

## 交通信号機の制御システムを模したプログラミング教材

### Educational Material Imitating the Traffic Signal Control System for Programming Education

梅 野 貴 俊

高 橋 典 弘

Takatoshi UMENO

Norihiro TAKAHASHI

技術教育ユニット

附属福岡中学校技術家庭科

(令和2年9月29日受付, 令和2年12月10日受理)

制御システムのハードおよびソフトウェアの構成とその役割など, 制御システムのしくみを総合的に学べるプログラミング教材を開発した。開発教材は, 身近に存在する交通信号機のしくみを模しており, 入出力のハードウェアを増加することで, 制御(プログラミング)の難易度を自由に変更することができる。この教材の教育効果を明らかにするため, 公立中学校3年生を対象とし, 教材を用いたプログラミング教育と教材を使用しないビジュアルプログラミング教育を実践し比較した。この結果, 教材を使用することで, 計測・制御システムの構成とプログラムの役割に関する知識習得に教育効果が認められた。また, 多くの生徒はセンサから得られる入力値の制御に注視する傾向が明らかとなり, 開発教材を用いたプログラミング学習は, 計測・制御の本質を理解できると考えられた。

#### 1. 緒言

経済産業省が2019年に公表したIT人材需給に関する調査によると, 2030年時点での需給ギャップは16.4万人~78.7万人(中間では44.9万人)になると試算されており, IT人材の需給ギャップの緩和に向けた取組は日本が抱える重要な課題といえる<sup>1)</sup>。これら背景より, 学校教育において情報教育が推進され, 2020年度より小学校におけるプログラミング教育が必修化された<sup>2)</sup>。中学校技術・家庭科, 技術分野(以下, 中学校技術科)では, すでに2012年より「プログラムによる計測・制御に関する内容」が必修化されており, 2017年に告示された学習指導要領では, 内容D情報の技術において, 計測・制御システムを構想する力の育成がより重視されている<sup>3)</sup>。最近の科学技術に関する教育研究においても, STEM/STEAM教育やComputational Thinkingをキーワードとし, 数多くの研究報告が存在する。これら研究では, 単にプログラミングだけを学習するのではなく, 組込みシステムなどのハードおよびソフトウェアの相互的な関係や役割を理解し, システム全体を総合的に設計する力の育成が重要とされている<sup>4)</sup>。

しかしながら, 中学校においてプログラミング教育を担っている技術科では, 授業時数が少なくIT教育に必要な学習環境も十分に整備されていない。このため, ビジュアルプログラミング教材のみを使用した授業実施が多く, プログラミング教育を十分に行っているとは言い難い。このような状況では, 計測・制御システムを構想する力の育成は極めて困難と考えられる。Tom Igoeらは, Physical Computingという教育プログラムを提唱し, センサで得られる外的環境情報をパソコンに取り込むことや, その情報に応じて外部のアクチュエータなどを制御する能力の重要性を示している<sup>5)</sup>。著者らにおいても, センサの入力値よりモータを制御するプログラミング教材を開発し, この教材を用いた授業実践により, 計測・制御に関する知識と技術習得に高い教育効果を確認している<sup>6)</sup>。中学校技術科の「プログラムによる計測・制御に関する内容」では, プログラミングによりセンサやアクチュエータを制御し, 計測・制御システム全体を総合的に理解することが望ましいと考えられる。

そこで本研究では、身近に存在する交通信号機の制御を模したプログラミング教材を開発した。この教材は、入出力のハードウェアを増加することで、制御（プログラミング）の難易度を自由に変更することができ、実際の信号と同じ動作を目で確かめることができるユニークな教材である。この教材を用い、公立中学校3年生を対象としたプログラミング教育を実施し、本教材の教育効果を明らかにした。

