

# 小型ロボットへの AR 表示を用いたプログラミング教材の提案

塩澤 秀和<sup>1)</sup>, 松本 祐衣<sup>1,2)</sup>, 鎌本 萌<sup>1)</sup>

1) 玉川大学 工学部 ソフトエアサイエンス学科

あらまし：小型のロボットを用いたプログラミング教材の利点は、目の前でロボットが動くことで初心者にもプログラムの動きが視覚的にわかりやすいことである。しかし、プログラムが複雑になるにつれ、ロボットの動作とプログラムの実行との対応の理解は難しくなる。本研究では、この問題に対して、AR 技術を用いて実行中のプログラムの情報をロボットの映像の上にリアルタイムに可視化する教材を提案し、開発を進めている。

## Proposal of an Educational Programming Material Using AR display on a Small Robot

Hidekazu Shiozawa<sup>1)</sup>, Yui Matsumoto<sup>1,2)</sup>, Moe Kamamoto<sup>1)</sup>

1) Department of Software Science, Tamagawa University

**Abstract:** The advantage of educational programming materials using small robots is that the movement of a robot in front of the eyes makes it easier for beginners to visually understand the execution of its program. However, the more complex a program is, the more difficult it is to understand the correspondence between the robot motion and the program execution. In this research, we propose an educational material that visualizes the information of the program being executed on a robot in real time using AR technology.

### 1. はじめに

近年、子どもを対象としたプログラミング教育が世界的に注目を集めており、イギリス[1]など、義務教育のカリキュラムに導入する国が増えている。日本でも 2020 年度から実施される学習指導要領では、初等教育におけるプログラミング教育の必修化[2]が盛り込まれた。

このような背景のもと、注目を集めているのが、小型のロボットを用いたプログラミング学習教材である。これは、学習者が PC 画面やタブレット上でプログラムを組み、それをロボットに搭載されたマイコンに転送すると、ロボットがプログラムに従って自立して動作するものである。

小型のロボットを用いたプログラミング学習は、ロボットが動くことで初心者にもプログラムの動きが視覚的に理解しやすく、また複数の学習者がプログラムの動作結果を目の前で共有できるので、子どもたちの協同学習にも向いている。

しかし、小型のロボットを用いても、ロボットに転送されたプログラムは学習者の手を離れて自立して動作するので、プログラムの複雑度が増す

につれて、学習者は実行中のプログラムと目の前のロボットの動作との対応を把握するのが難しくなる。なぜなら、プログラムの実行手順の途中経過や変数の値などのロボットの内部状態は、学習者が直接見ることができないからである。

そこで、我々は小型のロボットを用いたプログラミング学習において、実行中のプログラムの情報を AR (Augmented Reality ; 拡張現実感) 技術を用いてロボットの映像にリアルタイムに重ねて可視化し、学習者である子どもの理解を深める教材[3]の開発を進めている。

### 2. 関連研究

子ども向けのプログラミング言語としては、Scratch または、それに類似したブロック型のビジュアル言語が採用されることが多い。これは、分岐、反復、表示、演算などの基本的な要素を、それぞれ特徴的な形のブロックで表現するものである。プログラミング初級者は、細かい文法の理解や活用に苦しむことなく、ブロックを組み立てるようにプログラムを作成することができる。

文献[4]では、Scratch のようなブロック型言語と Java のようなテキスト型言語を組み合わせた

2) 2019 年 3 月卒業

講義を受けた大学生は、従来のテキスト型言語だけの講義を受けた大学生に対して、Java 言語の最終試験で平均 10 パーセント以上成績を向上させたことが報告されている。

このブロック型の言語を物理的なブロックや紙のカードによって実現するものは、タンジブルプログラミングと呼ばれ、初期の例としてアルゴブロック[5]がある。このシステムでは、電子回路が内蔵された立方体のブロックに「前に進む」「くりかえす」など、その機能を表すマークが描かれており、ユーザは、これらを端子で結合していくことでプログラミングを行う。この研究では、ブロックという実体があることで、子どもにとってプログラムの構造がより理解しやすく、子ども同士の協同学習にもふさわしいことが報告された。

