

デジタル・ティンカリング教材「YubiTus」の開発

棕浦一哉*1, 井上明*2

*1 大阪工業大学大学院ロボティクス&デザイン工学研究科・*2 大阪工業大学

Development of Digital Tinkering Teaching Material "YubiTus"

Kazuya Mukuura*1, Akira Inoue*2

*1 Osaka Institute of Technology Graduate School of Robotics and Design

*2 Osaka Institute of Technology

Tinkering is an activity that enhances problem solving skills and logical thinking through a process of combining various things around us. In this research, we developed a digital tinkering tool "YubiTus" that can make tinkering easier. We conducted elementary school students' evaluation experiments on YubiTus and verified the characteristics as learning materials.

キーワード: ティンカリング, STEM 教育, プログラミング的思考, ロボットプログラミング, ラピッド・プロトタイピング

1. はじめに

1.1 研究背景

2020 年から始まる小学校におけるプログラミング教育の必修化に向けて, 教育カリキュラムの編成や教材の開発が行われている(1). プログラミング教育の狙いは, 「プログラミング的思考」の育成である(2). プログラミング的思考とは, 例えば, 自分が意図する動きを実現するために, どのような動きの組み合わせが必要であるかを考えるなど, 物事を論理的に考えていく力である(2).

近年, 「ティンカリング(Tinkering)」という概念が注目されている(3)(4)(5). ティンカリングとは, 身の回りにあるものを組み合わせたり, 分解したりして, 実用的なものや風変わりなものなど, 様々な自分の目的に合うように作り変えるプロセスである(5)(6).

ティンカリングでは, アイデアをとりあえず形にする, 手を動かしながら考える, 失敗を恐れずに作る, 失敗してもまた作り直すこと, 等が必要である. つまり, 正解の無い間に対し自ら考え, アイデアを何度も作り直す. それによって創造性や発展性を生み出す. この活動プロセスはまさにプログラミング的思考と考えられる(図 1).

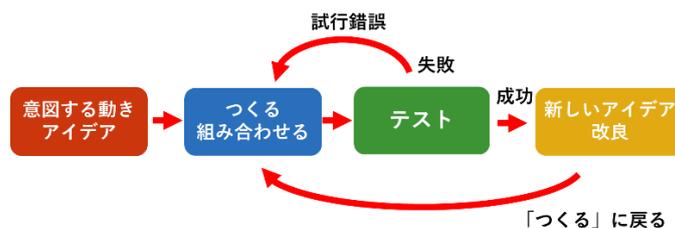


図 1. ティンカリングのプロセス

そこで本研究ではティンカリングを行う過程を通して, プログラミング的思考を養う「デジタル・ティンカリング教材”YubiTus”」の開発を行う.

1.2 関連研究

これまでにティンカリングの概念を取り入れたデジタル学習教材が開発されている. LEGO Mindstorm や KOOV は専用のブロックにセンサやモータを組み込み, プログラミングによってロボットの制御や, ものの仕組みを再現することのできる教材である. 山岡らの FabWalker(7)は多脚歩行ロボットの脚をデザインするロボットキットである. 脚のパーツは身の回りにあるペンや木の枝などの素材を用いて設計を行い, 歩き方の試行錯誤を行うことができる.

原田ら(8)はティンカリングに自己説明理論を加え

たプログラミング学習支援システムを開発している。ティンカリングの特徴である、アイデアを試し、その結果をフィードバックしながら修正していく点に注目している。試行錯誤の行為に自己説明を促すようにシステムを作成した Scratch ベースのシステムである。

既存のティンカリングで使えるデジタル学習教材や研究は、専用のブロックやハードウェアを用いる場合が多く、また表現できる動きに幅が狭いなど汎用性に乏しいと考えられる。

2. デジタル・ティンカリングツール「YubiTus」

本研究では、デジタル・ティンカリング教材 YubiTus を提案する。YubiTus は、身近な段ボールやブロックを利用でき、かつ、様々な動きを表現できるデジタル・ティンカリングツールである。YubiTus は自身のアイデアを迅速に実現し、動くものを作り、その過程を通して論理的思考力やプログラミング的思考を学ぶ学習教材である。