## 2. 方法

### 2.1 プログラミング教材の概要

本教材は、実際の交通信号機として採用されている車道用3灯信号機（赤色、黄色、青色）と歩行者用2灯信号機（赤色、青色）、歩行者専用押しボタンスイッチ、音響式信号機、歩行者用感知器、照度センサを制御するプログラミング教材である（図1）。教材の入力装置は、歩行者専用押しボタンスイッチとしてタクトスイッチ（汎用モーメンタリ動作押しボタンスイッチ）、歩行者用感知器として超音波距離センサ（HC-SR04, ELECFREAKS）、照度センサとして光可変抵抗（汎用CdSセル）を使用した。出力装置は、信号機ライトとしてLED（汎用φ5mm LED、赤色、黄色、青色）、音響式信号機として圧電スピーカー（PKM22EPPH2001-B0, 村田製作所製）を使用した（図2）。本教材の構成部品はインターネット等で入手でき、学校現場の工具を用い簡単に作製できる。これら装置を制御するコンピュータは、シングルボードコンピュータであるArduino UNOを使用し、プログラミング言語はArduino IDEである。Arduino IDEは

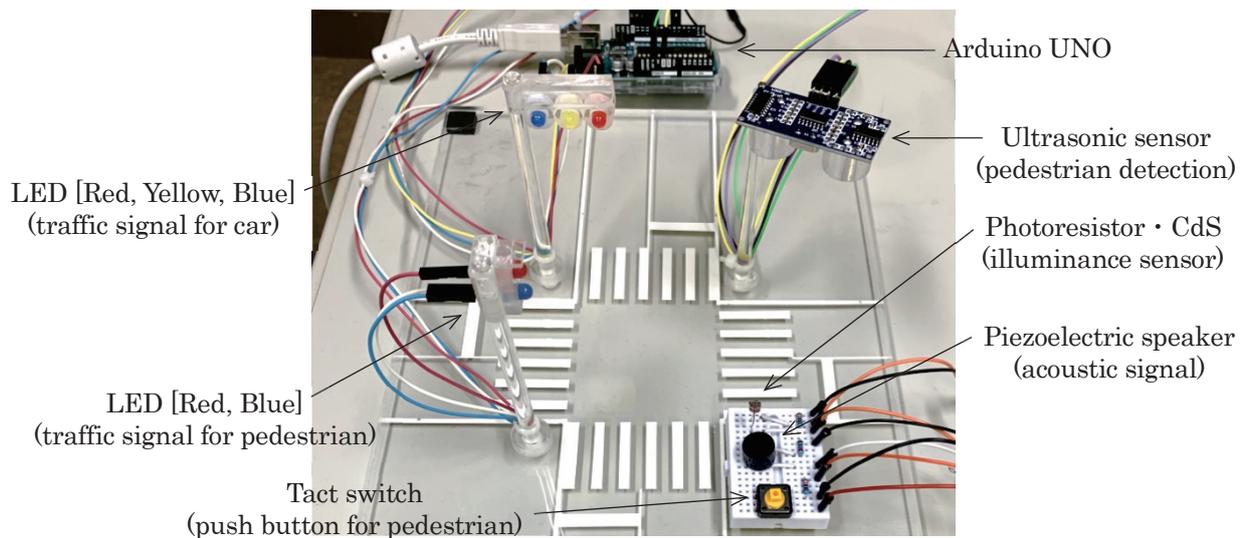


図1 交通信号機プログラミング教材

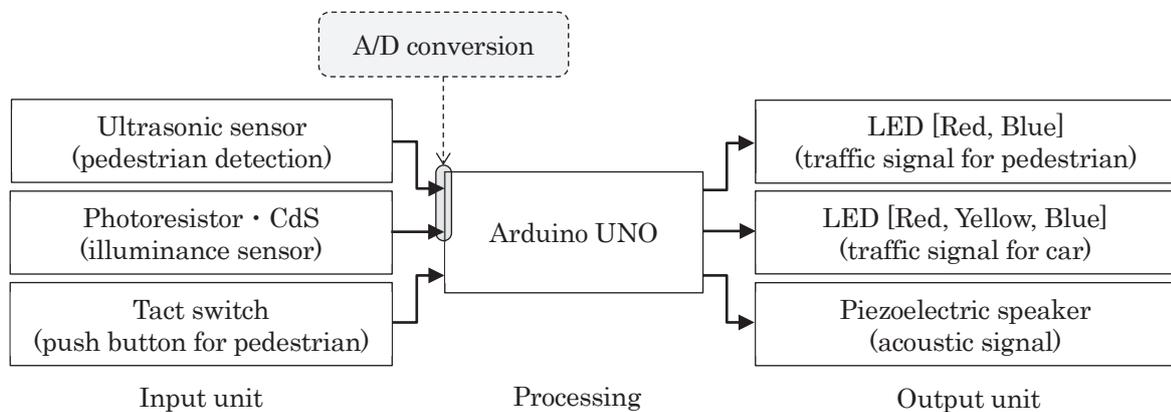


図2 交通信号機プログラミング教材の入出力信号

C/C++ をベースとし、様々なライブラリも用意されているため、比較的簡単にプログラミングを行える。

超音波距離センサ、照度センサから得られる入力情報はすべてアナログ値（0～5Vの電圧）である。プログラミングでは、これら入力情報はすべてA/D変換され、10bitのデジタル値（0～1023）として扱われる。例えば、超音波距離センサが人を検知し、その距離が近くなるとデジタル値が大きくなる。生徒はセンサと人との物理的な距離をパソコン上で数値として把握することで、センサを用いた計測の概念を学ぶことができる。押しボタンスイッチが押された場合やセンサと人との距離が目標値（プログラムで設定したデジタル閾値の範囲内）となった場合、出力装置である交通信号機や音響式信号機への出力を与え制御する。この一連の流れをプログラミングで実現することで、計測と制御において、入出力装置のシステム構成とプログラムによる処理の流れを理解することができる。