また、最近、子供向けのプログラミング教室やワークショップで普及しているのが、小型のロボットを用いたプログラミング教材である。これは、学習者が PC 画面やタブレット上でプログラムを組むと、ロボットがそのプログラムに従って自立て動作するものである。この方式の利点は、ロボットが動くことで初心者にもプログラムの動きが視覚的に理解しやすく、また複数の学習者がプログラムの動作結果を目の前で共有できるので、子どもたちの協同学習にも向いていることである。

さらに、タンジブルプログラミングとロボットプログラミングを組み合わせたプログラミング学習システム[6]も提案されている。この研究では、タンジブルプログラミングを実装するために、AR マーカーが印刷されたカードを用いている。学習者はコードを表すカードを適切な順序で並べてプログラミングを行う。システムはそれをカメラで撮影し、AR マーカーを認識してプログラムを読み取り、Bluetooth 通信でロボットにプログラムを転送する。

その他にも、小さなブロックを順番に操作盤に組み込むことでロボットプログラミングができる Cubetto [7]という製品もある。これは、PC などを介さず、操作盤とロボットが直接つながっているため、PC が扱えない幼児でもプログラミング

をすることができる。

学習教材に AR を利用する試みとしては、著者らもマーカー型 AR とセンサーを用いた物理実験教材[8][9][10][11]の開発を進めている。これは、実験で用いる測定装置、その他の器具、環境などの教材に取り付けたセンサーから、PC に測定データを取り込み、そのデータをグラフなどで分かりやすく可視化して、カメラで撮影した教材の映像に画面上で合成するものである。

AR を利用した既存の多くの教育システムは、AR を主にコンピュータで生成した情報の提示に用いるが、我々は、現実空間の教材にセンサーを組み込み、そこから得たリアルタイムな実測情報を AR で提示するという双方向的な手法を提案している。例えば、電子回路実験への応用では、回路の素子の接続状況を、力学実験への応用では台車にかかる力のベクトル（実測値）を、実写映像に重ねて CG でリアルタイムに可視化する。

### 3. 本研究の提案

本研究では、小型のロボットを用いたプログラミング学習において、AR 技術を用いて実行中のプログラムの情報をロボットの映像にリアルタイムに重ねて可視化する教材を提案する。AR 技術を応用することで、プログラムの途中経過や内部状態を視覚的に把握しやすくなり、プログラミングへの理解度が向上すると考えている。

プログラムの入力にはタンジブルプログラミングを採用する。学習者は、まず図 1 に示すように、物理的なカードを並べてプログラミングを行う。システムは、各カードに付与された AR マーカーをカメラで撮影し、それを認識することでコードの配置を認識する。そして、読み込んだプログラムに適切な処理を施した後、ロボットに送信することでプログラムを実行する。

図 2 に示すようにロボットには AR マーカーが付与されており、学習者はそれを PC やタブレット端末を通して AR によって見ることで、変数や繰り返しなどのプログラムの情報をロボットに重ねてみることができる。ロボットは、本機能を実