図 2 に示すように、回転、引っ張り、伸び、挟み、送風、の 5 つの動きを行う。YubiTus は図 3 に示すように段ボール、工作キット、ブロック玩具、割り箸、ペーパークラフトや粘土といった、身の回りにあるものを組み合わせて使用することを想定している。

YubiTus の動きは、PC 上でのビジュアル・プログラミング・ツールを利用し、様々な動きをプログラミングできる。

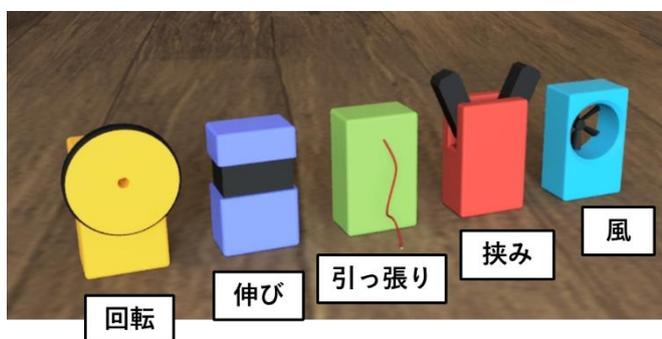


図 2. YubiTus

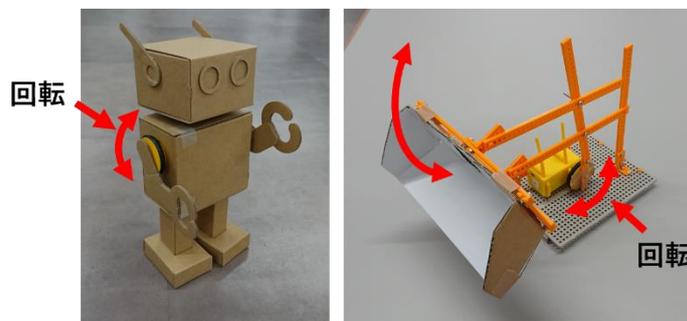


図 3. YubiTus 使用例

YubiTus は大きく以下の 2 つの利用状況を想定している。

1 つ目は教育現場における、子どものプログラミング教材としての使用である。段ボールやブロック玩具で組み立てた物に YubiTus を組み込み、プログラミングによって作品を動かす授業や、教室での「ロボットコンテスト」のような授業を想定している。さらに、暮らしの中にある装置の仕組みを再現し、プログラミングで動かす授業展開も可能であろう。

2 つ目は、企業の新入社員研修において、ものづくりをテーマにしたラピッド・プロトタイプング活動である。超スマート社会 (Society5.0) の到来に向けてこれからの技術者には、これまでと異なる人材像として、デジタルとフィジカルの融合を前提とした価値観、振る舞い、知識、スキルが求められており、そこにはアイデアをすぐに形にできるツールが不可欠である。

このような目標を実現するために YubiTus の仕様を以下のようにした。形状は様々なものに取り付けができるように直方体にした。サイズは一般的なサイズの机上で使用を想定し、YubiTus と一緒に机の上にタブレットやノートなどの教材を置いても邪魔にならないサイズとして、奥行きが 60[mm]以内になるようにした。配線が不要になるように YubiTus と PC 間は無線通信で制御し、バッテリー、制御用マイコン、アクチュエータがケースに収まっているようにした。動きのプログラミングはビジュアルプログラミング言語の「S4A」(9)にて自作関数を作成し、振る舞いをプログラミングできる。

2.1 全体構成

YubiTus は図 4 に示すように、アクチュエータ、バッテリー、制御用マイコンがケースに入っている。

YubiTus とパソコンは Bluetooth Low Energy で無線通信を行い、パソコンが Central 側、YubiTus が Peripheral 側となり、パソコンから YubiTus へ制御信号を送信している。一台のパソコンに対して、複数の YubiTus を同時接続することができる。YubiTus の動作はビジュアルプログラミング開発環境の「S4A」(9)を使用している。今回、回転型と引っ張り型の YubiTus を実装した。