## 2.2 被験者

福岡市内の公立中学校3年生136名（男子69名、女子67名）を対象とした。これらの被験者は、過去にプログラミング教育を受けた経験がなく、本授業で初めてのプログラミング教育を受けた。

## 2.3 授業実践

教材の教育効果を明らかにするため、教材を用いたプログラミング教育（教材群）とビジュアルプログラミング教材を用いたプログラミング教育（非教材群）に分け、それぞれ異なる授業を実践した。教材群の被験者は69名（男子35名、女子34名）であり、非教材群は67名（男子34名、女子33名）である。

最初の授業では、両群ともに計測・制御システムについて、センサやアクチュエータなど、具体的な装置を挙げワークシートを使用して学習した。次に、教材群では、開発教材を用いたプログラミング教育を5時間行った。多くの生徒が初めてプログラミングを行うため、毎時間ワークシートを用意し、助言を与え授業を進めた。一方、非教材群では、ビジュアルプログラミングの入門ソフトであるロボチャート（スズキ教育ソフト<sup>7)</sup>）を用いた。ロボチャートは、ロボットを前後左右に移動することで、指定された迷路を抜けるゲームであり、プログラムは流れ図（フローチャート）を使用する。難易度の異なる様々な課題が設定されており、順次・反復・分岐を繰り返し、ゴールを目指す。非教材群にロボチャートを用いた理由は、本ソフトが福岡市内公立小中学校の生徒用パソコンに導入されており、プログラミング教材として多用されるためである。両群の授業内容を表1に示す。

両群ともに、最初と最後の授業において、計測・制御システムに関する理解度テスト（選択肢つき穴埋め問題12問）を実施した。内容は、計測・制御システム構成に関する内容が3問、センサおよびアクチュエータの種類に関する内容がそれぞれ3問（計6問）、プログラムに関する内容が3問である。さらに、計