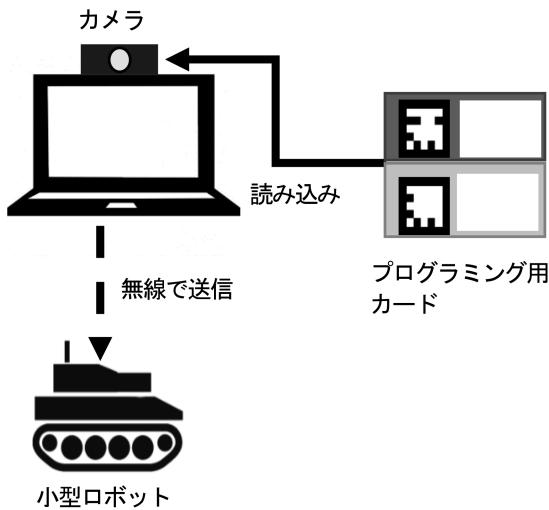


図1 ロボットのタンジブルプログラミング

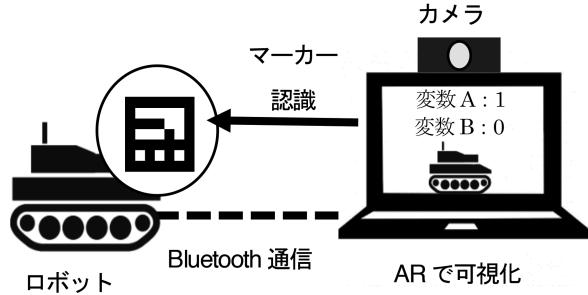


図2 ARによる内部データの可視化

現するために、PCと無線でリアルタイムに情報を送受信できるものを利用する。

本研究で重要な点は、実行中のプログラムの情報がロボットから送信され、実行過程に合わせてリアルタイムに更新されるという、双方向の通信を利用したAR教材を実現することである。

#### 4. システムの開発

##### 4.1 使用したロボットプログラミング教材

本研究では、Makeblock社が市販しているプログラミング教育向けロボットのmBot [12]を使用した。これはArduinoの技術に基づいて開発されているため、多様なセンサーが使用可能であり、Arduino IDEでプログラミングおよびロボットへのプログラム送信が可能である。

本システムでは、このmBotに無線通信を可能にするBluetoothモジュールをつけ、さらにARによる付加情報の表示を実現するために、図3の

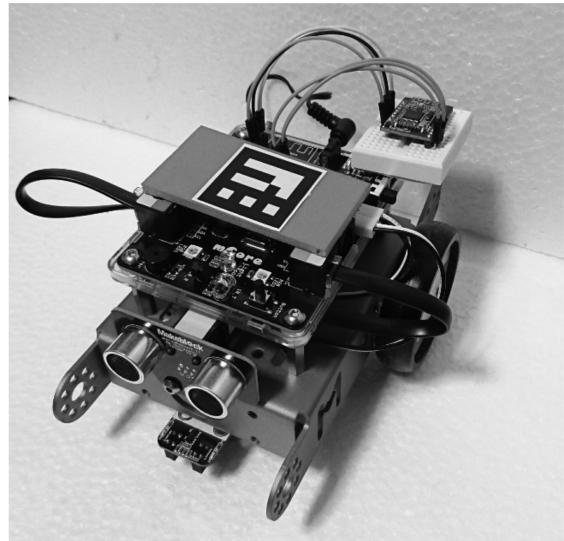


図3 ARマーカーを付与したロボット教材

写真のように背面にARマーカー(NyARToolKit [13]のNyIDマーカー)を付与した。

#### 4.2 タンジブルプログラミングの実現

本システムでは、学習者は机の上で「前進」や「停止」などの処理を表す物理的なカードを並べることでプログラミングを行う。カードは、表1に示した約40種類が用意されており、Scratchを参考にして学習者に分かりやすいように機能ごとに色分けされている。

各カードにはマーカー(ARマーカー)が印刷されており、本システムは、まずカメラ映像から各カードのマーカーを検出する。図4に示すように正しく認識されたマーカーは、画面上で赤い枠で囲まれ、システムにプログラムが読み込まれる。マーカー認識プログラムの開発には、ProcessingとNyARToolkit(NyIDマーカー)を用いた。

本試作システムの実装では、カード1枚がほぼArduinoのコード1行に対応するので、認識されたマーカーの配置から、単純に各マーカーを上から順に1行ずつArduinoのコードに変換している。図4の例では、インデントをつけてカードを並べているが、プログラムとしての認識では上下関係しか用いていない(制御ブロックは、閉じかっこに対応する「ここまでする」カードで閉じる)。

