仮想現実を用いた初学者向けプログラミング学習システムの提案

Programming learning system using virtual reality for beginners

増谷 海人 † 赤澤 紀子 †
Kaito Masutani Noriko Akazawa

1. はじめに

義務教育期間におけるプログラミング授業の必修化が将来予定されており、小中学生を対象としたプログラミング教育の関心が高まっている。プログラミングは通常、日常生活にありふれた物ではないため、プログラミング教育を受ける以前に興味や関心を得ることは難しい。プログラミングに対する事前の知識や興味の有無は、プログラミング教育の学習率に影響することが松本らによるプログラミングの授業 [1] によって示されており、プログラミング学習の開始段階にて興味や関心を持たせることが重要であると言える。

プログラミングを知らない段階であってもプログラミングの基本的な考え方や興味を持たせる手段として、ゲームの目的を達成する手段としてプログラミング要素を扱うプログラミングゲームが挙げられる。プログラミングゲームの例としてアルゴロジック [2] があり、プログラミングに経験のない人であってもプログラミングへの興味や楽しさを得られることが示されている [3]。しかし、プログラミングゲームはマウスやキーボードで操作を行い、コンピューターの画面上で動作するため、手や足を使って体感的に学習するといった方法をとることは難しい。

そこで、ヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) を用いた仮想現実 (以下 VR) 空間上にプログラミングゲームを実装し、実際に手足を動かしてプログラミングを行うシステムを考える。VR による体感的な学習は、一般の学習方法と比べて効果的であることが示されており [4]、プログラミングゲームを VR ゲームにすることによってより効果的にプログラミングの基本的な考え方や興味を持たせられるのではないかと考えられる。

本研究では、HMD を用いた VR 空間にてプログラミングを体感しながら学習できるプログラミングゲーム VLogic を開発した。また、実際の体験によってプログラミングゲームとしての評価、体験前後のプログラミングに対する興味や考え方の変化について検証を行った。

検証の結果、VLogic 体験者の多くが非常に楽しくルールが分かりやすいゲームという高い評価を得られた。また、プログラミングを知らない人に対して特にプログラミングの興味を持たせることができた。

† 電気通信大学
The University of Electro-Communications

2. プログラミングゲームの意義

松本らが実施した C 言語プログラミングの授業では、学習の楽しさや、プログラミングへの興味があるほど授業の学習率が高いことが示されている [1]。このことから、特にプログラミングを知らない初学者に対するプログラミング学習は、いかにしてプログラミングに興味を持たせられるかということが課題になると言える。

プログラミングを知らない段階であっても、楽しくプログラミングを学ばせ興味を持たせる手段として、プログラミングゲームを用いた学習方法がある。プログラミングゲームとは、目的を達成する手段としてプログラミングを行うことができるゲームのことであり、「歩く」「向きを変える」といったプログラムの内容を表すブロックを組み立てることで視覚的にプログラミングを行うことができることが特徴となっている。

プログラミングゲームの例であるアルゴロジック [3] は、プログラミング経験が無くても楽しくプログラミングの考え方を学べるゲームを目的として開発され、プログラミング学習における導入段階での使用が想定されている。アンケート調査では、ゲームを利用した授業後にプログラミングに対する興味や楽しさが向上したことが示されている。他のプログラミングゲームの例であるまなべー [5] では、ゲームという形で単純化することで「プログラムどおりにしか動かない」ことに焦点を当てて学習を行えるよう設計されている。授業による調査結果では、タイピングが難しい小学生に対してもプログラミング学習ができたことが示されている。これらの例から、プログラミングゲームは特にプログラミングの入門段階において特に効果があると言える。

プログラミングゲームの問題点は、プログラミングの操作や結果がコンピューター上でのみ動作することである。全ての操作はマウスやキーボードによって行い、プログラミングの結果はモニターに出力されるが、このような形式では手や足を動かして体で覚えるといった体感的な学習を行うことは難しい。

