達に求められている資質・能力を育成す

るために、2020年から小学校において「プログラミング教育」を必修化し、中学校ではその内容を充実させ、高校では共通必修科目「情報Ⅰ」を新設した。このように、文部科学省は、子ども達の発達段階に応じたプログラミング教育の実施により、その学びの中で情報リテラシーや論理的・プログラミング的思考力、問題解決力を養うことをねらっている。ここで、論理的思考力とは、道理や筋道に則って結論を導き、複雑な事柄をある考えに基づいて分かりやすく説明することができる能力である³⁾。また、プログラミング的思考力とは、自分外とする一連の活動を実現するために最適な動作の組合せを論理的に考えていく力とされ、Society5.0の社会で主体的に生きていく人間性を養うために必要な力とされている⁴⁾。しかし、小学校教員のプログラミング教育への意識調査からは、教員はプログラミング教育の目的やその教授法が分からず、不安を抱えている状況にあることが明らかにされている⁵⁾。また、GIGAスクール構想の推進と新型コロナウイルス感染症のパンデミックが重なり、教員の精神的・時間的余裕がなくなる中で、小学校から高校までプログラミング教育について見通したカリキュラムは模索段階であり、児童・生徒のプログラミング的思考力の育成状況も十分に把握されていない。

そこで、本研究の目的は、ロボットを教材とした3つの講座（小中学生対象のJr. Dr. 育成講座、ロボット教室と高校生対象のプログラミング講座）でのプログラミング教育の成果を、子ども達の論理的・プログラミング的思考の定着状況から把握することである。

2. 講座概要及び調査内容

2.1 Jr. Dr. 育成塾

2.1.1 講座概要と調査内容

Jr. Dr. 育成塾（以降、育成塾と略す）は、国立研究開発法人科学技術振興機構（以降 JST と略す）が、数理・情報分野において、粘り強さや協調性、コミュニケーション能力などの高い人間性と、問題発見力や課題解決力などに傑出した能力の向上が期待できる人材を発掘・育成するために、平成22年から始めた未来の科学所育成講座の後継事業であり、長崎大学では地域教育総合支援センターが中心となって実施

表1 Jr. Dr. 育成塾の講座

c	形態/時間	教室内容
1 日 目	講義/1.5h	ロボットの基礎的知識とハードウェアの説明
	講義/1.5h	プログラムに関する内容
	演習/2.5h	(センサ無)正方形のライン上を走るプログラムの考案(1辺が30・50cmの時)
2 日 目	講義/1.0h	前日の復習
	演習/2.0h	(センサ無)正方形のライン上を走るプログラムの考案(1辺が30・50cmの時)
	講義/2.0h	Pencilbotについての説明およびライトレースの実践
	教室後/0.5h	アンケート調査①
3 日 目	講義/1.0h	前日の復習
	講座/2.0h	赤外線・距離センサの説明、ライトレースのプログラミング
	演習/2.0h	ライトレース及び障害物回避のプログラミング
	教室後/0.5h	アンケート調査②
4 日 目	講義/1.0h	前日の復習
	演習/4.0h	ライトレース及び障害物回避のプログラミング
	教室後/0.5h	アンケート調査③

している。本講座は、算数・数学，理科，情報・ものづくりの3つの内容で構成されており，その中の情報・ものづくりで行われているロボットづくり教室が本対象講座である。

この講座は，2019年7月21日～9月28日の期間で計4日間，9：30～16：30の時間帯で，表1の内容を行った。受講生は長崎県内の小・中学生8名（小学5年生3名，小学6年生3名，中学2年生2名）である。育成塾を通して，受講生の学習成果や困難を感じる内容を明らかにするために，2日目以降の1日の育成塾が終了した後で，表2に示すアンケート内容の調査を行った。