システムはそれをプログラムのテキストファイルとして、いったんPCに保存する。その過程で、

表1 本システムにおけるカードの種類

分類	動き	条件	音	変数	LED
機能	前進	もし壁に近づいたら	ドの音を出す	変数Aを定義	LED（赤）を点灯
	後退	ライントレース	レの音を出す	変数Bを定義	LED（青）を点灯
	停止	もしボタンが押されたら	ミの音を出す	A=0	LED（緑）を点灯
	右回り	もし明るかったら	ファの音を出す	B=0	LED（白）を点灯
	左回り	もし暗かったら	ソの音を出す	A+1	LED（黄）を点灯
	スピード（速い）	ループ	ラの音を出す	B+1	LEDを消灯
	スピード（普通）	違うなら	シの音を出す	A-1	
	スピード（遅い）	ここまでする 0.5秒待機	ド（高）の音を出す	B-1	
		1秒待機			
		2秒待機			

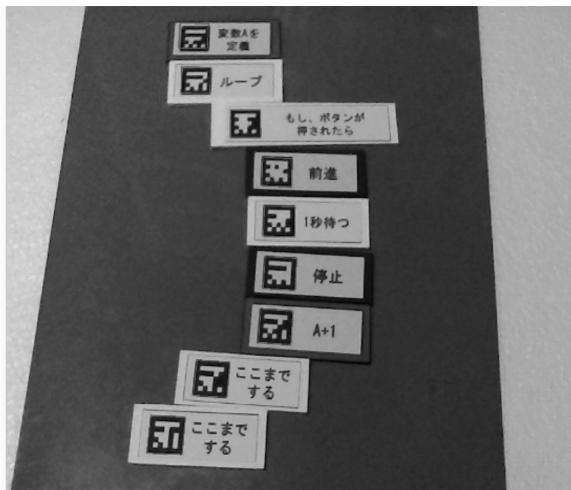


図4 カードによるプログラムの認識

変数の値を PC に送信するコード等がシステムによって付加される。図5は図4のカード配置が変換されたコードの例である

最後に、学習者は変換されて保存された Arduino のプログラムファイルを Arduino IDE に読み込んでコンパイルし、さらに PC とロボットのマイコン端子を USB ケーブルで接続して、コンパイルしたプログラムを転送する（この手順は、現在のところはまだ手動である）。ロボットに読み込まれたプログラムは、ロボットを起動することによって実行開始する。

#### 4.3 プログラム実行状態の AR 表示の実現

ロボットの動作中に、学習者がそれに付与されている AR マーカーを PC のカメラで撮影すると、

```
#include <MeMCore.h>
#include <SoftwareSerial.h>
MeDCMotor motor1(M1);
MeDCMotor motor2(M2);
MeLineFollower lineFinder(PORT_2);
MeUltrasonicSensor ultraSensor(PORT_3);
MeRGBLed rgb(0, 16);
MeLightSensor lightSensor(PORT_6);
MeBuzzer buzzer;
SoftwareSerial bluetooth (0, 1);
int speed = 120;
int A;

void setup() {
  bluetooth.begin(115200);
  pinMode(A7, INPUT);
  rgb.reset(PORT_7, SLOT2);
  rgb.setColor(0, 0, 0); rgb.show();
  bluetooth.println("Start");
}

void loop() {
  if((0 ^ (analogRead(A7) > 10 ? 0 : 1))) {
    motor1.run(-speed); motor2.run(speed);
    delay(1000);
    motor1.stop(); motor2.stop();
    A += 1;
    bluetooth.print("+" + A + " ");
    delay(100);
  }
}
```

