

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K02902

研究課題名(和文)関数の概念を学べるタンジブルなプログラミングツールの開発と有用性分析

研究課題名(英文) Development and usefulness analysis of a tangibles programming tool for learning function concepts

研究代表者

本吉 達郎 (Motoyoshi, Tatsuo)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：20533061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：木製ブロックを並べてプログラミングが可能ツールP-CUBEに「関数プログラミングの考え方」の学習機能を実装したP-CUBE2を開発した。視覚障害者、および晴眼者の未就学児にP-CUBE2を使用してもらう学習結果の評価を行った。その結果、あらかじめ用意された学習メニューに従って発話プログラムを作成することによって、サブルーチンや関数の概念を学習できることを確認した。また、P-CUBE2を用いて作成したプログラムを記録し「正解/不正解」の判定が可能なシステムを実装し、学習者の理解度を推定できることを示したほか、客観的データを用いたタンジブルなプログラミングツールの有用性分析への足掛かりを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視覚障がい者をターゲットユーザに含むことができ、関数プログラミングの考え方を学習内容に取り込んでいる唯一のTUIツールを開発できた。また、TUIを採用したツールのプログラミング操作と学習効果との関連性の分析に有用な客観的データの取得方法を検討、実装することができた。本研究を発展的に継続させ、TUIツールの導入を援用する知見を得る基盤を構築できた。

研究成果の概要(英文)：We developed P-CUBE2, which has a learning function for "the concept of function programming" implemented in P-CUBE, a tool that enables programming by arranging wooden blocks. We evaluated the learning results by having visually impaired and sighted preschool children use P-CUBE2. As a result, we confirmed that the concept of subroutines and functions can be learned by creating speech programs according to the learning menu prepared in advance. In addition, we implemented a system that can record programs created using P-CUBE2 and judge "correct" or "incorrect," and showed that it is possible to estimate the learner's level of understanding.

研究分野：学習支援システム

キーワード：タンジブルユーザインタフェース プログラミング 視覚障害者支援

1. 研究開始当初の背景

初学者向けに開発されているプログラミング・ソフトウェアは、視覚情報に頼った情報機器の操作が不可欠であり、視覚障がい者の学習機会が暗に排除されている。また、情報機器の操作の習得に学習者が集中することは、プログラミング学習に負の影響が生じる可能性がある。学習初期段階に導入を目指した、実体を言語としたプログラミングツールがいくつか提案されているが、視覚障がい者の使用は考慮されておらず、また、子どもたちのラフな使用に対するロバスト性が高くない。これに対して、RFIDシステムを採用したブロックを並べるだけの簡単な操作でプログラミングが可能なP-CUBEを開発しその評価を行ってきた。P-CUBEは、ライトレースロボットを制御するプログラム作成を通して順次、繰り返し、条件分岐の概念を学べるが、「関数を用いて記法を単純化し合理的に記述する」思考は学ぶことができない。また、「なぜタンジブルなプログラミングツールが良いのか?」に対して、ツールの操作と学習効果を関連づけて分析を試みる事例は見受けられなかった。

2. 研究の目的

P-CUBEを発展させ学習要素を拡張させたP-CUBE2を開発するとともに、学習内容にあわせた制御対象となる発話ロボットを製作する。タンジブルなツールの操作を客観的に捉えるための記録システムを開発し、ツールの有用性分析への援用を検討する。具体的には次の項目を本研究の目的とした。

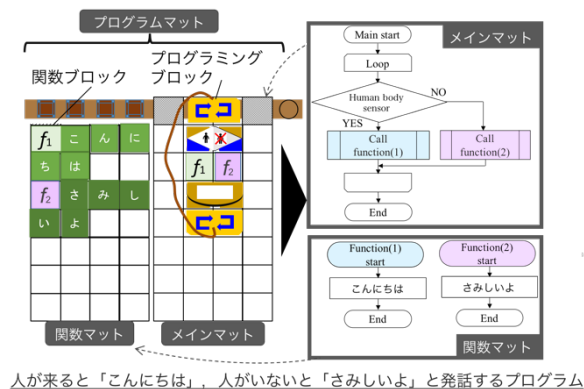
- (1) 「関数プログラミングの考え方」の習得を目指したP-CUBE2の開発
- (2) P-CUBE2の制御対象の開発
- (3) ブロック配置操作履歴を取得するシステムの開発と実装
- (4) (3)で実装したシステムの評価