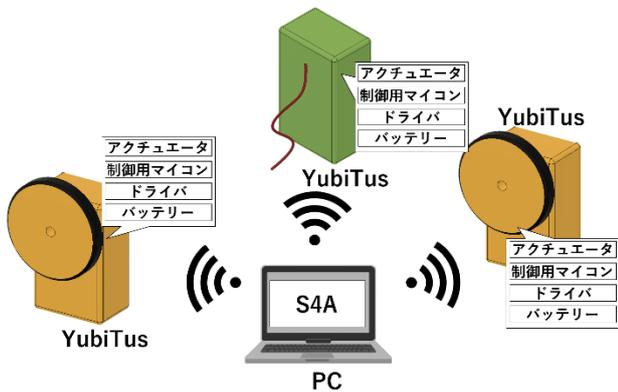


図 4. 複数の YubiTus と PC の通信

2.2 回転型 YubiTus

回転型 YubiTus は装置の一部が回転し、取り付ける対象を回すことができる。図 5 に回転型 YubiTus の各パーツを示す。アクチュエータは DC ギヤードモータを使用している。回転部分にモータが接続されており、プログラミングによって、時計回り、または反時計回りに回転する。固定用バンドはシリコンバンドを使用しており、他の部材に固定するために使用する。寸法は高さ 59[mm]横幅 29[mm]奥行 31[mm]である。

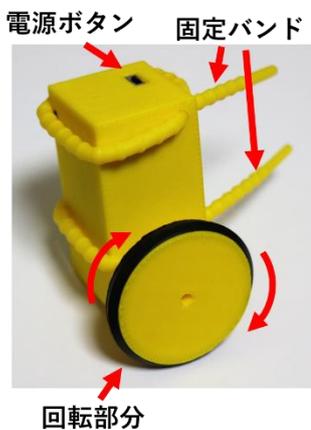


図 5. 回転型 YubiTus

2.3 引っ張り型 YubiTus

引っ張り型 YubiTus は装置の一部が縮み、取り付ける対象を引っ張ることが出来る。図 6 に引っ張り型 YubiTus の各パーツを示す。アクチュエータは定荷重バネを使用している。定荷重バネはひもと接続されており、プログラミングによって、ひもが装置内部に引っ張られるようになっている。寸法は高さ 46[mm]横幅 73[mm]奥行 56[mm]である。

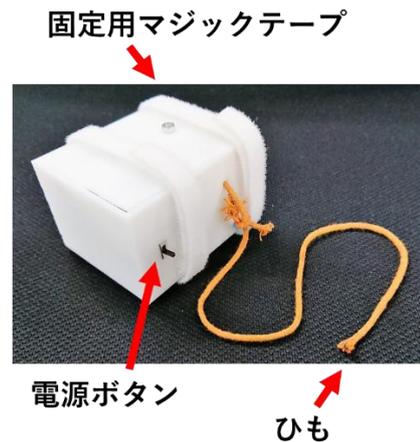


図 6. 引っ張り型 YubiTus

2.4 プログラミングソフトウェア「S4A」

S4A は Scratch をベースとした、Arduino をビジュアルプログラミングで動かす事のできる開発環境である。図 7 に示すように画面左にあるブロックを、画面中央で繋げてプログラミングを行う。

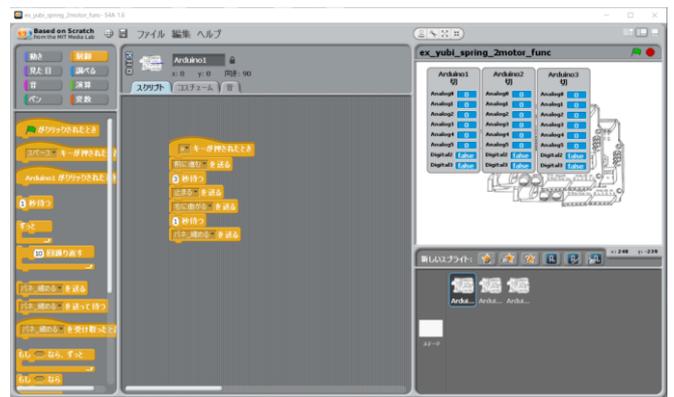


図 7. S4A のプログラミング画面

今回の実験では図 8 のように 2 つの回転型 YubiTus を組み合わせて、2 輪車にした場合の移動用ブロックと、ひもを縮める命令ブロックを用意した。前に進む、後ろに進む、右に曲がる、左に曲がる、ばねを縮める、