図5 変換後の Arduino プログラムの例

その情報が PC のプログラムで処理され、図6の例のように、PC の画面上でプログラム実行中のデータ（変数の値）がロボットの映像に重ねて AR

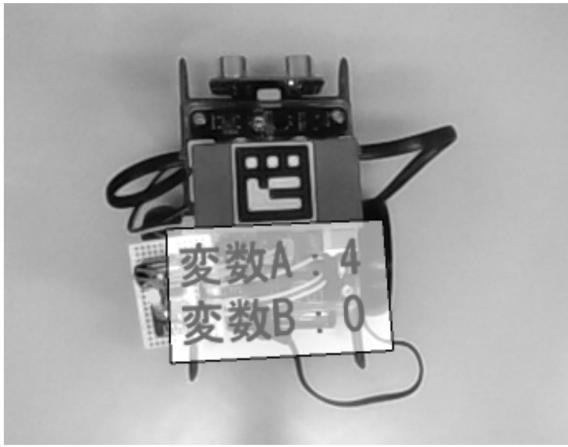


図6 ARによるプログラム変数の値の表示

表示される。残念ながら、現在のところは表示されるデータ（プログラム中で使用できる変数）は変数Aと変数Bに固定されている。この機能においても、ARマーカーの認識とARによる情報表示には、ProcessingとNyARToolkitを使用した。

## 5. 開発中の機能

### 5.1 AR表示内でのグラフの表示

現時点では、変数の値のみをARで表示しているため、ARとしての利点が活かしきれておらず、例えば変数の変化は分かりづらいという問題があった。そこで、現在、変数の値やmBotに搭載されているセンサの測定値の変化を、図7のようにグラフでAR表示する機能を開発中である。この表示によって、ロボットが動作した際の数値の変化がより学習者にわかりやすく可視化されると考えている。

### 5.2 小型ロボットの軌跡のAR表示

さらに、図8に示すように、小型ロボットの軌跡をAR表示する機能を開発中である。学習者はこれを変数のグラフと見比べることで、ロボットの動作の履歴を自分がプログラムした内容と関連して理解しやすくなると考えられる。

軌跡表示のためにはロボットの位置を取得する必要があるので、ロボットの移動する範囲の床にもいくつかのARマーカーを設置し、これらのARマーカーと小型ロボットに記載したARマーカーの位置関係から、位置を特定し軌跡を表示する。

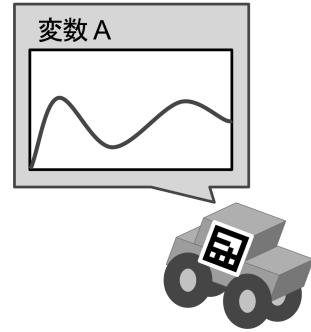


図7 AR表示内のグラフの表示

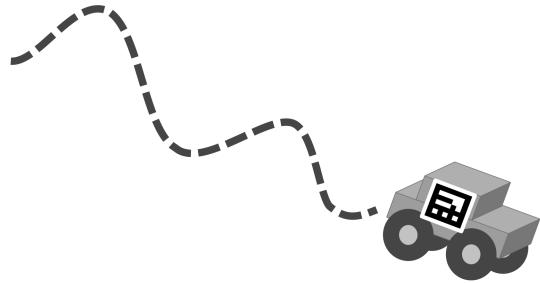


図8 小型ロボットの軌跡のAR表示



図9 ロボットの外観の3DCGによる表示

### 5.3 ロボットの外観の3DCGによる表示

本システムを使用する子どもたちの学習意欲を向上させることを狙いとして、図9のように小型ロボットのカメラ映像に重ねて、学習者があらかじめ設定したロボットの3Dモデルを表示する機能の開発も進めている。

これによって、画面内のロボットの外観をぬいぐるみや恐竜など学習者の好みのデザインに変更することが可能になり、子どもたちの学習への意欲が高まり、学習の継続につながるのではないかと考えている。