体を動かして体感的な学習を行うことができるようにする方法として、プログラミングゲームを VR コンテンツとして実装することを考案する。学習者の周りに VR 空間を用意し、プログラムを表すブロックを 3 次元の物

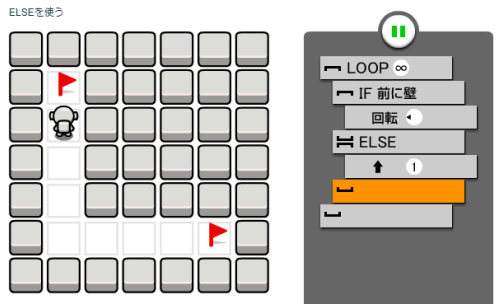


図 1: アルゴロジック 2 のゲーム画面

体で表現し、学習者が直接ブロックを掴んでプログラミングできるシステムを実装する。これによりプログラミングを体感的に学習することができ、従来の方法よりもより効果的にプログラミングの知識や興味を身につけられるのではないかと考えられる。VR による学習は、従来の学習方法による学習よりも効果的であることも示されており [4]、プログラミングにおいてもその効果が期待されると考える。

3. 関連研究

3.1 アルゴリズム体験ゲーム「アルゴロジック」

アルゴロジック [2][3] とは、電子情報技術産業協会が公開しているプログラミングゲームである (図 1)。アルゴロジックはプログラミング学習の導入段階での使用を想定し、プログラミング経験のない人でもプログラミングの基本的な考え方を楽しく学ぶことができるゲームを目標として制作された。ゲーム内ではマウスによるドラッグ操作によって直感的にプログラミングを行うことができる。このゲームを用いた授業のアンケート [3] では、プログラミングに対する興味や楽しさが、授業前よりも授業後の方が高く評価され、プログラミングゲームによるプログラミング学習の有効性を示した。

なお、アルゴロジックのルールは次の通りである。

- 前進や回転といったプログラムブロックを決められた欄に配置すると、ロボットへの命令が入力される。
- 実行ボタンを押すとロボットは配置されたブロックの命令通りに動き、動作結果によって成功判定が行われる。
- ステージ外にロボットが移動した場合は直ちに失敗となる。
- ロボットが全てのゴール (旗) に到達すると成功となり、そうでない場合は失敗となる。

3.2 小学生向けプログラミング学習教材「まなべー」

間辺らが開発したまなべー [5] は、小学生を対象にできるよう、アルゴロジックよりも単純化されたプログラミングゲームである。アルゴロジックとは異なり、歩数設定や回転方向設定などのパラメーター設定が無く、ブロックの配置のみでプログラミングと目標達成を行うことができる。

実験結果では、プログラミングが難しいと感じる人は、初めからプログラムの完成を狙って一度に多くのブロックを配置する傾向があると分かり、要所ごとの確認を行うことを学ばせる重要性を示した。

まなべーの問題点として、ステージが広く必要なブロックが多いため、失敗した際のプログラムの誤りを見つけることが困難になっている。また、ロボットの視点から考えてプログラムを作る必要があるにも関わらず、ロボットの向きを判断しにくいという問題もある。

前者の問題を解決するために、プログラムゲームの問題 1 つは目標を少なく明確にし、目標ごとの確認を行いながら答えに導けるよう設計する必要があると考える。後者の問題は、ロボットやステージを 3 次元で表現し、様々な視点で観察できるようにすることで解決できるのではないかと考える。

4. 設計方針

VR で体感しながらプログラミングを学習できるプログラミングゲーム VLogic の設計方針として、以下のような内容を目指した。

4.1 プログラミングを体感する

第一の設計方針は、実際に体を動かしてプログラミングを行えるようにすることである。プログラミングは通常、マウスやキーボードによって入力を行い、プログラミングの結果はモニター上の画面でのみ行われるため、利用者とプログラミングとの間は隔てられている。そこで、利用者に対して VR 空間を用意し、空間内で直接プログラムを掴んだり、プログラム同士をつなぎ合わせたりすることができることで、より体感的なプログラミングを行えるようにするシステムを目指す。

