

# 晴眼盲弱を区別しない、PC を使わない micro:bit プログラミング環境の提案

木室義彦<sup>†1</sup> 古里健一<sup>†1</sup> 家永貴史<sup>†1</sup>

**概要:** 我々は、晴眼盲弱を区別しないプログラミング教材を開発している。これまで、Arduino をベースに 10 個の数字キーのみでプログラミングできる移動ロボットやドローンの教材を開発、盲学校において実験授業を実施し、晴眼児童と同様に学習可能であることを確認してきた。この活動の中で、micro:bit に興味を持つ児童や教員があることが分かった。また、micro:bit は小学生向けではあるが、プログラミング環境が PC であり、教育現場への導入は簡単とはいえないことも報告されている。この論文では、micro:bit を用いた市販ロボット玩具をベースに、PC を使わない晴眼盲弱の区別なく利用可能な micro:bit プログラミングについて検討したので報告する。

**キーワード:** micro:bit, プログラミング, 視覚障害, ロボット, 10 キープログラミング

## Proposal of micro:bit programming without PC for both Visually Impaired and Sighted Elementary School Students

Yoshihiko Kimuro<sup>†1</sup> Kenichi Furusato<sup>†1</sup> Takafumi Ienaga<sup>†1</sup>

**Abstract:** The micro:bit block programming editor is not accessible for visually impaired yet. So, we propose a new and easy programming environment for micro:bit. The environment does not require any PC or tablet so visually impaired students can use it. In this paper we explain on details of our programming environment for a toy robot kit involving micro:bit.

**Keywords:** micro:bit, numeric key programming, visually impaired, robot programming

## 1. はじめに

### 1.1 背景

今日の情報化社会では、児童生徒もプログラミングを経験し、コンピュータでできることできないことを体験することが重要である<sup>[1]</sup>。初等プログラミング教材としては、様々なものがあるが、プログラムの振る舞いが物理的に分かりやすいものとして、マイコンボード教材やマイコンボードを組み込んだロボット教材がある<sup>[2]</sup>。

この学習用マイコンボードとしては、micro:bit や Arduino, Raspberry Pi が広く知られている。どのマイコンボードも小型かつ初学者向けのプログラミング環境であるブロックプログラミングが利用可能となっている。この内、導入のしやすさと最初に利用できるセンサの多さから、小学校では micro:bit が選ばれることが多い。その実践例も数多く報告されているが、課題も報告されている<sup>[3][4]</sup>。

一方我々は、視覚障害のある児童生徒を対象としたロボットプログラミング教材を開発し、その有効性を確認してきた<sup>[5][6]</sup>。この教材の特徴は、目が見えなくても、プログラムの振る舞いがロボットの動きとして触って理解できるということの他に、初学者の学習障壁の一つである PC を一切使用しないというものであった。ただし、教材のベ

スが Arduino マイコンボードであったため、市販教材の改造には、相応の電子工作の知識とスキルが必要であった。

### 1.2 研究の目的と方法

本研究では、新たに、PC を使用しない micro:bit プログラミング環境を構築し、晴眼盲弱を区別しないレベルで小学校現場への導入が容易なロボットプログラミング教材を開発する。その上でこの教材を用いたプログラミング学習カリキュラムを試作し、学校現場で既に行われている micro:bit プログラミング学習との比較を行なう。ロボットプログラミング教材の有用性については、既に数多くの研究報告がなされていることから、本研究では、学習者のプログラミングスキル習得に要する時間、および学校現場で求められている学習項目への教材導入の可否の観点から検証を行う。これにより、視覚障害のある児童でも、ビジュアルプログラミング言語を用いる晴眼児童と同等にプログラミングの学習ができることを示そうとしている。

本報告では、PC を用いない micro:bit プログラミング環境の設計方針とその実装例を報告する。

## 2. micro:bit とプログラミング教育

我々の教材は、コンピュータの動作原理を学ぶことを目的としている。すなわち、コンピュータはプロセッサとメモリで構成され、プロセッサはメモリに記憶されたプログ

<sup>†1</sup> 福岡工業大学 Fukuoka Institute of Technology.