2.1.2 使用したロボット教材

育成塾では，JAPAN ROBOTTECH社製のRDC-103の基板を使用したロボット（以降，RDC103と略す）を使用した。RDC103はArduino 1.0.5-r2を用いてプログラミングを行う基盤を有し，超音波センサーやギアボックス等を用いて任意のロボットが製作可能な教材である。本教材はビジュアル言語であるArdublockを用いてプログラミングを行うため，小学生でもプログラミングのスキルやそれに必要な思考を身につけることができる。またコンパイルの過程でC言語に変換され，ロボットにプログラムがアップデートされることから，中学校以降で学ぶPython等のテキスト言語に慣れることもできるという特徴を持っている。本講座の受講生は，一校種上の学習内容を理解し活用

できるような能力の育成を目指していることから，ArdublockからC言語でのプログラミングへの移行が可能である本教材を使用することにした。図1に，本講座で使用したRDC103の外観を示す。

表2 アンケートの調査項目（育成塾）

No.	調査項目	記述内容
①	1. 当日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	2. プログラミングとロボット動作の感想	内容
	3. Pencilbotのプログラミング体験の感想【5段階評価】	理由
	4. 本日の学習成果(上記以外の成果・困難さ)	内容
②	1. 当日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	2. ライントレース・障害物回避の学習成果(学習したこと)	内容
	3. ライントレース・障害物回避の学習成果(困難さ)	内容
③	1. 当日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	2. ライントレース・障害物回避の学習成果(学習したこと・困難さ)	内容
	3. ライントレース・障害物回避の学習成果(楽しさ)	内容

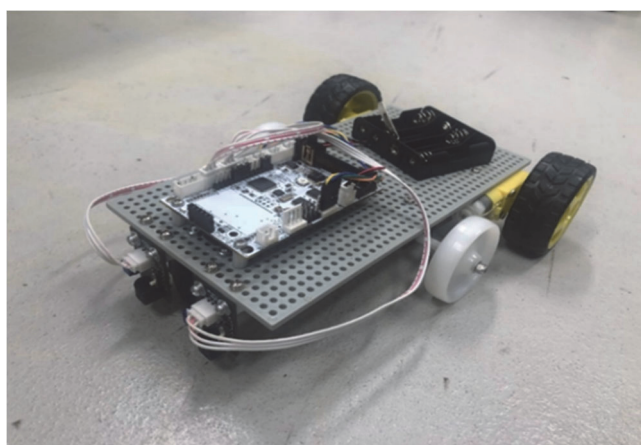


図1 育成塾で使用したRDC103の外観

2.2 レスキューロボット教室（Rロボ教室）

2.2.1 講座概要と調査内容

ジャパンロボカップ・レスキュー部門長崎県大会に向けて，中学3年生以下を対象に2.1節の講座内容を継続する形でレスキューロボットものづくり教室（以

降, R ロボ教室と略す) を開催した。

本講座は, 2019 年 11 月 3 日～12 月 26 日の期間で計 6 日間, 9:30～16:30 の時間帯で表 3 の内容を行った。受講生は長崎県内の小中学生 12 名(小学 5 年生 2 名, 小学 6 年生 3 名, 中学 1 年生 3 名, 中学 2 年生 1 名, 中学 3 年生 3 名)であり, 2.1 節の受講生と昨年度までの同講座の受講生の一部である。アンケート調査は 2.1.1 と同様に, 受講生の学習成果や困難を感じる内容を明らかにするために, 1 日の講座終了後に表 4 の内容を, 発達段階によって論理的・プログラミングの思考の定着状況を明らかにするために, 5 日目の講座終了後に表 5 に示した内容の事後テストを行った。

表 3 R ロボ教室の講座概要

c	形態/時間	教室内容
1 日目	講義/1.5h	大会において使用するロボットの説明
	演習/3.5h	ロボット教材の制作・動作確認
	教室後/0.5h	アンケート調査①
2 日目	講義/1.0h	前日の復習
	演習/2.0h	ロボット教材の制作・動作確認
	演習/2.0h	ライトレースのプログラミング
	教室後/0.5h	アンケート調査②
3 日目	講義/1.0h	前日の復習
	演習/4.0h	ライトレース及び障害物回避のプログラミング
	教室後/0.5h	アンケート調査③
4 日目	講義/1.0h	前日の復習
	演習/4.0h	ライトレース及び障害物回避のプログラミング
	教室後/0.5h	アンケート調査④
5 日目	講義/1.0h	前日の復習
	演習/4.0h	ライトレース及び障害物回避のプログラミング
	教室後/1.0h	アンケート調査⑤及び事後テスト