4.2 実行結果を自由な視点から見る

第二の設計方針は、ロボットの動作やステージなどを 3 次元で表現し、自由な視点で見ながらプログラミングを行えるようにすることである。アルゴロジックのような従来のプログラミングゲームでは、ロボットやステージはモニター上に 2 次元情報として表現されるが、ステージは常に上から表示されるため、ロボットの視点から考えて向きの動作などをプログラミングすることが難しくなっている。そこで、ロボットやステージを VR 空

間に 3 次元で表現し、様々な角度からプログラムの実行結果を見ることができるシステムを目指す。

5. 仕様と実装

5.1 デバイス

本システム VLogic で用いた VR 用 HMD は、位置トラッキング機能のある HTC Vive (以下 Vive) である。VR 空間に対する操作は、Vive 付属のコントローラーを用いた。VR 体験用に確保した実空間スペース (以下プレイエリア) は、縦 2.0m、横 2.0m である。また、システム内において音声フィードバックを行えるようにするため、市販のヘッドホンを準備した。

5.2 開発ソフトウェア

VLogic のシステム開発は、ゲームエンジンである Unity 2018 上で行った。また Unity アセットとして、Vive 開発用のアセットである OpenVR、VR コンテンツ開発支援のアセットである VR Toolkit を用いた。

5.3 ゲームの目的とルール

VLogic のゲームルールは、よりシンプルなプログラミングゲームであるアルゴロジック 2[2] を参考に構築した。VLogic 利用者 (以下プレイヤー) の目的は、マップ上に配置されたロボットがスタート地点から全てのゴールを通るようプログラムを組み立てることである。ロボットはマップ上の床のあるマスを進むことができ、床のないマスへ侵入した場合はステージから落下し失敗となる。ロボットが全てのゴールを通過するとステージクリアとなる。

5.4 VR 空間の構成

図 2 は、VLogic における VR 空間の構成図である。

プレイエリア
プレイヤーが実空間内で自由に移動できる範囲を表す緑色の床。

マップ
ロボット、床、ゴールが配置されたマップ。初期位置と向きは青の床と矢印で表され、ゴールは赤色の球で表される。

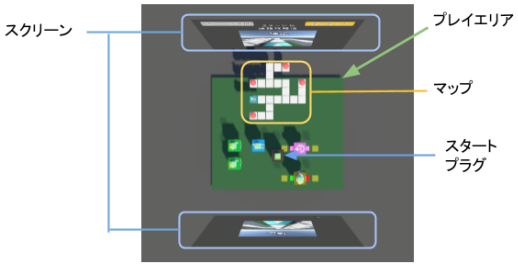


図 2: VLogic における VR 空間の構成

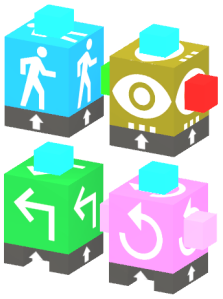


図 3: VLogic で使用されるコードブロック

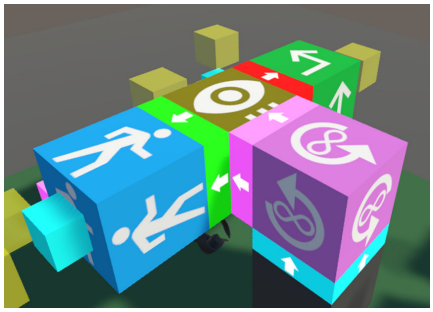


図 4: コードブロックの接続例

スタートプラグ
ロボットのプログラムを組み立てる最初の位置。

スクリーン
ロボット視点の映像とロボットに対するプログラムが写し出されるスクリーン。前方のスクリーンはゲーム内 UI の役割を持ち、次のステージへ進むボタンやリセットボタンなどが配置される。