ラムを1行ずつ読み出して実行する。これにより、コンピュータはプログラムされたとおりに動作するし、間違ったプログラムは、間違ったとおりに動作する。人間がプログラムできないことは、コンピュータにもできない。これらはプログラミングを通して体験、理解することができる。この体験を micro:bit コンピュータ単体でできるようにするというのが我々の着想である。

### 2.1 小学生向けマイコンボード micro:bit

イギリスの BBC が開発した micro:bit は、小学校高学年向けに取扱いが容易になるよう工夫されたマイコンボードである(Fig.1 (a)). 入力ボタンや LED 表示, 加速度センサ, 磁気センサ, 光センサ, 温度センサが標準搭載されており, すぐに実験できるようになっている。また, 開発環境として, web ブラウザベースのブロックプログラミング言語である MakeCode が提供されている(Fig.1 (b)). この MakeCode は, JavaScript のコードを出力できるようになっており, テキストプログラミングへの移行も考慮されている。MakeCode で作成したプログラムは, USB ケーブルを經由して micro:bit 本体にダウンロードし, 実行できる(Fig.2)。なお, MakeCode には, マイコンボードのシミュレータも付属しており, 事前に動作確認もできるようになっている。

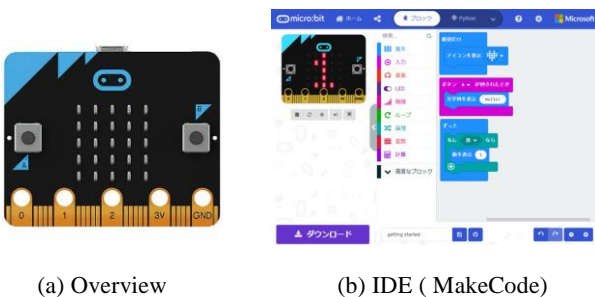


Fig.1 micro:bit

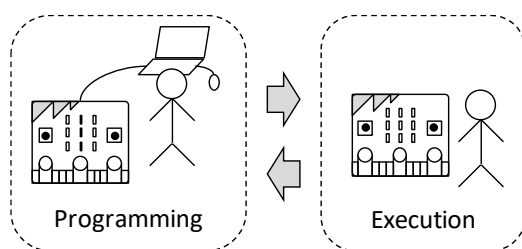


Fig.2 Programming and execution

以上のように使いやすさに配慮された micro:bit は数多くの実践例が報告される一方, 様々な課題があることも指摘されている。井上らは, さまざまなプログラミング教材を用いた実験授業を行う中で, OS を含む PC の設定, ソフトウェアのインストールやインターネット接続の可否, ブラウザの種類など事前に検討すべきことが多々あり, それが障壁になっているとしている<sup>[7]</sup>。同時に教員の ICT スキルが不足しているとの指摘もある<sup>[8]</sup>。また, PC やタブレット

があるところではしかプログラミングができないため, 利用範囲が制限されてしまう。これらは, 小学校プログラミング必修化に係る文科省の報告書の中でも指摘されている<sup>[9]</sup>。

### 2.2 視覚障害とプログラミング学習

マイコンボードを用いた, 視覚障害のある初学者向けのプログラミング教材開発も行われている。例えば小林らは, Arduino を用い, 触覚だけでは判別しにくいマイコンボードのコネクタの改造とスクリーンリーダの併用を試みている<sup>[10]</sup>。しかし, 視覚情報があっても Arduino は小学生には少し高度過ぎる。Hadwen-Bennett は, フィジカルプログラミング Code Jumper の開発<sup>[11]</sup>とは別に, 視覚障害児向けにスクリーンリーダと Python を用いた micro:bit プログラミングも提案している<sup>[12]</sup>, 続報は未だである。なお, MakeCode 自体は, JavaScript editor でスクリーンリーダは使えるが, Block editor は未だ accessible ではないと認めている<sup>[13]</sup>。