3. 研究の方法

本研究では次に示す項目に従って研究を進めた。

- (1) 「関数プログラミング考え方」の学習機能の実装

P-CUBEのプログラムマットに関数マットを追加したP-CUBE2を開発した。関数マット上に設定した関数をメインプログラムで呼び出すことで、単純化した記述法を学ぶことができる。(2)で述べる制御対象のプログラムを取り扱うために、ひらがなブロック、および音ブロックを導入し制御対象がセンサ情報に応じて音・発話を出力できるようにした。また、センサの入出力信号によって制御できる条件分岐用のブロックも製作した。



- (2) P-CUBE2の制御対象の開発

(1)で開発するひらがなブロック、および音ブロックを取り入れたプログラムで制御する発話ロボットを開発した。ロボットに音声LSIを搭載し、プログラムの内容を発話によって確認できるようにした。また、プログラム情報を転送する安定した無線通信システムを実装した。

- (3) ブロック配置履歴取得システムの開発・実装

ブロック配置によるプログラミング操作履歴を取得するシステムを検討、開発した。プログラムマット付近の指先動作をキャプチャすることにより、ブロックの配置位置やタイピングを記録するシステムを試作し、データの正確性を検証した。

- (4) ブロック配置履歴取得システムの評価と学習効果との関連性の調査

(3)で検討したモーションキャプチャを用いる方法は、データの正確性が十分と言えるものではなかったため、RFID制御システムにフィードバックされるブロックの配置情報を随時記録する方法に変更した。この方式を用いて、学習者が作成したプログラムの正解/不正解判定から試行錯誤の回数を記録し、学習者の理解度を推定する方法を検討した。

4. 研究成果

木製のブロックを木枠に並べる操作で「順次」「繰り返し」「条件分岐」に加えて「関数」の概念を学べるタンジブルなプログラミングツールP-CUBE2を開発し、プログラム未経験者が既存のプログラミングソフトウェアを用いる場合と同等或いはそれより短時間に学習できること、他者の学習を模倣しながら一定程度のプログラム作成が可能であることを確認した。また、学習者が

作成したプログラムの「正解/不正解」結果や学習者の試行錯誤の回数を記録するシステムを開発し、評価した。

(1) P-CUBE2 の開発

メインマット、および関数マットの2面を有するプログラムマットを製作した。学習者は、関数マット上で設定した発話関数をメインマット上のプログラムで呼び出すプログラムを作成できる。関数ブロックには唇形状のゲルを貼り付け、点字情報を利用しなくても手触りで判別できるようにした。このほか、発話内容を指定するひらがなブロックを製作し、弱視のユーザが色で見分けて適切な文字を選択できるようにした。

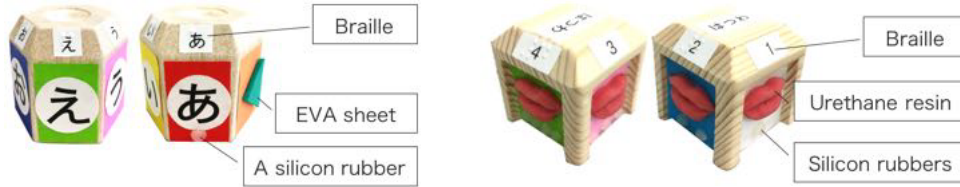


図 1: ひらがなブロック & 関数ブロック

(2) 制御対象の開発

プログラムの内容に従って発話するロボットを製作した。プログラムマット上に並べられたブロックの配置情報を Bluetooth 通信によって受け取り、発話内容を音声 LSI により出力する。プログラム実行のタイミングを学習者が選択できるように、ロボットに「転送・実行スイッチ」を設置した。