表1 教材群と非教材群の授業内容

次	教材群	非教材群
1	※ 事前理解度テスト実施 計測・制御システムを学ぶ：身近な計測・制御システムを取り上げ、センサやアクチュエータの仕組みを気づかせる。	
2	信号機（3色）のシーケンス制御 [順次]：LED点滅プログラムを作成する。	シーケンス制御による迷路抜け [順次]：スタートからゴールまでのフローチャートを作成する。
3	信号機（2色）のシーケンス制御 [反復]：LED点滅プログラミングにおいて、forやwhileを使用したコーディングを行う。	フィードバック制御による迷路抜け [反復・分岐]：反復・分岐を用い、スタートからゴールまでのフローチャートを作成する。
4	信号機（2色）のフィードバック制御 [分岐]：スイッチを使用し、if文でLEDの点灯をプログラムする。	フィードバック制御による迷路抜けと課題制作：迷路を、フローチャートを使用して制作する。友人の作成した迷路にもチャレンジする。
5	センサからのデータ収集：シリアル通信を使用し、超音波距離センサの入力値をモニタに映し、閾値を設定できるようにする。	フィードバック制御による対戦型ロボチャート：コンピュータや友人とロボットの対戦を行うフローチャートを作成する。
6	信号機（2色）のフィードバック制御：超音波距離センサを用い、if文でLED点滅プログラムを作成する。	
	※ 事後理解度テスト実施	
応用	◎ 音響付き歩行者信号機（2色）の制御：既存のライブラリを使って、音響付きの信号機のプログラムを作成する。 ◎ 夜間の点滅信号機の制御：CdSセル（センサ）を使用し、if文でLEDの点滅プログラムを作成する。	

表2 教材評価に関するアンケート内容

設問	内容
Q1	教材に興味をもてたか
Q2	プログラミングに興味をもてたか
Q3	Arduino の操作は容易だったか
Q4	タイピングは苦なくできたか
Q5	プログラム言語の理解は苦なくできたか
Q6	プログラムの間違いを見つけやすかったか
Q7	センサの働きは理解できたか
Q8	アクチュエータの働きは理解できたか

測・制御システムを構想する力を問う自由記述問題を1問出題した。出題内容は「自動で開閉するドアをつくるためには、どのような計測・制御システムが必要か考えなさい」である。なお、生徒の履修内容に差が生じないように、各群の授業終了後、教材群と非教材群の授業内容を入れ替えて授業を行った。すべての授業が終わった後、全被験者を対象に教材の評価アンケートを実施した。アンケートの内容は、教材に対する情意面について2問、教材の操作性について4問、センサ・アクチュエータの働きに関する理解度について2問、合計8問とし5件法(5.とてもそう思う, 4.どちらかといえばそう思う, 3.どちらでもない, 2.どちらかといえばそう思わない, 1.全くそう思わない)で回答を求めた(表2)。

### 3. 結果と考察

Arduinoを用いたプログラミングを行う教材群では、テキストエディタ形式のプログラミングに対する生徒の苦手意識をなくすことが重要である。Arduino IDEはテキストエディタであり、一つ一つのソースコードを理解しプログラムを作成しなければならない。さらに、コンパイルエラーもすべてテキスト表記されるため、プログラミング経験の無い生徒には困難な作業であった。しかしながら、毎時間ワークシートを用意し、助言を与え授業を進めることで、プログラミングに対する苦手意識も徐々に無くなり、積極的にプログラミングを行う姿勢が認められた。特に、身近な交通信号機を制御できることから、意欲的にプログラミングを行っていた。また、入力装置の計測値をリアルタイムに観察できることや、出力装置の誤作動を目で確かめることができることも、生徒の積極性を助長させたと考えられる。

ロボチャートを用いた非教材群は、ビジュアルプログラミングであり、パソコンモニタ上ですべて操作できる。ロボチャートのプログラミングは、プログラムに必要な要素(命令)をパーツとして扱い、このパーツをドラッグ&ドロップのマウス操作でプログラミングできる。このため、各命令要素が理解できれば、プログラムの作成は簡単であり、多くの生徒はすぐに操作法を理解し、プログラミングを行っていた。

計測・制御システムに関する理解度テストの結果を図3に示す。教材群の授業前後のテスト結果の平均値と標準偏差はそれぞれ、 $8.5 \pm 2.2$ ,  $9.9 \pm 2.0$ であった。非教材群の授業前後のテスト結果の平均値と標準偏差はそれぞれ、 $8.4 \pm 2.3$ ,  $9.1 \pm 2.4$ であった。授業前に比べ授業後の理解度が、教材群、非教材群ともに向上しているが、点数の増加は教材群が大きいことが明らかとなった。授業前後の理解度テストにおける各設問内容の正答率を比較すると、非教材群に比べて教材群では、計測・制御システム構成およびプログラムの知識問題の正答率が向上していた。