一方, 視覚障害児にとって利用が困難なビジュアルプログラミング環境の改良もいくつか試みられている。プログラミング要素を実体のあるブロックとし, これに RFID タグや QR コードを添付するものなどである<sup>[14][15][16]</sup>。しかし, これらの教材は, 特別なハードウェアやコンピュータ操作のスキルが必要であり, 前節に述べた晴眼児の学習での課題も残されたままである。

### 2.3 PC を使わない micro:bit プログラミング

PC は多目的に使える ICT デバイスであるが, PC 利用に起因する課題も多い。盲学校に限らず, PC やタブレット, スマートフォンの利用が機材や指導者のスキルの観点で容易ではない学校現場では, より簡単な晴眼盲弱も区別しないレベルで利用可能なプログラミング教材が必要と我々は考えている。

PC を使わない直感的なプログラミング手法の一つが, 我々が提案している 10 キープログラミングである。タイピングを 0~9 の数字キー入力のみとし, プログラミングの対象として, LOGO の亀や Scratch の猫と同様の移動ロボットを想定している。電話のボタン配置やキーボードのテンキー配置を用い, '5'キーを中心に, その上下左右に人間の身体性と一致した移動ロボットの前進後退左右回転のコマンドを配置し, 記憶しやすくしている。繰り返しや条件分岐の制御命令は, 残りの 5 つのキーに配置される。他は実行/停止とリセットのみで, プログラムの入力モードや実行モードを切り替えるボタンはないシンプルな構成となっている。'5'キーの上面には, 視覚障害のある児童生徒でもキーが分かるように, 凸シールを設けている。これらの工夫により, 晴眼児童では, 教材に初めて触れてから 5 分, 視覚障害のある児童生徒の場合でも 15 分でプログラミングの逐次処理まで習得できることを確認している<sup>[6]</sup>。

今回は, micro:bit を用いた移動ロボットのコマンド配置, さらに, micro:bit 本体に搭載されているセンサを直感的に

利用するためのキー配置が設計の課題となる。

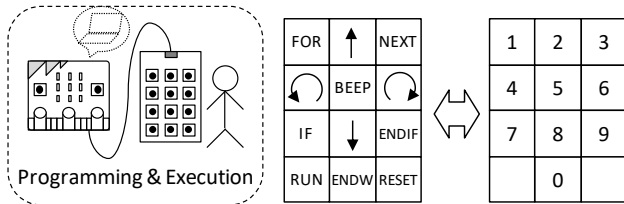


Fig.3 micro:bit programming & execution without PC

### 3. micro:bit ロボット言語仕様と実装

今回、micro:bit を搭載した移動ロボット教材として、クローラ型移動ロボット (TAMIYA ITEM 71201) (Fig.4)を用いた。この移動ロボットは、本体前方に超音波センサを搭載し、独立2輪駆動クローラによる前進後退、左右回転の各移動、およびビープ音の鳴動が可能となっている。

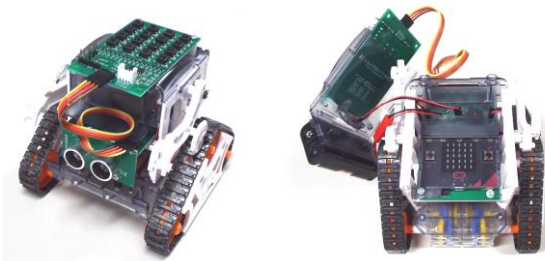


Fig.4 Microcomputer Robot (crawler type) + numeric keypad

#### 3.1 移動ロボットの命令セット

移動ロボットへの命令は、これまで我々が開発してきたものと同様、移動とビープ音に関する5つの基本命令、および繰り返しと条件分岐の制御命令である (Table 1)。

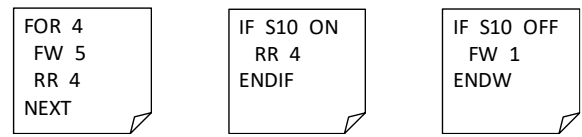
Table 1 Robot programming commands

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)

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、ビープ音の場合は、音階を指定できる。[基本命令]+'0'の場合は、停止や無音ではなく、実行時に0~9の乱数が自動的にセットされる。

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。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、センサの識別子とセ