の5種類の命令ブロックを組み合わせてプログラミングを行う。例として、図9にブロックの組み合わせと、YubiTusの動きを示す。



図 8.2 輪車にした回転型 YubiTus

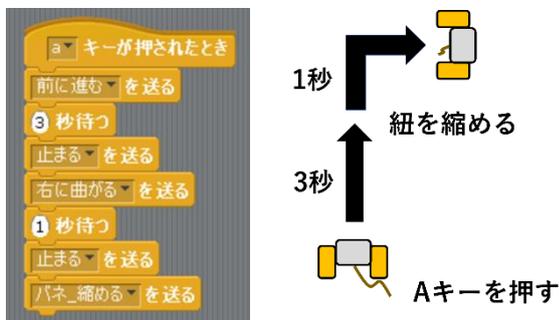


図 9. プログラミングの例と動き

3. YubiTus を使用した学びの活動の実践

本実験では、小学生を対象に YubiTus を用いて学びの活動を実践した。その使用感について ARCS 動機づけモデルを用いた評価と、被験者からの自由記述文章の2つの分析から、教材としての特性を検証する。

ARCS 動機づけモデルとはジョン・M・ケラーによって提案された、学習意欲を引き出すための動機づけモデルである。「魅力ある授業、教材」の設計・開発、評価に有効な基準と言われている(10)。ARCS は「注意 (Attention)」, 「関連性 (Relevance)」, 「自信 (Confidence)」, 「満足感 (Satisfaction)」の4つの領域の頭文字をとって、名付けられたものである。これら4つのカテゴリーにそれぞれ下位カテゴリーが存在する。本実験の評価には鈴木克明, 向後千春らが開発した「ARCS 評価シート」を用いた(11)(12)。この評価シートについては鈴木らの研究(13)でその有用性が確認されている。表1に ARCS 評価シートの項目と分類名

を示す。

表 1 ARCS 評価シートの項目と分類名

	項目	ARCS 分類	ARCS分類名
1	おもしろかった	A	注意
2	眠くならなかった	A1	知覚的喚起
3	好奇心がそそられた	A2	探求心の喚起
4	変化に富んでいた	A3	変化性
5	やりがいがあった	R	関連性
6	自分に関係があった	R1	親しみやすさ
7	身に着きたい内容だった	R2	動機との一致
8	途中の過程が楽しかった	R3	目的志向性
9	自信がついた	C	自信
10	目標がはっきりしていた	C1	学習要求
11	学習を着実にすすめられた	C2	成功の機会
12	自分なりに工夫ができた	C3	コントロールの個人化
13	やってよかった	S	満足感
14	すぐに使えそうだった	S1	自然の結果
15	出来たら認めてもらえた	S2	肯定的な結果

3.1 実験概要

男子小学生8歳~12歳の11名に YubiTus を用いた学びの活動を実施した。評価期間は2018年7月26日~9月26日の期間である。おおよそ一人当たりの実験時間は60分である。場所は、枚方市にあるプログラミング教室で、そこに通っている生徒を対象とした。実験は講師1人に対して対象者1人の個別指導形式で行った。実験後にアンケート用紙に記述してもらい、実験中は本人・保護者の同意の上、カメラにて動画撮影を行った。

今回の実験では YubiTus はスティックブロックと組み合わせて使用した。スティックブロックとは図10のような市販の棒状組み立てブロックである。

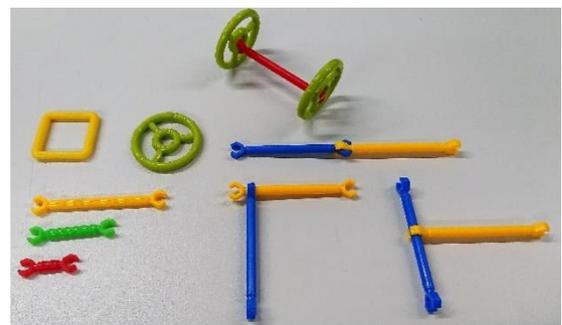


図 10. スティックブロック

以下は実験時に使用した機材を示す.

- ・回転型 YubiTus 2 台
- ・引っ張り型 YubiTus1 台
- ・スティックブロック
- ・タブレット 3 台
- ・マウス
- ・ノートパソコン

使用したアンケート用紙を図 11 に示す.