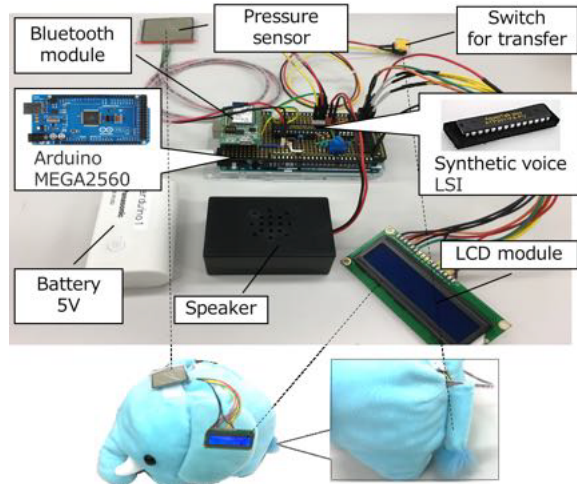


図 2: 発話ロボット

(3) ブロック配置履歴取得システムの開発

手先の動作を計測可能なモーションキャプチャを使用して、操作履歴データを取得するシステムの開発を検討したが、ユーザの手先位置とマットの位置を正確に記録することが困難なことが判明した。そこで、RFID の制御システムにフィードバックされるブロックの ID を利用する方法に変更し、作成したプログラムの情報を記録するシステムを実装した。

#00	#01	#02	#03
-----	-----	-----	-----
E0040100347BE0A0	-----	-----	-----
E0040100347BE0A0	E0040100347BE143	-----	-----
E0040100347BE0A0	E0040100347BE143	E0040100347BE14C	-----
E0040100347BE0A0	E0040100347BE143	E0040100347BE14C	E0040100347BE581

図 3: ブロック配置履歴データ

(4) ブロック配置履歴取得システムの評価

被験者に P-CUBE2 を操作してもらい、履歴データを取得し分析した。当初は、視覚障がい者を被験者に含める予定であったが、COVID-19 感染拡大の影響から晴眼者を対象とした実験のみを実施した。(3)のシステムにより、被験者がプログラムの実行操作を行なった際に指示通りにプログラムが作成できているかを判定できることが確認できた。複数の被験者のデータとインタビューを照合した結果、ブロックを文字列と捉えれば、正解に対して「近づく操作/遠ざかる操作」を判定可能であることが示唆され、タンジブルなツールの有用性を示すための研究課題継続への足がかりを得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mariko Tsuda, Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Takumi Tamamoto, Hiroyuki Masuta, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima	4. 巻 LNCS, volume 10896
2. 論文標題 Improvement of a Tangible Programming Tool for a Study of Subroutine Concept	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 16th International Conference on Computers Helping People with Special Needs	6. 最初と最後の頁 pp.611-618
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-94277-3_95	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Hiroyuki Masuta, Takumi Tamamoto, Ken'ichi Koyanagi, and Toru Oshima
2. 発表標題 Analysis of a Programming Process Sharing the Card Type Programming Tool "Pro-Tan"
3. 学会等名 21st International Conference on. Human-Computer Interaction (HCI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大山才貴, 本吉 達郎, 澤井 圭, 増田 寛之, 高木 昇
2. 発表標題 RFIDシステムを用いたタンジブルなプログラミングツールを共有する学びのプロセス
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mariko Tsuda, Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Takumi Tamamoto, Hiroyuki Masuta, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 System Operation Improvement of P-CUBE2 for Visually Impaired People
3. 学会等名 The World Automation Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津田真理子, 本吉達郎, 澤井圭, 増田寛之, 玉本拓巳, 小柳健一, 大島徹
2. 発表標題 タンジブルなプログラミングツール " P-CUBE2 " の効用に対する調査
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津田真理子, 本吉達郎, 澤井圭, 増田寛之, 玉本拓巳, 小柳健一, 大島徹
2. 発表標題 発話内容を関数で作成できるタンジブルなプログラミングツールの開発
3. 学会等名 第43回教育システム情報学会全国大会 2018
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	澤井 圭 (Sawai Kei) (80624080)	富山県立大学・工学部・准教授 (23201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------