ンサの状態 (ON/OFF) で表す。WHILE 文は、IF と ENDW のブロックで記述することができる。Fig.5 は、これらの制御命令の例である。コード中の「S10」は、10cm 超音波センサの意であり、3.3 節で説明する。



(a) loop (b) conditional branch (c) while loop

Fig. 5 Sample Programs

なお、この節では、基本命令や制御命令の FOR, IF, センサ名などを英文コマンドのように説明したが、日本語でも他の言語でも自由に取り決めてよい。それぞれボタン1個に対応しているだけだからである。

#### 3.2 micro:bit のピン割り当てとセンサ

micro:bit (v1.5) は、電源と GND を除いて 25 本の入出力ピンを持っている (Table 2)<sup>[17]</sup>。この内、TAMIYA マイコンロボットは、P13-P14 を2つのモータの回転速度制御 (PWM) に、P15-P16 をモータのブレーキ (デジタル) に使用している。ブザーは、P8 に接続されている。また、超音波センサは、I2C シリアルバス (P19-P20) のアドレス 0x2C で接続されている。

micro:bit に搭載されているセンサデバイスは、micro:bit のバージョンにより異なる。今回使用した v1.5 は、LSM303AGR を搭載しており、磁気センサ (0x1E)、加速度センサ (0x19) が I2C 接続されている。光センサは、LED を駆動する P3, P4, P10 からの入力値を用いている。温度センサは、micro:bit の CPU コアの内部温度センサで代用されているが、外気温との差が大きい。

この micro:bit に 16 個のタクトスイッチを搭載した I2C の 4x4 キーパッド (アイロジック) を接続した。I2C アドレスは、他のセンサと競合しない 0x08 とした。なお、キーパッドには I2C ではなく、I/O ピンを用いる抵抗分圧式もあったが、micro:bit の GPIO は、ユーザ毎に様々な用いられており、アナログ端子1ピンを占有することは、他の micro:bit 教材開発の支障になると考え、採用しなかった。

Table 2 micro:bit pin assign

Pin No.	Func.	Ref.
P0, P1, P2	GPIO	Reserved
P5, P11	GPIO	A, B button
P3, P4, P10	GPIO, ADC	Light Level sensor
P3, P4, P6, P7, P9, P10, P23~28,	GPIO	LED screen
P8	GPIO	<i>Buzzer</i>
P13, P14, P15, P16	GPIO, PWM	<i>Right/Left motor control</i>
P19, P20	I2C	<i>Mag, Accel, Sonar, keypad</i>
P17, P18 / P21, P22		Vcc / GND

### 3.3 実装

ロボット言語のインタプリタは、micro:bit 上にファームウェアとして実装している (Fig. 6)。ファームウェアの開発には、Arduino IDE と Nordic Semiconductor nRF5 based boards ライブラリを用いた。このファームウェアでは、micro:bit の電源オンと同時にインタプリタが起動し、キーパッドからプログラム列を入力し、実行することができる。現在のファームウェアでは、入力可能なプログラムは 256 ステップであり、FOR 文、IF 文、および WHILE 文の入れ子は、それぞれ 10 段まで可能である。なお、本実装では、モニタを有していない。学習者は頭の中でプログラムを考え、他者には自分の言葉やロボットの動きでプログラムを伝えることになる。プログラムが長くなると紙に書くなどの工夫が始まる。

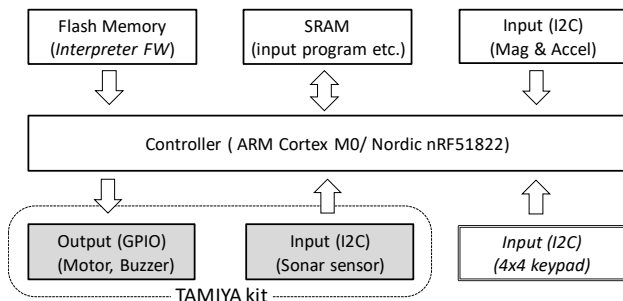


Fig. 6 Block diagram

今回開発した移動ロボット教材は、マイコンボードとして Arduino ではなく micro:bit を用いていること以外、命令セットに違いはない。違いは、超音波センサおよび micro:bit に内蔵されている各種センサの 10 キーによる選択と使用方法である。

