

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00992

研究課題名(和文) 晴眼盲弱を区別しない短時間修得・他科目援用可能な初等中等プログラミング教育教材

研究課題名(英文) Programmable Robot Kit for both Visually Impaired and Sighted Elementary School Students

研究代表者

木室 義彦 (KIMURO, Yoshihiko)

福岡工業大学・情報工学部・教授

研究者番号：30205009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：今日の情報化社会では初等中等教育における情報技術教育が必要とされ、様々なプログラミング教材が用いられている。しかし、初心者向け教材のほとんどは、グラフィクスを多用し、視覚障害のある児童生徒は利用できなかった。我々は、晴眼盲弱の区別なく利用可能なプログラミング教材を実現するために、ビジュアルプログラミング言語よりも簡単な、数字キーのみを用いるプログラミング環境を設計、移動ロボット教材を構築した。この教材を用いた実験授業を盲学校や各種イベントで実施し、プログラミング習得に要する時間(逐次処理まで)が、視覚障害のある小学生で15分以内、晴眼小学生で5分以内であり、教材が有用であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

適切に設計されたテキストプログラミング言語であれば、ビジュアルプログラミング言語と同等以上に簡単に、かつ、晴眼盲弱の区別なく、日本語や英語の区別もなく、小学校低学年からプログラミングを学習できることを示した。晴眼盲弱を区別しないプログラミング教材というアプローチは、他に類がなく学術的な意義があると思われる。また、PC不要で特別な準備もなく母語でプログラミングを学習できることは、社会的意義も大きいと思われる。

研究成果の概要(英文)：In the informational society, it seems that elementary school students should learn programming and a robot kit such as LEGO is used as one of adequate programming materials. However, almost all programming tools for beginners employ graphical user interface, so visually impaired students cannot use such programming tools. To reduce the problem, we have proposed a new programming material only using a numeric keypad and a mobile toy robot. Using the programming material, we had experimental classes, which were focused on the ease of use it for both visually impaired and sighted students. As a result, visually impaired students were able to obtain the programming skill within 15 minutes at maximum from their first touch of the robot. On the other hands, sighted students spent only 5 minutes to use the robot.

研究分野：知能ロボット工学

キーワード：プログラミング 視覚障害 ロボット 初等中等教育

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

情報化社会の進展に伴い、初等中等教育においてプログラミング教育の必要性が唱えられ、研究と実践が広く行われてきている[1]。主に中学校や高校で実施されていることが多いが、このプログラミング教育は、大まかに分けると次の3種類である。

- 1) 簡易なプログラミング言語(ブロック型言語やタイル型言語等)を習得し、グラフィクスなどを出力として、プログラムの概念を学ぶもの(プログラミング言語の習得)
- 2) ロボットや動きのある機器を準備し、その動きの制御を目的として、アルゴリズムやプログラミング言語を学習・利用するもの(制御とプログラム)
- 3) コンピュータを使わずにグループゲーム等によりアルゴリズムの概念を学ぶもの(コンピュータを用いない情報教育・アンプラグド)

視覚障害の有無に関わらず、小中学生を取り巻く情報機器や情報化社会環境が大きく変わりつつある現在、特別支援学校(盲学校等)を含む、より低学齢でのプログラミング教育の実現が求められているが、その際の課題や教材設計についての研究は、未だ多くはない[2,3]。

我々は、小中学生のためのコンピュータの動作原理を理解する教材の開発を目的に、1998年から移動ロボット玩具を用いた簡易なプログラミング環境とコンピュータアーキテクチャの学習教材を設計し、中学生を対象として、その効果を検証してきた[4]。また、開発したプログラミング環境は、非常に少数のキーしか用いていなかったため、その習得の容易さ、PCのディスプレイを利用しない点から、視覚障害のある中学高校生徒へのプログラミング実験授業を実施し、晴眼者と同等のプログラミング学習ができることを示してきた[5]。