自由記述問題のすべての回答について、テキストマイニングを用いて教育効果を分析した。回答内容をキーワードごとに分類し、出現頻度が10以上の名詞、動詞、形容詞を抽出した。その結果、教材群の事前テストでは、名詞が4、動詞が3、事後テストでは、名詞が7、動詞が3抽出された(表3)。一方、非教材群の事前テストでは、名詞が4、動詞が2、事後テストでは、名詞が5、動詞が3抽出された(表4)。形容詞はどのカテゴリにも有効な出現頻度が認められなかった。

両群の事前テストでは、名詞に「ドア」「センサ」「システム」、動詞に「開く」「来る」「閉める」の語句が高い頻度で認められた。事後テストにおいて、新たな名詞として、教材群では「距離」「測定」「超音波」「プログラム」の4つ、非教材群では「プログラム」の1つのみ認められた。教材群では非教材群にはない

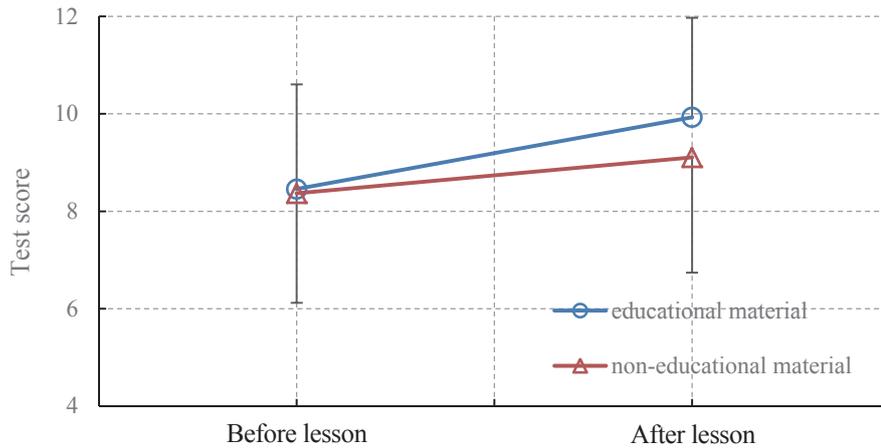


図3 計測・制御システムに関する理解度テスト結果 (教材群 n = 57, 非教材群 n = 58)

表3 理解度テスト自由記述形式のテキストマイニング出現頻度 (教材群)

教材群							
事前テスト, n=49				事後テスト, n=43			
名詞		動詞		名詞		動詞	
センサ	34	開く	20	ドア	52	開く	45
ドア	29	来る	16	距離	33	閉める	31
システム	17	閉める	13	センサ	28	来る	27
感知	11			測定	19		
				超音波	18		
				プログラム	18		
				感知	12		

表4 理解度テスト自由記述形式のテキストマイニング出現頻度 (非教材群)

非教材群							
事前テスト, n=42				事後テスト, n=47			
名詞		動詞		名詞		動詞	
センサ	26	開く	20	ドア	26	開く	44
システム	22	来る	15	センサ	26	閉める	29
ドア	20			システム	16	来る	20
感知	11			感知	15		
				プログラム	12		

「距離」「測定」「超音波」が記述されており、センサによって人の動きをどのように捉えるかについて、センサの働きや閾値の設定など、詳細な記述が認められた。

生徒による教材の評価結果を図4に示す。教材およびプログラミングへの興味 (Q1, 2) では、70%を超える生徒が肯定的な意見であることが認められた。しかしながら、Arduinoの操作 (Q3)、プログラム言語の理解 (Q5) やプログラムエラーの確認の容易さ (Q6) については、肯定的な意見が50%を下回る結果となり、プログラミングを初めて行う生徒にとって、コーディングやデバックは難しい内容であることが明らかとなった。一方、センサの働き (Q7) やアクチュエータの働き (Q8) の理解については、肯定的回答が