#### (1) センサ配置

教材開発のベースとしたマイコンロボットは、超音波センサ 1 個であり、これまでのロボットのように左右にタッチセンサや赤外線センサを持つものではない。このため、従来の左右のタッチセンサの配置と大きくセンサ配置を変えない工夫が必要となった。具体的には、超音波センサの検出する距離値を固定し、これまで左右のタッチセンサの配置に使っていた '1' と '3' のキーそれぞれに対し、10cm センサと 30cm センサを設定した。それぞれ、10cm 以内、30cm 以内で反射波が返ってくる場合に ON となる。

この他のセンサとして、micro:bit 搭載のセンサや入力装置を利用可能とした (Fig.7)。micro:bit 基板表面左右にある A, B 2 つのボタンは、'5' キーの左右の '4' と '6' に配置した。また、キーパッド中央の '5' には光センサを、'5' キーの上の '2' には磁気センサを配置した。micro:bit の光センサは、マイコンボード中央の LED アレイを用いており、磁気センサは「地図は北が上」という理由からである。また、'7' から '9' のキーは、micro:bit エッジコネクタの P0 から P2

に予約しているが、今回のロボット教材は、P0~P2 の端子は利用できないため、'5' キーの下の '8' に加速度センサを配置した。micro:bit の加速度センサを用いたオンボードジェスチャが「自然落下」であることに合わせた。

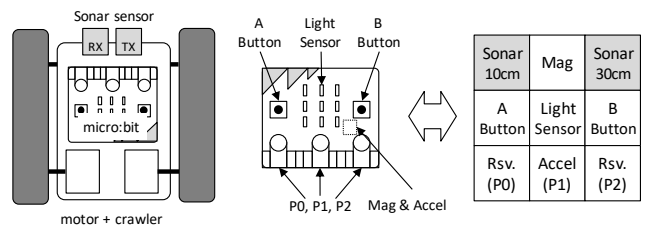


Fig. 7 Layout of Sensors and keys

#### (2) センサの 2 値化とキャリブレーション

micro:bit のセンサ出力は、デジタルとアナログの両方があるが、今回の試作では、移動ロボットの条件分岐命令で利用するため、すべて、ON/OFF の 2 値とすることとした。micro:bit の光センサは、明暗の 2 値、磁気センサは、基板が磁北の方向を幅 30[deg] で向いている時に ON とする磁北センサとした。加速度センサは、基板が水平から 45 [deg] 以上傾いた時、または、加速度の絶対値が 1.2 G 以上、または 0.8 G 以下の時に ON になることとした。

センサを利用する際、センサのキャリブレーションや 2 値化の閾値設定が問題となる。ライントレースカーなど、閾値の調整自体をプログラミング学習の試行錯誤の課題とする例もあるが、環境が変化するたびに行うのであれば、キャリブレーション用の別のプログラムとした方が良い。このような理由から、今回、光センサの閾値は、プログラム実行中に自動的に設定されるようにした。すなわち、プログラム実行中の照度の最大値と最小値を逐次更新し、これを基に閾値を設定する。これは、今回の教材では micro:bit 基板自体が半透明のクリアケースに覆われていること、micro:bit の上方にキーボードを設置し、陰になっていることなどから閾値調整がより複雑になると考えたためでもある。一方、micro:bit 磁気センサの標準的なキャリブレーションは、LED の表示を視認しながら行う必要があり、時間を要するだけでなく、キャリブレーションが終了するまで磁気センサは利用できない。すなわち、視覚障害のある児童生徒には実施困難であるし、晴眼学習者にとっても面倒である。このため、磁気センサのキャリブレーションもプログラム実行中に逐次行うようにした。ロボットが回転動作を行う間に磁気センサの X 軸および Y 軸のオフセット値を自動的に計算する。なお、加速度センサは、±2g のフルスケールにセンサ側で補正されている。