現在、小学校教育課程におけるプログラミング教育が考えられている。しかし、コンピュータの操作やプログラミング言語の習得は、簡単ではない。LEGO Mindstorm や Scratch などのプログラミング環境でさえも、ジュニア用が別途必要とされている上、視覚障害者については考慮されていない。上述の「プログラミング言語の習得」、「制御とプログラム」、「アルゴリズムの理解」を同時に、かつ晴眼と盲弱を区別しない低学齢向けのプログラミング言語と教材が望まれている。

### 2. 研究の目的

初等中等教育を念頭に、プログラミング対象としてこれまで用いられてきたロボット教材や他教科のIT教材とを接続し、晴眼盲弱を区別せず、児童生徒のプログラム(アルゴリズム)の学習を支援するための要素技術を開発する。開発では、よりユニバーサルデザインが求められる視覚特別支援学校(盲学校)の教諭と協力して行い、実験授業を行う。これらを通して、単なるプログラミング言語の習得ではなく、逐次処理、繰り返し処理、条件判断というプログラムの3要素を、晴眼盲弱を区別することなく、短時間かつ身の周りの様々なものと関連付けられる教材作成の課題を抽出し、その解決を試みる(図1)。

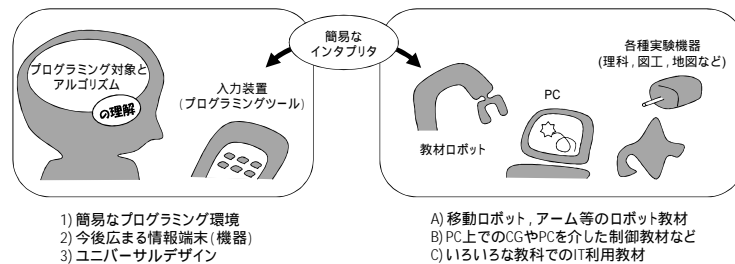


図1 簡素かつユニバーサルデザインのプログラミング教育環境

### 3. 研究の方法

研究では、簡易なプログラミングインタフェース(I/F)を新たに設計し、これまで我々が開発してきたプログラミング教材(移動ロボット)と結合することとした。プログラミング教育シナリオ(シラバス)は、小学校授業を想定し、短時間(45分程度)とする制限を加え、実証実験や他教科への導入を容易化する。これらの効果や課題を実験授業を通して検証し、初等中等教育でのプログラミング教育導入の課題を明らかにすることとした。

簡易プログラミングI/Fの設計開発では、特定のキーボードへの凸部の設置以外、晴眼と盲弱の差を解消する特別な機能は一切追加しないこととした。これにより、晴眼と盲弱による障壁の差は残しながら、晴眼盲弱を区別せず同等に、一緒にプログラミング学習が可能か否かを検証する。

### 4. 研究成果

#### 4.1 ロボット言語仕様と実装

##### (1) 移動ロボットの命令セット

ロボットへの命令は、移動とビーブ音に関する5つの基本命令、および、繰り返しと条件分岐を実現する制御命令である(表1)。基本命令では、1から9の1桁の数字で移動や回転の動作時間を、ビーブ音の場合は、音階を指定できる。[基本命令]+[0]の場合は、停止ではなく、

実行時に 0~9 の乱数がセットされ、乱数の概念を学習することができる。制御命令の繰り返し処理では、FOR と NEXT に囲まれたブロックを FOR に続く数字 1 桁の回数だけ繰り返す。0 を指定すると無限回となる。図 2 (a) は、時計回りに四角形を描くプログラムの例である。また、条件分岐は、IF と ENDIF で囲まれたブロック構造とし、条件文は、IF + センサの識別子とセンサの状態 (ON/OFF) で表す(図 2 (b))。コード中の "LT" は、左タッチセンサの意である。その他、条件付き繰り返しの WHILE 文を用意している(図 2 (c))。なお、ここでは、FOR や IF など、英文コマンドのように説明したが、日本語でも他言語でも自由に決めてよい。次節で述べるようにそれぞれ数字ボタン 1 個に対応しているだけだからである。