## 5.4 その他の改良

その他、教材としての実際の利用を想定した改良として、自由な変数名の使用とプログラムの文法エラーの検出とメッセージ表示を進めている。

プログラミングにおいて分かりやすい変数名をつけることは重要であり、特にプログラミング教育においては必要な機能である。そこで、学習者に見える表示用の変数名として、変数カードに学習者が書き込んだ任意の文字列を利用できるように開発を進めている。

また、プログラム読み込みの時点で、簡単な文法エラーに対してわかりやすいメッセージを表示することを実現する。具体的には、条件文や繰り返し文の過不足に対してメッセージを表示する。

## 6. まとめ

本論文では、小型のロボットを用いたプログラミング教材において、プログラム実行中の変数の値などのシステムの内部状態を AR 技術によって可視化することで、学習者の理解を助ける手法について提案し、現在までに実装したシステムおよび開発を進めている機能について述べた。

本システムの特徴は、AR 表示されるデータが Bluetooth 通信によってリアルタイムにロボットから PC に送信され、それにともなってリアルタイムに表示が更新されるところである。従来の AR の教育への応用では、コンピュータで生成した情報の提示方法としてのみの利用が多いが、我々は、現実空間の教材から得たリアルタイムな実測情報を AR で提示するという双方向的な手法に着目して研究を進めている。

本試作システムは、まだ機能的に不十分な部分が多く、完成しているとはいえないが、今後改良を進め、完成後には実際にプログラミング初級者（できれば子どもたち）に使ってもらうことで教材の有用性について評価したい。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費 JP18K02907 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 石塚丈晴, 堀口龍也: 英国の公立小学校における教科「Computing」におけるプログラミング教育の内容, 情報処理学会 コンピュータと教育研究会, Vol. 2015-CE-131, No. 12, pp. 1-4, 2015.
- [2] 文部科学省, 小学校プログラミング教育に関する概要資料, 2016. [http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afielddfile/2018/03/30/1375607\\_01.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afielddfile/2018/03/30/1375607_01.pdf)
- [3] 塩澤秀和, 松本祐衣: AR を用いたロボットプログラミング学習支援の提案, 情報処理学会 DICOMO 2019, 5G-2, pp.1125-1130, Jul. 2019.
- [4] D. Bau, J. Gray, C. Kelleher, J. Sheldon, F. Turbak: Learnable Programming: Blocks and Beyond, Communications of the ACM, Vol.60, No.6, pp.72-80, 2017.
- [5] 鈴木栄幸, 加藤浩: 共同学習のための教育ツール 「アルゴブロック」, 認知科学, No.2, Vol.1, pp.36-47, 1995.
- [6] 八城明仁, 原田泰, 迎山和司: タンジブルなプログラミング学習環境の要件の検討, 情報処理学会 情報教育シンポジウム SSS2015, pp.207-213, 2015.
- [7] Primo Toys, Cubetto: A toy robot teaching kids code & computer programming, 2018. <https://www.primotoys.com>
- [8] 塩澤秀和, 小松京平: マーカー型 AR とセンサーを用いた物理(回路・力学)実験教材の開発, 日本 VR 学会 第 61 回 CS 研究会, pp.27-32, 2017.
- [9] 廣田翔平, 塩澤秀和: AR 技術と加速度センサを利用したカード型の力学実験教材, 日本 VR 学会 第 63 回 CS 研究会, pp.35-38, 2018.
- [10] 塩澤秀和: AR 技術とセンサーを用いた物理実験教材の開発, 第 43 回教育システム情報学会全国大会, pp.435-436, 2018.
- [11] 塩澤秀和: AR 技術とセンサーを用いた物理実験教材のコンテンツ開発, 第 44 回教育システム情報学会全国大会, 2019.
- [12] Makeblock: mBot, 2016. <https://www.makeblock.com/steam-kits/mbot>
- [13] NyARToolkit project: NyARToolkit for Processing, <https://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?cat=5>

© 2019 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)