Fig.8 は、現時点でのコマンド配置と状態遷移図である。

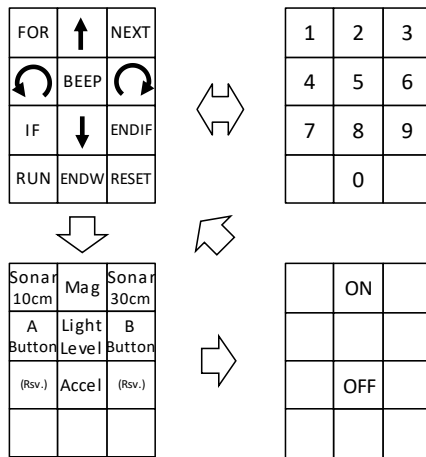


Fig. 8 Commands layout and its state transition

### 3.4 実験授業と公開

#### (1) 実験授業

開発した教材は、2021年6月中旬から福岡視覚特別支援学校にて各学年の担任教諭により試験利用を始めてもらっている。現時点での報告では、超音波センサによる電子白杖の機能は、弱視児童2年生でも理解できているが、コンパスについては、小学校3年生の学習項目<sup>[18]</sup>であるためか、実感が湧かなかった模様とのことであった。移動ロボットの前後左右といった相対的方位と方位磁針のような絶対的方位の理解が必要になると思われる。引き続き、各学年で利用してもらい、各教科に係る教材の有用性を検証していく予定である。

#### (2) 教材の製作と公開

今回開発した micro:bit ロボット教材は、PC やマイコンボードに不慣れな人でも簡単に製作できるようになっている。TAMIYA のマイコンプログラミングロボットは、I2C のコネクタが外部に準備されていることから、micro:bit 付きのロボットキットと I2C 接続 4x4 キーボード(線材付属)の他に、10[mm]のスペーサ 2 個を準備すれば、ビス留めだけで誰でも簡単に製作できる。ファームウェアは、USB メモリのように micro:bit にコピーするだけである。

また、オリジナルの TAMIYA のロボットキットには、MakeCode で作成されたサンプルプログラムがプリインストールされているが、同様のプログラムは、以下のコードをそのまま入力(写経)すれば直ちに動作確認することができる。

#### 【ロボットプログラム例：コード】

- ・基本命令の確認(前進後退左右 90 度回転) : 25-85-44-64
- ・障害物回避ロボット(超音波センサ) : 10-21-712-62-9-3
- ・追跡ロボット(超音波センサ) : 10-732-21-9-738-41-9-3
- ・暗所で停止するロボット(光センサ) : 10-752-21-9-3
- ・南に進むロボット(磁気センサ) : 10-722-21-9-728-41-9-3
- ・転倒で停止するロボット(加速度センサ) : 788-21-0

コードの入力自体は、数字ボタンを押すだけであることから、まず、動くロボットを確認し、どのようなプログラムやアルゴリズム、センサで動いているのかを、年齢に応じて順次、学習していくことができる。

現在、ファームウェアの公開準備中である (<https://www.fit.ac.jp/~kimuro/Maker/>)。

## 4. おわりに

初学者向けに広く利用されているマイコンボードの micro:bit を PC 不要かつ、視覚障害のある児童でも利用可能な簡単なプログラミング教材とする、これまでにない全く新しい方法を提案した。また、この提案手法を micro:bit 搭載の市販玩具に実装した。これにより、PC 利用に起因する様々な問題を回避し、晴眼盲弱の区別なく、小学校1年生からプログラミング学習の導入に用いることができるようになった。現在、盲学校で教材を試用してもらおうと共に公開用 Web ページを整備中である。

ただし、本教材だけでプログラミングのすべての概念を学習できる訳ではない。たとえば、変数の概念は、本教材では、繰り返し回数や条件文のセンサの ON/OFF 値でしか現れず、変数を用いた演算も行うことはできない。これについては、10 キープログラミングの拡張として、検討を始めている。なお、小学校のどの学齢で変数を学習すべきかは、学習指導要領の算数の内容とも関係すると考えられ、引き続き小中高の教諭と議論を進めていく予定である。