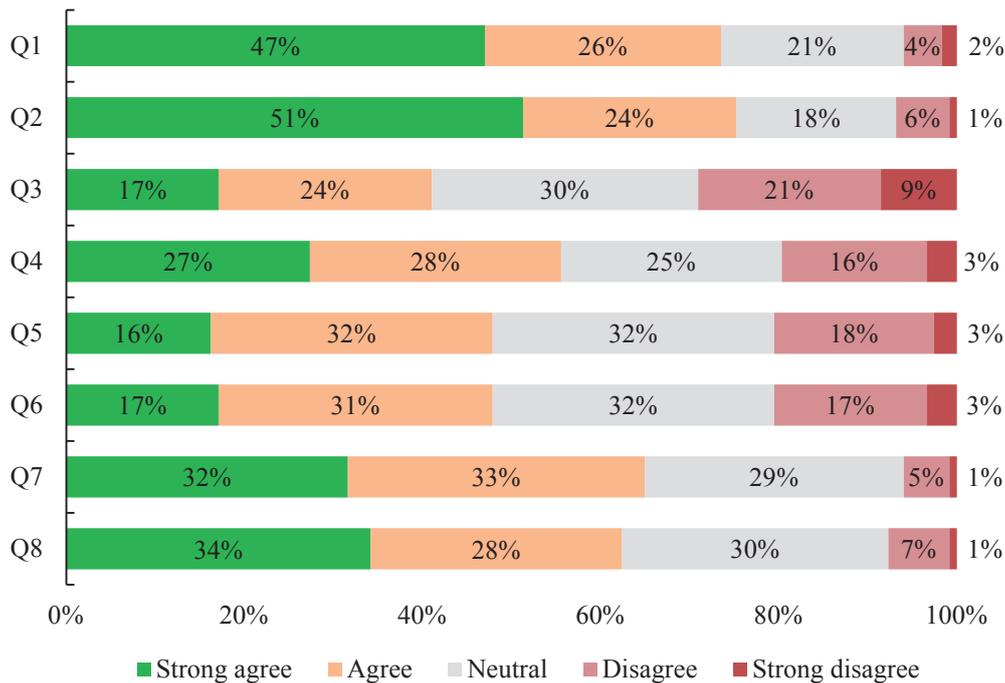


図4 生徒によるプログラミング教材の評価結果

60%を超えていた。中学生でも超音波距離センサや照度センサなど、センサのしくみを理解することは十分に可能であり、計測・制御システムを構成する入出力装置の理解向上には、実際に装置に触れプログラミングを行い制御することが望ましいと考えられる。

教材評価の自由記述では「コンピュータ全般の操作が苦手である」「大文字や小文字が多くタイピングに苦戦した」などの記述が多数確認された。プログラミング以前に、コンピュータ操作の技能面に課題があることも明らかとなった。授業の4次や6次に行った分岐（if文）を使用したプログラミングでは、3割の生徒が最後までプログラムを完成させることができなかった。特に、デジタル値の閾値を設定し、出力信号を分岐するプログラミングは、生徒にとって難易度の高い課題であった。一方、自由記述において「プログラミング言語は知っている英語が多かったので打ちやすかった」「プログラムだけでなくセンサなどの組み立てもやりたかった」など前向きな意見も多数見受けられた。

物理量を、センサを用いて計測し、その情報よりプログラムを用いて、アクチュエータなどを動かす計測・制御を学ぶには、実際にプログラムに触れ、システムを制御することが一番と考えられる<sup>8)</sup>。特に中学校技術科の授業では、社会に貢献している計測・制御技術の基本的概念を適切に指導することが重要である<sup>9)</sup>。このため、プログラミング教材は、組込システムなどに代表される計測・制御の構成を取り入れることが必須条件であり<sup>6, 10)</sup>、身近に存在する計測・制御装置を模した教材が望ましいと考えられる<sup>6)</sup>。プログラミング教育に限らず、教材は教育の質を左右する重要な要素である。身近な現象や動作取り入れ、それを制御する教材を用いた教育手法は学ぶ者にとって学ぶ意欲をかき立てる。本教材における制御対象は、誰もが目にしたことのある交通信号機を模したものであり、動作のイメージがしやすく、動作確認も楽しく行うことができる。また、動作が完成した時の達成感も大きい。実機を制御する達成感は、ビジュアルプログラミングでは経験できない。