表 1 ロボットプログラミング命令セット

Cmd	Param	Description
FW	d	move forward ( 0:random)
BK	d	move backward ( 0:random)
LR	d	CCW rotation ( 0:random)
RR	d	CW rotation ( 0:random)
BP	d	musical scale ( 0:random)
FOR	d	loop block ( d times, 0:inf)
NEXT	-	end of loop
IF	sid & ss	conditional branch block
ENDIF	-	end of IF block
ENDW	-	end of while block ( with IF)

```
FOR 4
FW 5
RR 4
NEXT
```

(a) loop

```
IF LT ON
RR 4
ENDIF
```

(b) conditional branch

```
IF LT OFF
FW 1
ENDW
```

(c) while loop

図 2 サンプルプログラム

### (2) プログラム入力方式

初学者の場合、PC やマウスの操作さえも不慣れなことが多い。そのため、プログラムの入力方式も 10 個の数字キーのみの最小限かつ身体的に直感的なものとする事とした。

数字キー配置としては、世界共通の電話のボタン配置を用いる。ロボットの動作命令のうち、前進や後退、左右回転は [5] キーを中心とした上下左右に配置する(図 3)。PC のテンキー配置とダイヤル配置は数字の並びが昇順か降順かの違いがあるが、数字そのものではなく、キーの空間的な配置に着目することで、直感的な操作を実現する。制御命令やセンサ選択については、空いているキーに配置する。センサ選択キーの配置は、実際のロボットのセンサ配置(左右や上下等)に一致させている(図 4)。実行/停止とリセットは、[0]キーの左右に配置している。

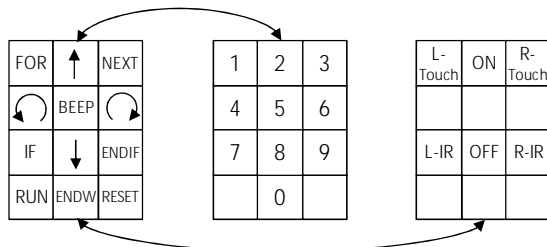


図 3 コマンド配置と状態遷移

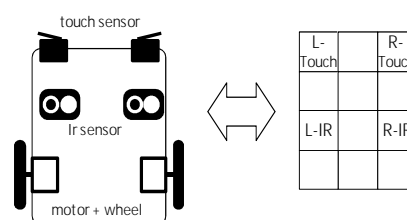


図 4 センサ配置とキーレイアウト

### (3) 実装

ロボット教材のベースは、市販ロボット玩具 (MR-9172 EK-JAPAN) である。2 つのモータ、2 つの光センサとタッチセンサ、ブザー等を搭載している。これに、Arduino UNO ボードとシールド基板、および、16 個のタクトスイッチを搭載した 4x4 キーパッドを設置する(図 5)。前節で設計したロボット言語のインタプリタは、Arduino 上に実装している。キーパッドから入力されたプログラム列は、マイコンの EEPROM にも保持され、電源オフ後も再実行可能である。

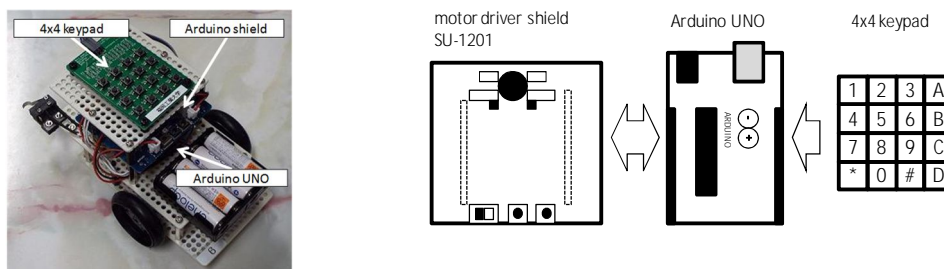


図 5 移動ロボット (KOROBO) + Arduino + 4x4 keypad

## 4.2 実証実験

### (1) 視覚障害児による教材利用

視覚障害のある児童に対し、開発した教材を用いた実験授業を行った(2018/3/6)。参加者は、小学3年生2名と6年生4名、その内、全盲2名、弱視4名であった。45分の授業で、各参加者に1台ずつプログラミングロボットを配布した。児童への配布資料は、ボタンのレイアウトを説明した点字および拡大文字の紙資料1枚であった。