表 4 アンケート調査項目 (R ロボ教室)

No.	調査項目	記述内容
①	1. 当日の学習成果(ロボット制作・プログラミング)	理由
	2. 友人から教わった内容	内容
	3. 当日の活動で学習した内容	内容
	4. 今後挑戦したいこと	内容
②	1. 当日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	2. 当日の活動での課題を解決した方法	内容
③	1. 当日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	2. 当日の活動での課題を解決した方法	内容
④	1. 当日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	2. プログラム面の学習成果(工夫・困難さ)	内容
	3. ハードウェア面の学習成果(工夫・困難さ)	内容
	4. 友人、教員から教わった内容	内容
⑤	1. ロボットを用いたプログラミングの楽しさ【5段階評価】	理由
	2. プログラミングをまた学習したいと思うか【5段階評価】	理由
	3. 1番楽しかったプログラミング活動	内容
	4. 1番難しいと感じたプログラミング活動	内容
	5. プログラミング学習の意義(学習面・生活面・将来性)	理由
	6. Ardublockの習得状況(5件法)	内容

表 5 事後テスト調査項目 (R ロボ教室)

事後テスト
1. 「朝6時半に起きて、顔を洗ってから、朝ご飯を食べる」というプログラムを下のブロックを使い、作成してください。また、下に書いてあるブロックは全て使用します。
2. 「お風呂に入った後に、夜ご飯を食べ、歯を磨く」というプログラムを「もし～なら～でなければ」のブロックを必ず一回は使い、作成してください。
3. トイレの電気のように、入ったら自動で電気が付くようなプログラムを作るために、あなたならどのセンサを使いプログラムを作成しますか? 使用するセンサとそのセンサを使ったプログラムを説明してください。

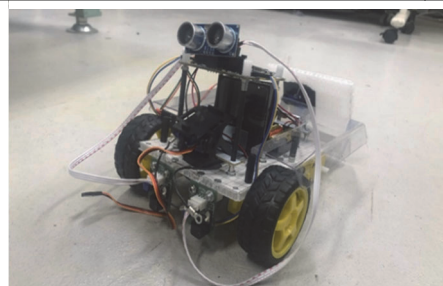


図 2 R ロボ教室で使用した教材

2.2.2 使用したロボット教材

R ロボ教室では, JAPAN ROBOTTECH 社製の RDC-104 の基板を使用したロボット(以降, RDC104 と略す)を使用した。RDC104 は Arduino 1.6.10 を用いてプログラミングを行う基盤を搭載し, 超音波センサやギアボックス等を用いて任意のロボットが製作可能な教材である。本教室に参加している受講生は 2.1 節の受講経験者

であるため、同じソフトウェアを使用することで発展的な学びができること、特に、プログラミングに慣れ、学習意欲が高く、細かい制御に臨む受講生は、C言語でのプログラミングを行うことを想定した。図2に、本講座で使用したRDC104の外観を示す。

2.3 高校生プログラミング講座

2.3.2 講座概要と調査内容

今後、様々な学問分野において必要となるプログラミングについて学ぶ場を提供し、長崎県内の情報産業を担うリーダーを醸成するために、長崎県教育委員会高校教育課と長崎大学教育学部技術教室が協働し、サイエンス・テクノロジー人材育成事業「プログラミング講座・コンテスト」を企画・開催した。

本講座は、2019年7月30日～8月2日までの4日間、10:00～15:00の時間帯で表6の内容を行った。受講生は、県内の高校生30名（1年生19名、2年生7名、3年生4名、進学校4名、工業高校14名、その他専門学校12名）である。2.1.1と同様に、受講生の学習成果や困難さを感じる内容を明らかにするために、2日目以降の講座終了後に表7に示した内容のアンケート調査を行った。