また、micro:bit は、中高生の教育にも用いることができる。今後は、初学者向けから中級者向けへの接続を行う予定である。すなわち、ロボット教材の次のステップとして、micro:bit 単体でプログラミング実験を行うための言語設計とシラバスを考える。micro:bit のエッジコネクタ P0~P2 に任意のセンサや入出力装置が取り付けられた際の直感的に理解可能な入出力コマンドを追加する予定である。この場合、加速度センサや温度センサは、10 キーの'1'と'3'のキーに配置することになる。

なお、本研究の教材開発に係る部分は、文科省科研費(20K03240)によるものである。

## 参考文献

- [1] 安浦寛人, "情報技術を社会常識にするためには", 情報処理, Vol.40, No.1, pp. 47-49, 1999.
- [2] 文部科学省, "小学校プログラミング教育の手引き(第二版)", 2018.
- [3] 赤澤紀子, 石井海渡, 小早川祐一郎, 中山泰一, "教員のためのプログラミング教室の実践報告", 情報教育シンポジウム 2018 pp.227-232, 2018.
- [4] 長谷川春生, "小学校におけるプログラミング教育の方向と課題", 知能と情報, Vol.30, No.3, pp.137-147, 2018.
- [5] 木室義彦, 寺岡章人, 家永貴史, 八木博子, 沖本誠司, "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", 信学論 D, Vol. J95-D, No.4, pp.940-947, 2012.

- [6] 木室義彦, 牟田口幸紘, 酒井洋一, 家永貴史, "10 キープログラミング教材による地域ICTクラブの実践", 情報教育シンポジウム 2019,2019.
- [7] 井上泰仁, 奥田真, 中川重康, "中学校技術・家庭における micro:bit を活用したプログラミング教材開発", 情報教育シンポジウム 2019, 2019.
- [8] 遠山紗矢香, "micro:bit を用いた小学校理科の協調的なプログラミング学習", 情処学会研究報告 Vol.2019-CE-149, No.20, pp.1-5,2019.
- [9] 文部科学省, "教育委員会等における小学校プログラミング教育に関する取組状況等について", 2017.
- [10] 小林真, 滝沢穂高, 大矢晃久, "視覚障害の児童生徒用プログラミング教育教材の検討", 信学技報 WIT2019-49, 2020.
- [11] C. Morrison, N. Villar, A. Hadwen-Bennett, T. Regan, D. Cletheroe, A. Thieme, S. Sentance, " Physical Programming for Blind and Low Vision Children at Scale", HUMAN COMPUTER INTERACTION, pp.1-35, 2019.
- [12] A. Hadwen-Bennett, " BBC micro:bit for Visually Impaired Learners", 2018. URL [http:// physicalcomputing. co. uk/ 2018/ 01/ 03/ bbc-microbit-for-visually-impaired-learners/](http://physicalcomputing.co.uk/2018/01/03/bbc-microbit-for-visually-impaired-learners/) (2021/6/23 閲覧)
- [13] micro:bit 教育財団, Accessibility URL [https:// makecode. com/ accessibility](https://makecode.com/accessibility) (2021/6/23 閲覧)
- [14] 本吉達郎, 掛橋駿, 小柳健一, 増田寛之, 大島徹, 川上浩司, "P-CUBE : 視覚障害者のプログラミング教育支援用ブロック型ツール", 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.3, pp.172-180, 2015.
- [15] 高橋幹太, 菅原研, 松本章代, "視覚障害者をもつ子ども向けプログラミング環境の開発,,", 情報処理学会東北支部研究報告 vol.2019, 2020.
- [16] 川崎空, 菅原研, 松本章代, " 視覚支援学校における低学年向けプログラミング教育環境の開発", 情報処理学会東北支部研究報告 vol.2020 , 2021.
- [17] micro:bit 教育財団, micro:bit Hardware -Details of the latest micro:bit hardware revision- URL [https:// tech. microbit. org/ hardware/](https://tech.microbit.org/hardware/) (2021/6/23 閲覧)
- [18] 藤川義範, 林武広, "理科の入門期における児童の方位認識の特徴に関する一考察", 日本教科教育学会誌, Vol.37, No. 4, pp. 63-72, 2015.