実験の様子をビデオカメラで撮影し、参加者が初めてロボットを触ってから、逐次処理のプログラムを自由に作成できるようになるまでの時間を計測した。この実験では、全員が15分以内でプログラミングを作れるようになったことが確認できた。ScratchやLEGO MindstormがPCやマウスの操作スキル習得に時間を要することと比較しても、十分短い時間でテキストプログラミングができるようになることが示された。

### (2) 晴眼者による教材利用

晴眼者に対するロボット教材の操作性を調査した。モノづくりイベント(2018/8/4-5)の来場者にプログラミングをしてもらい、プログラミング習得(逐次処理まで)に要した時間を主観的に答えてもらった。回答者は、老若男女127名であった。調査の結果、小学生を含むほぼすべての年代で、平均5分以内にプログラミングできるようになったと回答した(図6)。図中、大学2年生で突出した値になっているのは、逐次処理だけでなく、繰返しと条件分岐までの習得時間を回答した人がいたためであった。

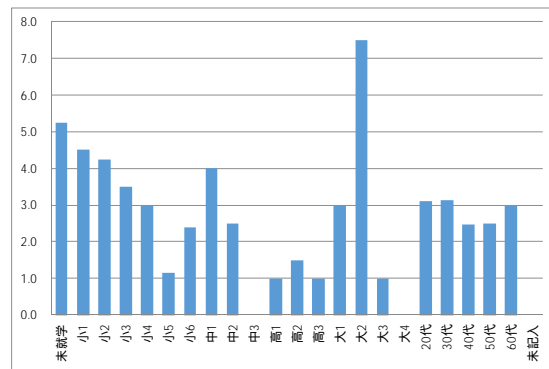


図6 プログラミング習得(逐次処理)に要した時間

### (3) 第三者による教材使用

開発者ではない第三者による実験授業を実施し、教材の利用可能性を評価した。小学校プログラミング必修化に向けた国の事業「地域におけるIoTの学び推進事業(総務省)」実施団体(島原市)に教材を提供し、教材の評価を行った。実験授業の実施には、長崎盲学校の協力も得た。参加者は、市内の小学校1年生から6年生の32名であった。各回2時間のクラブ活動を4回行い、5回目は競技会を実施した(2018/10/21~12/2)。活動計画立案から指導は、すべて地元メンターが単独で行った。地域ICTクラブ活動ということで、楽しさや遊びを優先したカリキュラムがメンターにより設計された。図7は、第5回の競技会の風景である。



(a) ダンスコピー競技 (b) 棒倒し競技 (c) 障害物回避レース (d) 全盲者を交えたエキシビジョン

図7 ロボット競技会風景

地域ICTクラブの最終回(12/02)に実施した参加者向けのアンケート結果(有効回答数29名)について述べる。プログラミングの講座については、28名が楽しかったと回答していた。そのため、クラブ活動として最も重視していた楽しむことについては達成できたと考えられる。なお、「いいえ」と回答した1名も「今後も講座に参加したい」と回答していた。また、図8に示すように、ロボットの使い方が難しい、プログラミングが思ったようにならなかったという意見が少なくないのに対し、あきらめずにプログラミングを行えたという自己達成感が大きかった。これらから、小学校での課外活動やクラブ活動での教材の利用可能性をある程度示すことができたと考えられる。