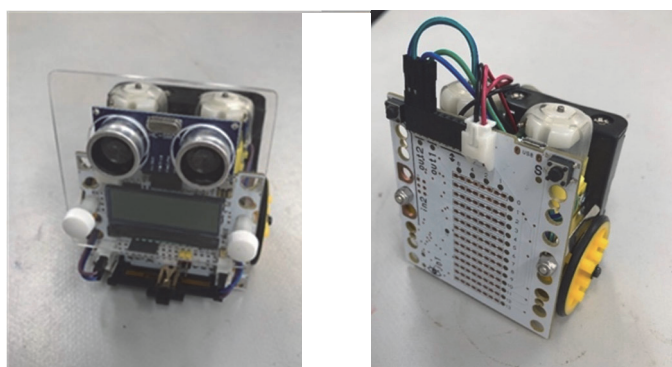
表6 プログラミング講座の講座概 表7 アンケートの調査項目(表6の講座)

形態/時間	教室内容	No.	調査項目	記述内容
1 日目	講義/1.5	①	前日のプログラミング体験の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	演習/0.5h		プログラミングとロボット動作の感想	内容
	講義/0.5		プログラム学習の意義(学習面・生活面・将来性)	内容
	演習/1.5h		本教室の学習成果(内容・出来るようになったこと)	内容
2 日目	教室前	②	前日の活動の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	講義/1.5		SM型プログラミングの学習成果(内容・困難さ)	内容
	演習/2.5h		PP型プログラミングの学習成果(内容・困難さ)	内容
	演習/2.5h		本日の学習成果(上記以外の内容・困難さ)	内容
3 日目	教室前	③	前日の活動の感想(楽しさ)【5段階評価】	理由
	演習/1.5h		学習シートの評価(書きにくかった項目)	理由
	講義/0.5h		①課題、②使用センサー、③プログラム、④課題解決方法	
	演習/2h		学習シートやフローチャートによる論理的施行による問題解決の学習成果(困難さ・長所)	内容
4 日目	教室前	③	本日の学習成果(上記以外の内容・困難さ)	内容
	演習/2.5h		学習シートの作成(フローチャートの修正(生徒相互の助言含む))	
	演習/1.5h		学習シートによる発表と評価	

2.3.3 使用したロボット教材

本講座では、JAPAN ROBOTTECH社製のRDC-104の基板を使用したSmallbotとPencilbotの2つのロボット教材を使用した。図3に、両ロボットの外観を示す。まず、図(a)のSmallbotは、2.2.2のロボット教材と同じArduino 1.6.10を使用している。本講座は、プログラミングの経験が殆どない専門高校の生徒からプログラミングを正課の授業などで学習している工業高校の生徒まで幅広く対応ができるロボット教材が必要であるため、完成品である本教材(Smallbot)を選定し

た。本講座では、プログラミングによる制御技術を用いて、受講生が考える課題を技術的に解決することを考えることが最終目的であることから、全く違うプログラミング方法が可能な Pencilbot も使用した。この Pencilbot は、図 (b) に示すように基板に配置された 4 組×14 列の端子間を鉛筆で塗り潰すかジャンパーピンで繋ぐことで、4 bit の命令文で 2 つの入力、2 つの出力を制御するプログラムを作成することができる。具体的には、待機、条件分岐、繰り返し、処理（出力）を組み合わせることで、Smallbot で作成したライントレースなどのプログラムを作成することができる。この Pencilbot を用いることで、初心者の生徒がフローチャートやプログラミングへの興味関心を高め、理解しやすくなることが期待できる。



(a) Smallbot

(b) Pencilbot

図 3 プログラミング講座で使用したロボット教材の外観

3. 結果と考察

3-1 育成塾の結果と考察

図 4 にプログラミング体験についての感想を示す（表 2 の③-1）。図より、「まあまあ楽しい」と回答した受講生は、活動中プログラムが意図した通りに動かないなど、ロボット教材の誤作動の原因を対処出来ず、困難さを感じていた。一方で、「とても楽しい」と回答していた受講生はロボット教材の誤作動の原因に対処できていたため、意図した通りにロボット教材が動き、達成感やプログラミングの楽しさを感じていた。