「新しいものづくり教材」の実験に関するアンケート

性別	年齢		
質問内容			
今回の実験の満足度は？丸を付けてください			
大変満足	やや満足	どちらともいえない	やや不満 不満
「はい」か「いいえ」に丸を付けてください			
1.	おもしろかった	はい	いいえ
2.	眠くならなかった	はい	いいえ
3.	好奇心がそそられた	はい	いいえ
4.	変化に富んでいた	はい	いいえ
5.	やりがいがあった	はい	いいえ
6.	自分に関係があった	はい	いいえ
7.	身に着けたい内容だった	はい	いいえ
8.	途中の過程が楽しかった	はい	いいえ
9.	自身がついた	はい	いいえ
10.	目標がはっきりしていた	はい	いいえ
11.	学習を着実にすすめられた	はい	いいえ
12.	自分なりに工夫ができた	はい	いいえ
13.	やってよかった	はい	いいえ
14.	すぐに使えそうだった	はい	いいえ
15.	出来たら認めてもらえた	はい	いいえ
自由に感想を書いてください			

図 11. アンケート用紙

3.2 実験内容

YubiTus とスティックブロックを用いて、組み立て手順書を見ながら移動式の投石機を作成し、プログラミングで動作させる。最後に、プログラミングや投石器の改造によって、的を倒すミッションに挑戦する。

投石機は図 12 に示すように、2 台の回転型 YubiTus を移動用車輪として使用する。引っ張り型 YubiTus のひもが引っ張られる動きを利用する。組み立て手順書は全 34 ページの PDF ファイルである。手順書の通りに組み立てると、図 12 の投石機が完成する。

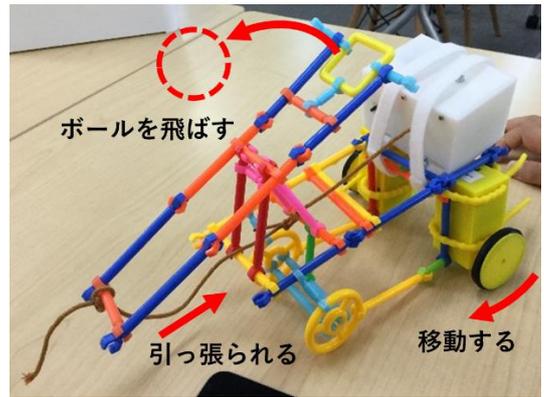


図 12. YubiTus とスティックブロックの投石器

実験は以下の手順で行った。

- (1) 投石機の完成形と的を倒す目標の説明をする。
- (2) スティックブロックの使い方を説明する。
- (3) 手順書を見ながら組み立てを行う。
- (4) S4A の使い方を説明する。
- (5) 的を設置しプログラムや投石器の改造をする。
- (6) 実験後アンケートを行う