中学生を対象とした、テキストエディタによるプログラミング教育の実践報告は極めて少ない。これは、学校現場にプログラミング教育実施に必要な設備が整備されていないこともあるが、教員のプログラミングに関する知識と技術が十分に備わっていないことも理由の一つと考えられる。これまでに、プログラムによる計測・制御に関する様々な教材研究が行われているが、中学校現場の教員が、簡単に作製できる教材は極めて少ない。本研究で開発した教材の構成部品はインターネットなどですべて入手でき、さらに、特殊な加工機器は必要としないため、中学校現場の工具だけで簡単に作製できる。情報教育ができる教員を育成する

ためには、プログラミングの本質を理解することが最重要と考えられるが、本教材のような入出力装置を備えたプログラミング学習教材を開発できる技能を育成することも重要と考えられる。

本研究では、開発教材を用いることで、単にプログラムを学ぶのではなく、計測・制御のしくみとプログラムの役割について理解を深めることができた。しかしながら、教材の操作性など多くの課題も確認できた。プログラミング教育を行う上でプログラミングの操作性は最大限に考慮すべきである。生徒の使い勝手の良さを考慮すると、ビジュアルプログラミングが望ましい。本研究では、パソコン操作が不得意な生徒が存在しており、プログラミング以前に、コンピュータ操作の技能面に課題があることも明らかとなった。このことから、小学校高学年におけるプログラミング教育では、ビジュアルプログラミング教材を積極的に使用し、コンピュータに慣れることが必要であると考えられる。一方、中学校技術科では、実機の制御を、テキスト型プログラミングを用いて行い、コーディングやデバック体験を積み重ねることで、計測・制御システムの理解を深めることが重要であると考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、入力装置に超音波距離センサ、照度センサとスイッチ、出力装置にLEDとスピーカー、制御装置にArduino UNOを用い、身近に存在する交通信号機の制御を模したプログラミング教材を開発した。この教材の教育効果を明らかにするため、授業実践を通してビジュアルプログラミング教材と比較した。この結果、実際に入出力装置に触れることで、生徒は意欲的にプログラミングを行い、計測・制御システムの構成やプログラムの役割に関する知識習得において教育効果が認められた。また、多くの生徒がセンサのしくみやその役割に注視しており、センサを用いた計測は計測・制御システムを構想する力の向上に有効であることが明らかとなった。

<謝辞>本研究成果の一部は、福岡教育大学教育総合研究所研究プロジェクト助成事業によるものである。ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 経済産業省：IT人材需給に関する調査，2019.
- 2) 文部科学省：小学校学習指導要領（平成29年3月告示），2017.
- 3) 文部科学省：中学校学習指導要領技術・家庭編（平成29年7月告示），48-59，2017.
- 4) Takeshi Shimoto, Chika Miyamoto, Takatoshi Umeno : Development of the Biological Information Measurement System for STEM Education and High School/University Articulation, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31-4, 594-602, 2019.
- 5) O' Sullivan, D. and Igoe, T. : Physical Computing : Sensing and Controlling the Physical World with Computers, Cengage Learning, 2004.
- 6) Takatoshi Umeno, Takeshi Shimoto : Teaching Material Imitating the Advanced Driver-Assistance System for Measurement and Control Education, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31-3, 412-418, 2019.
- 7) (株)スズキ教育ソフト：中学校学習支援プログラミング教育ソフト・ロボチャート，<https://www.suzukisoft.co.jp/products/robochart/>（2020年9月25日確認済み）.
- 8) Y. Ohnishi, K. Honda, R. Nishioka, S. Mori, and K. Kawada : Robotics Programming Learning for Elementary and Junior High School Students, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.29, No.6, 992-998, 2017.
- 9) 萩嶺直孝, 森山潤：中学校技術科「プログラムによる計測・制御」の学習指導に関する実践研究の展望と課題，学校教育学研究，第26巻，83-94，2014.
- 10) K. Hyodo, H. Noborisaka, and T. Yada : Development of Mechatronics Teaching Materials for Embedded System Engineer Education, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.5, 611-617, 2011.