図 5 にライントレースで困難さを感じた内容を示す（同②-3）（無回答 2 名）。

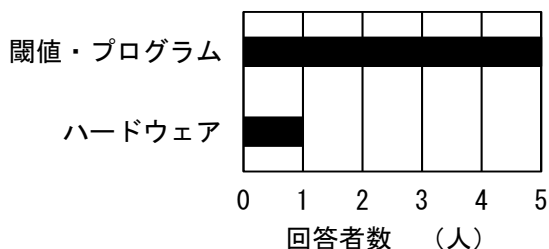
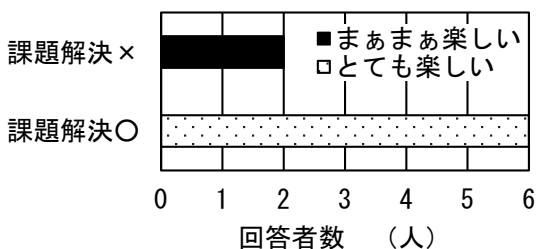


図 4 プログラミング体験の感想

図 5 ライントレースで困難さを感じた内容

図より、「閾値・プログラム」では、赤外線センサの閾値を求めることやモータの速度や秒数を調整し、プログラミングすることに困難さを感じていた。また、「閾値・プログラム」に関する困難さを記述した受講生が半数以上を占めているため、他の子ども達もこの内容で困難さを感じる事が想定される。一方、ライントレースで学習した内容(同②-2)では、これらの困難さを試行錯誤しながら解決し、ライントレースが成功した時に受講者は達成感や楽しさを感じていることが分かった。

育成塾の集計結果より、子ども達はロボット教材が意図した通りに動かない等の課題に困難さを感じるが、どうプログラムを改善すれば意図した通りの動きを行うのか試行錯誤しながら解決する過程で論理的に考えようとしている姿が言動から読み取れた。今回行ったロボット教材を用いたプログラミング活動は論理的思考や、文部科学省が示しているプログラミング的思考⁴⁾を育成することに有効であると言える。

3-2 R ロボ教室の結果と考察

図6に課題を解決した手段を示す(表4の②-2)(無回答1名,複数回答4名)。図より、自分でハードウェアやプログラムの課題を解決している受講生は中学生が半数以上を占めており、小学生の受講生は友人や講師の助言・サポートをもとに課題の解決を行っている。このことから中学生は小学生に比べ、講師に頼らず、自分の力や友人と協力しながら課題の解決を行うことができる。

図7に事後テストの結果(事後テスト問1)(複数回答1名)を示す。また、事後テスト問1の解答例を図8に示す。図7より、受講生の半数以上が条件分岐で誤答していた。「～でなければ」に条件分岐を入れるなど、誤った箇所に組み込ん

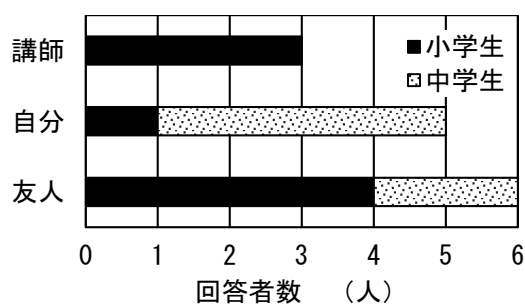


図6 課題を解決した手段

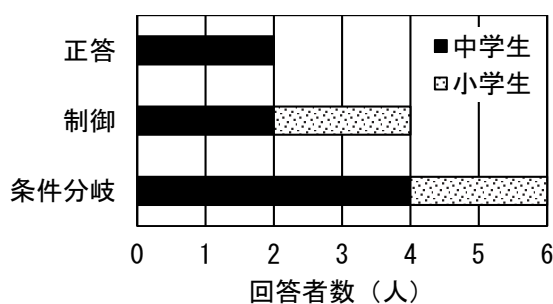


図7 事後テストの結果

だ回答が多かった。また、中学生やプログラミングの経験が長い受講生は「起きる」「寝る」などの制御がどこに入るのかを逐次的に理解しているため、制御での誤答が少ない。このことから、受講者は、プログラ