図 13 に実験の流れを示す

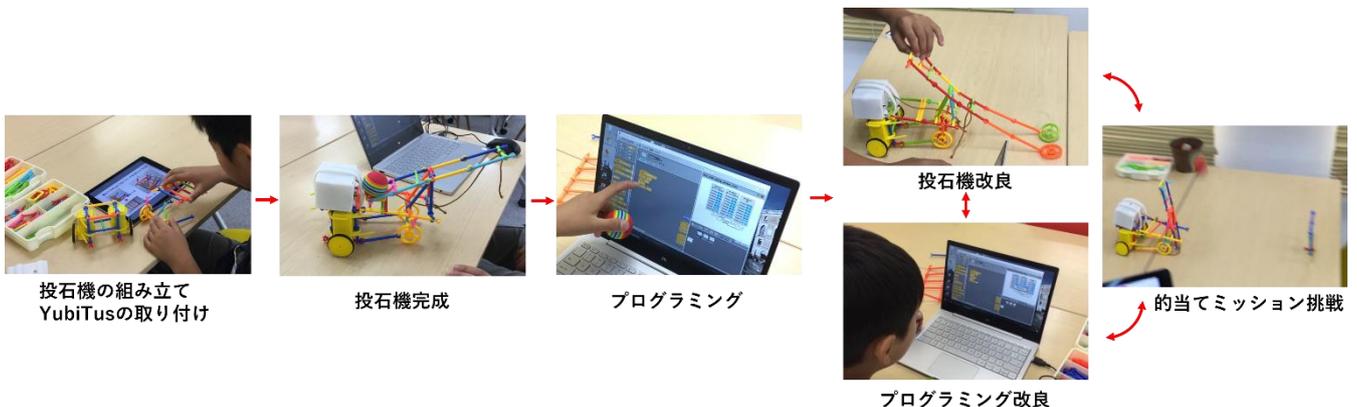


図 13. 実験の流れ

3.3 結果

3.3.1 ARCS 評価シートの結果

表 2 に満足度に関するアンケートの結果、表 3 に ARCS 評価シートのアンケート結果を示す。

表 2. 満足度に関するアンケート結果

満足度	評価人数
大変満足	7
やや満足	3
どちらとも言えない	1
やや不満	0
不満	0

表 3. ARCS 評価シートのアンケート結果

項目	評価人数	
	はい	いいえ
1 おもしろかった	10	1
2 眠くならなかった	10	1
3 好奇心がそそられた	10	1
4 変化に富んでいた	8	3
5 やりがいがあった	9	2
6 自分に関係があった	6	5
7 身に着きたい内容だった	9	2
8 途中の過程が楽しかった	9	2
9 自信がついた	5	6
10 目標がはっきりしていた	7	4
11 学習を着実にすすめられた	9	2
12 自分なりに工夫ができた	9	2
13 やってよかった	10	1
14 すぐに使えそうだった	4	7
15 出来たら認めてもらえた	10	1

表 3 の ARCS 評価シートのアンケート結果についてカイ二乗分布を用いる適合度の検定を行った(14)。それぞれの質問項目において、「はい」と「いいえ」の比率に差があるかを調査する。適合度検定を行った結果を表 4 に示す。

表 4 の P 値より、有意差($p < 0.05$)が認められた項目は「おもしろかった」、「眠くならなかった」、「好奇心がそそられた」、「やってよかった」、「出来たら認めてもらえた」であった。

表 4. 適合度検定の結果

項目		χ^2 値	P値
1	おもしろかった	7.364	0.012
2	眠くならなかった	7.364	0.012
3	好奇心がそそられた	7.364	0.012
4	変化に富んでいた	2.273	0.227
5	やりがいがあった	4.455	0.065
6	自分に関係があった	0.091	1.000
7	身に着きたい内容だった	4.455	0.065
8	途中の過程が楽しかった	4.455	0.065
9	自信がついた	0.091	1.000
10	目標がはっきりしていた	0.818	0.549
11	学習を着実にすすめられた	4.455	0.065
12	自分なりに工夫ができた	4.455	0.065
13	やってよかった	7.364	0.012
14	すぐに使えそうだった	0.818	0.549
15	出来たら認めてもらえた	7.364	0.012
		(自由度 1)	

3.3.2 テキストマイニングの結果

次に、自由記述欄のアンケート結果に対して、計量テキスト分析ソフトの KH Coder を用いて、共起ネットワーク図を作成した。KH Coder の前処理(15)を実行した結果、総抽出語数は 441、異なり語数は 166 であった。共起ネットワーク図は KH Coder の設定により最小出現数は 2 回以上の語を抽出した。サブグラフ検出(媒介)の設定を行い、語と語の結びつきが強い語は同じ色でグループ分けを行う。グループ間に繋がりがあがる場合は実線で結ばれ、そうでないときは破線で結ばれるようになっている。図 14 に共起ネットワーク図を示す。

4. 考察

4.1 ARCS 評価シートによる教材評価

ARCS 評価シートの結果より考察を行う。表 4 より、「おもしろかった」、「眠くならなかった」、「好奇心がそそられた」、「やってよかった」、「出来たら認めてもらえた」の 5 項目において有意差が見られた。