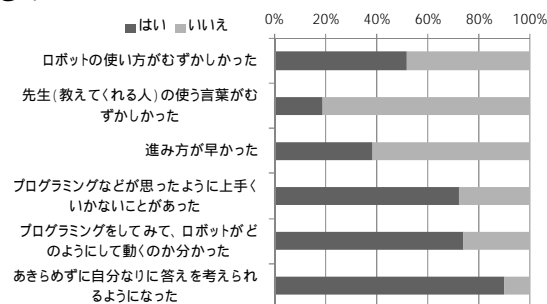


図8 第三者実施授業でのアンケート結果

### 4.3 新しいプログラミング環境の他マイコンボードへの拡張

新しいプログラミング環境を「10 キープログラミング」と呼称することとし、いくつかの他のマイコンボードやロボット玩具への拡張を試みた。一つは、Arduino マイコンボードで制御されるドローンへの拡張、もう一つは、玩具メーカー独自基板への移植である。前者については、基本構想を発表し、研究を継続している。後者についても発表・公開準備を進めている。その他、四肢障害のある児童生徒の利用も想定し、利用するキーの少なさを生かしたキースキャン方式によるワンボタンでのプログラムの入力環境も実現した(図9)。市販のボタン装置との組み合わせにより、細かいボタン操作が難しい児童生徒でも同じロボット教材でコンピュータ教育を行える可能性があり、今後検証を行う予定である。

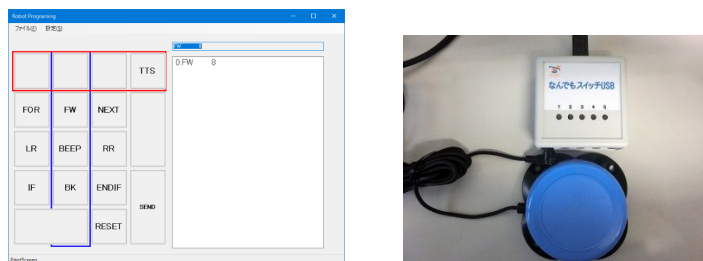


図9 キースキャン方式によるワンボタンプログラミング

#### <引用文献>

- [1] 小学校プログラミング教育の手引, 文部科学省, [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm) (2020/7/8 確認)
- [2] D. Bau, et.al., "Learnable Programming: Blocks and Beyond", Communications of the ACM, Vol. 60, No. 6, pp.72-80, 2017.
- [3] J. D. Oliveria, et.al. "Teaching Robot Programming Activities for Visually Impaired Students: A Systematic Review", Proc. of 11th Int. Conf. UAHCI 2017, pp.155-167, 2017.
- [4] 情報社会に生きる小中学生のための計算機の動作原理の教育, 甲斐康司, 木室義彦, 坂口良文, 安浦寛人, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.4, pp1121-1131, 2002.
- [5] 視覚障害のある中高生のためのロボットを用いたプログラミング教育, 木室義彦, 寺岡章人, 家永貴史, 八木博子, 沖本誠司, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J95-D, No.4, pp.940-947, 2012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yoshihiko KIMURO, Takafumi IENAGA, Seiji OKIMOTO
2. 発表標題 Numeric Key Programming: Programmable Robot Kit for both Visually Impaired and Sighted Elementary School Students
3. 学会等名 17th International Conference on Computers Helping People with Special Needs ( ICCHP2020) ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木室義彦, 牟田口幸紘, 酒井洋一, 家永貴史
2. 発表標題 10キープログラミング教材による地域ICTクラブの実践
3. 学会等名 SSS2019 情報処理学会 情報教育シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩金雄輔, 堤康佑, 家永貴史, 木室義彦
2. 発表標題 視覚障害をもつ児童生徒のための10キープログラミング環境のドローンへの拡張
3. 学会等名 第38回 計測自動制御学会九州支部 学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木室義彦, 家永貴史, 川下峻平, 岩金雄輔
2. 発表標題 晴眼盲弱を区別しない直感的なプログラミングロボット教材
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木室義彦, 家永貴史, 沖本誠司
2. 発表標題 晴眼盲弱を区別しない小学生向け非教育用プログラミング言語とロボット教材
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木室義彦, 家永貴史
2. 発表標題 晴眼盲弱を区別しない初等プログラミング教材
3. 学会等名 平成30年度電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	家永 貴史  (IENAGA Takafumi)  (00393439)	福岡工業大学・情報工学部・准教授   (37112)	
研究 協力者	沖本 誠司  (OKIMOTO Seiji)		