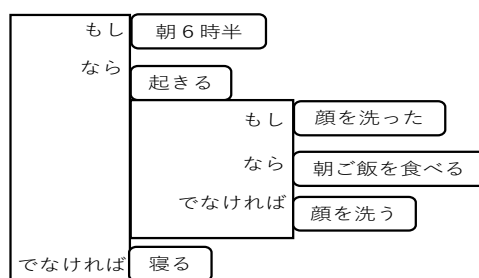


図8 事後テスト-1の解答例

ムを逐次的に思考することはできるようになるが、発達段階を問わず受講者は、条件分岐の理解を苦手としていることが分かった。しかし、正答している受講生はプログラミング経験が2年以上の中学生であったため、繰り返し学習によって条件分岐を理解できるようになる可能性もあると言える。

R ロボット教室の集計結果より、中学生は小学生に比べ自分の力や友人と協力し、課題解決を行う能力が高いことが分かった。また、受講生は逐次的なプログラムや活動で行った内容をプログラムで表現することはできるが、条件分岐のプログラムや日常生活などの事象をプログラムで表現することに困難さを感じるということが分かった。一方で、プログラミングの経験年数が長い受講生（中学生）は、条件分岐や日常生活の事象をプログラムで論理的に表すことができたため、繰り返し学習で受講生の困難さを克服できる可能性があることが分かった。

3-3 プログラミング講座の結果と考察

図9に Pencilbot で学習した内容（表7の②-3）（無回答1名）を示す。図より、プログラミング経験のある工業高校・進学校の半数以上の生徒は、パソコンを介さずプログラミング可能である Pencilbot の良さに気づき、この利便性や容易さについて記述していた。一方で、プログラミング未経験であるその他専門学校の半数以上の生徒は、端子間を鉛筆でショートさせ、正しいプログラムを作成しているが、意図した通りに動かないなどの不具合やトラブルについて記述が多かった。このことから、Pencilbot はフローチャートやプログラミングへの興味関心を高め、プログラミングの基礎を学習できるが、一方で、プログラミング未経験の受講者は、Pencilbot 特有の不具合やトラブルが原因でプログラミング自体を難しいと感じるため、トラブルや不具合が起きた時の対処法を指導者自身が理解し、対応することが重要であると言える。

図10に Smallbot で学習した内容（同②-2）を示す。図より、その他専門高校の半数以上の生徒は Arduino の基本操作や正確にプログラムを組むことの重要性など、プログラミングを行う過程で学習したことについて記述していた。一方で、工業高校と進学校の半数以上の生徒は、ロボットが意図した通りに動かなかった時にその原因を考え、対処法としてモータの速度や赤外線センサの閾値を調整す

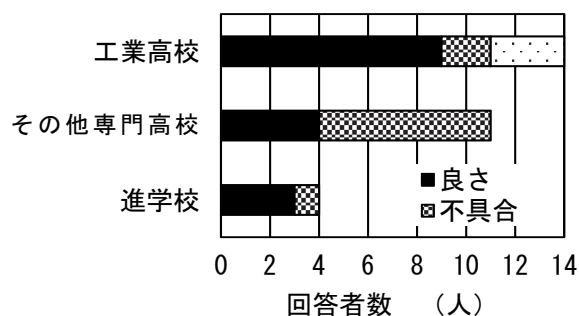


図9 Pencilbot で学習した内容

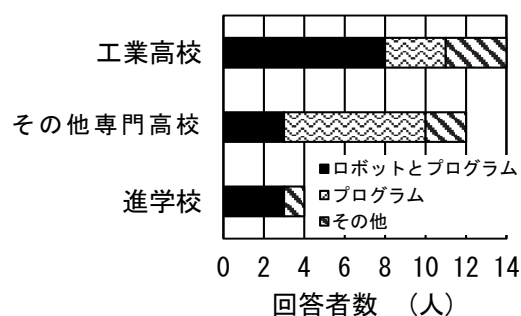


図10 Smallbot で学習した内容

るなど、ハードウェア(ロボット)を踏まえてプログラミングで学習した内容について記述していた。このような違いが見られた要因として、工業高校と進学校の生徒は授業やクラブ活動でプログラミングを学習し、プログラムの作成方法や論理的思考に慣れているため、ソフトウェアだけでなくハードウェアにまで視野を広げて考えることができたと考えられる。