まず、「おもしろかった」、「眠くならなかった」、「好奇心がそそられた」は注意、知覚的喚起、探求心の喚起の要素である。

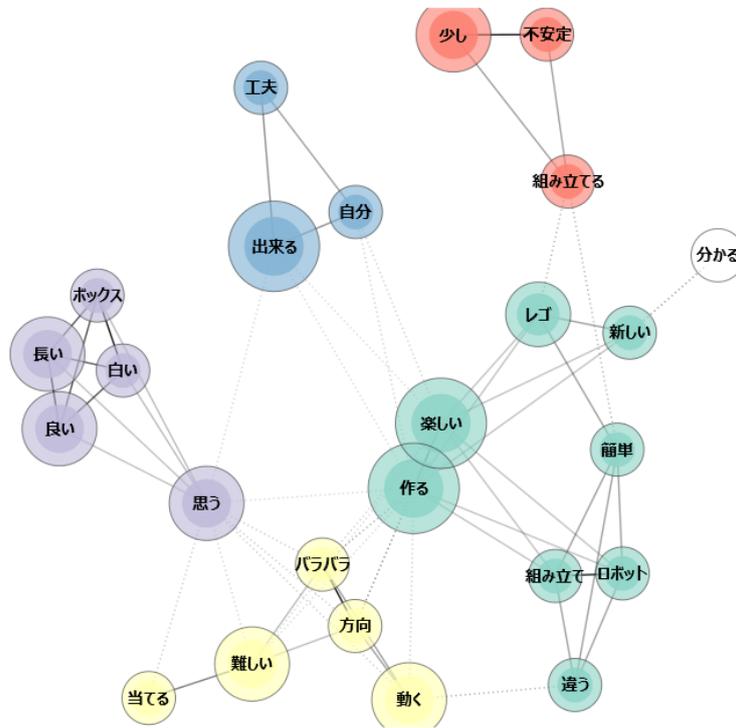


図 14. 共起ネットワーク図

この結果は YubiTus が「プログラミング」と「回る」「引っ張る」という命令ブロックと動きの関連性が分かりやすかったため、学習者の感覚に訴えかけることが出来たと考えられる。さらに、実験中は的当てミッションを達成するために、スティックブロックでの動きを工夫する子どもや、プログラミングを自分流に改変する子どもが見られた。

このことから、目的を達成するための様々な手法の発見が、探求心の喚起につながったと考えられる。

次に、「やってよかった」、「出来たら認めてもらえた」は満足感、肯定的な結果の要素である。この結果は YubiTus の命令ブロックと動きの結果が目に見えて分かりやすかったためであると思われる。本実験では、最後に的当てミッションを設定した。的が倒れる動きは改造の結果として分かりやすかった。YubiTus は的当てミッションのような、現実の動きをすぐに結果に表現することができるため、満足感に繋がったと考えられる。

以上の結果から、YubiTus は学習者に対して好奇心や探求心の喚起を促し、やりがいを感じられる教材であるといえる。

4.2 テキストマイニングによるアンケート分析

本節では自由記述の共起ネットワーク図より考察を

行う。図 14 より、自由記述のアンケートは「楽しい/作る」、「動く」、「良い」、「少し」、「出来る」の 5 グループに分かれることが分かった。「楽しい/作る」のグループは、「作る」と「楽しい」が非常に近い共起関係にある。よって、YubiTus でロボットを作ることは楽しい作業であったと思われる。

二つ目に、「動く」のグループには「難しい」や「バラバラ」といった語が含まれる。アンケートには「まっすぐ動かなくて苦労した」といった記述がみられた。スティックブロックを正確に組み立てなければ、投石器の進む方向が、思うようになかったことが原因であると考えられる。

三つ目に、「良い」のグループは「白い」「ボックス」「長い」といった語が含まれる。これは、縮む YubiTus のひもが長かったことが原因である。

四つ目に、「少し」のグループは「不安定」や「組み立てる」という語が含まれる。これは、スティックブロックは棒と棒の締結が弱く、組み立てが不安定になったため、このような記述がみられたと思われる。

最後に、「出来る」のグループは「自分」と「工夫」の語が含まれる。アンケートには「自分なりの工夫が出来て良かった」や「改造のしかたも工夫して出来たから良かった」といった記述がみられた。これは、YubiTus を使うことでミッションに対して、自分のや

りたい工夫を実現することができたと思われる。

以上のテキストマイニングの結果より、YubiTus は、自分なりの工夫ができ、楽しさを感じられる教材であるといえる。

5. まとめ

本研究では様々な動きをするデジタル・ティンカリング教材 YubiTus を作成し、教材としての特性評価を行った。既存教材と異なり、身の回りの物を組み合わせることを前提に設計を行い、子どもでも扱えるビジュアルプログラミング環境を実装した。

YubiTus を使用した学びの活動の実践では、小学生を対象に YubiTus とスティックブロックを使用した特性評価を行った。投石器の組み立てと、ビジュアルプログラミングによる動きの制御を行い、実験後に ARCS 評価シートと自由記述によるアンケートを行った。

ARCS 評価シートの結果と自由記述による共起ネットワーク図を作成した結果から、YubiTus は 学習者に対して好奇心や探求心の喚起を促し、やりがいを感じられる教材であり、さらに自分なりの工夫ができ、楽しさを感じられる特質を持つことが明らかになった。

今後の展望として、新しい種類の YubiTus を作成し、教材を使用したカリキュラムを作成する。また、形状の小型化を行い、身の回りにあるものへ取り付けることの利便性を上げる。

謝辞

本研究の実験環境を提供して戴きましたプログラボ教育事業運営委員会および、プログラボ教育事業運営委員会 丸岡大知氏に心より御礼申し上げます。また、本研究の装置開発にあたり株式会社富士通総研のご助言を戴き、感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 赤堀侃司: “プログラミング教育の現状についての考察”, CRET 年報, 第 2 号(2017)
- (2) 小学校プログラミング教育の手引き(第二版), 文部科学省(2018)
- (3) 柚木翔一郎, 片平克弘: “ティンカリングの観点を取り入

れた生徒主体の「ものづくり」に関する研究”, 日本科学教育学会研究会研究報告, 30 巻 6 号, pp.51-54(2015)

- (4) 井上順子, 小山内靖美, 仲田英起, 満岡秀一, 齋藤善寛: “共創デザインの教育プログラム”, 日本デザイン学会 第 63 回研究発表大会(2016)
- (5) Karen Wilkinson, Mike Petrich(2014), THE ART OF TINKERING, Weldon Owen Inc, (金井哲夫 (2015) 訳, 『ティンカリングをはじめよう——アート、サイエンス、テクノロジーの交差点で作って遊ぶ』, オライリー・ジャパン)
- (6) Martinez, S.L., Stager, G.S.(2013), Invent to Learn-Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom, (酒匂寛(2015)訳, 『作ることで学ぶ —Maker を育てる新しい教育のメソッド』, オライリー・ジャパン)
- (7) 山岡潤一, 渡辺ゆうか: “FabWalker: “歩き方”をデザインする学習用ロボットキット”, 情報処理学会研究報告, 第 4 号, pp. 1-5(2015)
- (8) 原田悠我, 荒優, 山内祐平, “プログラミング学習における Tinkering の支援: 自己説明を通じた仕組みの理解を促すシステムの試作” 日本教育工学会研究報告集 17, pp. 325-332 (2017)
- (9) S4A (閲覧日 2017 年 11 月 26 日) <http://s4a.cat/>
- (10) 向後千春, 鈴木克明: “ARCS 動機づけモデルに基づく授業・教材用評価シートの試作”, 日本教育工学会大会講演論文集, 第 14 巻, pp. 577-578(1998)
- (11) 向後千春, 杉本圭優: “ARCS モデルに基づく CAI 教材の評価項目の試作”, 教育システム情報学会全国大会講演論文集, 第 21 巻, pp. 225-228(1996)
- (12) 向後千春, 鈴木克明: “ARCS 評価シートの構造方程式モデルによる検討”, 北陸三県教育工学研究会(1999)
- (13) 鈴木克明, 岩手県立大学: “ARCS 動機づけモデルに基づく授業・教材用評価シートと改善方略ガイドブックの作成”, 文部科学省科学研究費補助金研究成果報告書, (2000-2001)
- (14) 適合度の検定 (exact test), <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/gft.html>(2018 年 11 月 12 日確認)
- (15) 山岡武邦, 白濱弘幸, 松本伸示: “小学生のための LED を用いた教材「光の足し算器」の開発と評価 - テキストマイニングによるアンケート分析を通じて - ”, 日本科学教育学会研究会研究報告, 29 巻, 6 号, pp.27-32(2014)