図 11 に問題解決学習で困難を感じた内容(同③-3)を示す(無回答1名、複数回答3名)。図より、全生徒の半数以上が自身で考えた課題解決案をフローチャートで表すことや条件分岐を用いて表すことに困難さを感じていた。このことから、高校生は、自身の意図した通りにフローチャートや条件分岐を用いて論理的に表すことに苦手を感じており、平成 20 年度改訂の学習指導要領中学校技術分野の情報に関する技術で学習してきた内容が十分に定着していないと言える。

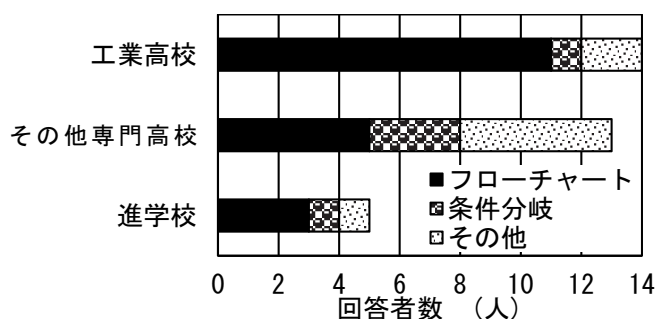


図 11 問題解決学習で困難を感じた内容

プログラミング講座の集計結果より、Pencilbot はプログラミングへの興味関心を引きつけながら学習することに効果的だが、Pencilbot 特有の不具合があるためプログラミング初心者の高校生は苦手意識を持ちやすいこと、高校生はプログラミングの学習状況に差があるため、論理的思考の定着状況に差があり、指導者が最初にそれを見極める必要があることが分かった。また、高校生はフローチャートの作成や条件分岐に困難さを感じていることから、平成 20 年度改訂の学習指導要領中学校技術分野の情報に関する技術で学習してきた内容が十分に定着していない高校生は多いと言える。

4. 結言

本研究では、ロボットを教材とした3つの講座でのプログラミング教育の成果を、受講生の論理的思考力の定着状況から把握し、新学習指導要領で示された小学校から高校に至るプログラミングの内容を踏まえて、児童・生徒が各発達段階で到達すべき内容を検討した。その結果、以下のことが分かった。

- ① 小学校・中学校・高校の受講生はプログラミングを行う過程で、条件分岐に困難さを感じるが、繰り返し学習を行うことで、論理的思考力を高め、プログラミング的思考を習得することができる。

- ② 小学生は，日常生活の事象をプログラミング的思考で表現させることが重要である。
- ③ 中学生は小学生に比べ，論理的に思考し自身の力や友人と協力して課題を解決する能力が高い。
- ④ 高校生は学校種別で論理的思考やプログラミングの学習に差が見られ，フローチャートの作成や条件分岐に困難さを感じていることから，中学校技術で学習下内容が十分に定着しておらず，中学での学びが高校に繋がっていない。

今後の課題としてはこの結果を踏まえ，小学校では論理的思考を用いて課題解決を行う方法を学び慣れ親しむこと，中学校では論理的思考やフローチャートなどを用いて課題解決能力の定着を図ること，高等学校では小・中で学習したことを基盤として論理的思考を学習や生活など様々な場面で活用できるようにすることが必要であると言える。また，条件分岐は各学校段階で取り扱い繰り返し学習を行わせることが必要である。

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP18H01018 の助成を受けた。

参考文献

- 1 つくば市教育局総合教育研究所，東京書籍，『これならできる小学校教科でのプログラミング教育』，2018.
- 2 佐藤洋一，資質・能力型のカリキュラムと評価がみえにくい，国語教育，1，2018.
- 3 道田泰司，論理的思考とは何か？，琉球大学教育学部紀要，63，181-193，2003.
- 4 文部科学省．小学校プログラミング教育の手引（第三版）：17．2020.
- 5 大島崇行．他2名，上越教育大学研究紀要，40(1)，33-43，2020.