5.5 プログラミングの仕様

VLogic 内のプログラミングは、コードブロックと呼ばれる箱状のブロックを用いて行われる。図 3 は、VLogic で使用されるコードブロックである。

コードブロックには他のブロックと接続するためのプラグ (凸部) とソケット (凹部) が付けられ、ソケットにはプログラムの流れを表すための矢印が描かれている。ブロックを接続するには、ブロックを持ち上げながら他のブロックにあるプラグかスタートプラグの先に持っていき、手を離すことで接続が行われる。ブロック同士の接続例を、図 4 に示す。

コードブロックは、実行されるプログラムの内容によって 4 種類に分けられ、色とアイコンによって区別される。

前進ブロック (青)
ロボットを前進させる。歩数を 1〜4 に変更できる。

回転ブロック (緑)
ロボットを回転させる。90 度単位で方向を変更できる。

繰り返しブロック (ピンク)
プログラムを繰り返すためのブロック。横方向にピンク色のプラグが付けられ、そのプラグに接続されたブロックを繰り返す。回数は 1〜4 の有限回か無限回に変更できる。

条件分岐ブロック (黄)
一歩先に床があるかどうかによって条件分岐を行うブロック。横方向に緑色と赤色のプラグがそれぞれ付いており、床がある場合は緑色に、そうでない場合は赤色に接続されたブロックを実行する。

5.6 操作の仕様

VLogic の操作は 2 つの Vive コントローラで行い、それぞれを手に持って操作を行う。コントローラで行う操作は以下の通りである。また、VR 上で表示されるコントローラを図 5 に示す。

コードブロックを選択する
コントローラをコードブロックに近づけるとブロックは選択状態になり、選択音とコントローラのバイブレーションでフィードバックが行われる。選択状態のブロックは枠線とコードブロックの説明が表示される。

コードブロックを持ち上げる
コントローラのグリップを押すと、選択中のコードブロックを持ち上げられ、グリップを離すとコードブロックを落とす。他のコードブロックにあるプラグの接続位置で離すことでブロック同士の接続が行われる。

コードブロックの設定を変える
コードブロックを選択中か持っている間、コントローラのトリガーを押すことでブロックの設定を変更でき、変更音とコントローラのバイブレーションでフィードバックが行われる。

プログラミングの再生と停止を行う
左手のコントローラのタッチパッドには VR 上で再生ボタンと停止ボタンが表示される。再生ボタンの位置でタッチパッドを押し込むと、スタートソケットに接続されたコードブロックによってプログラミングが再生され、停止ボタンの位置で押し込むとその再生を中断することができる。

スクリーン上の UI の操作を行う
右手のコントローラからは UI を操作するためのレーザーが表示され、スクリーン上のボタンに向けながらトリガーを引くことでボタンを押すことができる。

5.7 ステージ構成

体験用に準備したステージは 15 個であり、その内訳は以下の通りとなっている。

- ステージ 1〜4: ゲームの説明を兼ねた、歩行ブロックと向き変更ブロックのみを使う問題
- ステージ 5〜8: 繰り返しを使う基本問題
- ステージ 9〜11: 条件分岐ブロックを使う基本問題
- ステージ 12〜15: 二重ループなどの応用問題

6. 実験内容

本研究で作成したシステム VLogic を複数の体験者に体験してもらい、体験中の様子や事前・事後アンケートによって調査を行った。体験者は学部生・修士生 5 人、オープンキャンパスの訪問者 6 名、中学生 3 名の、合計 14 名である。

6.1 体験準備

体験を始める前に、体験者に対して VR 体験における注意事項を説明した。説明事項は、VR 機材とヘッドホンを装着すること、体験中に酔った場合は直ちに中断すること、コントローラの使用方法についてである。

事前説明の後、体験者に事前アンケートの実施を行った。事前アンケートの内容は、プログラミングに対する知識や興味の有無、体験中の様子の撮影許可についてである。

事前アンケートを終えた後、体験者をプレイエリアに誘導し、HMD とヘッドホンを装着させた。HMD がしっかり装着されたことを確認後、体験者にコントローラを持たせた。



図 5: VR 空間内で表示されるコントローラ

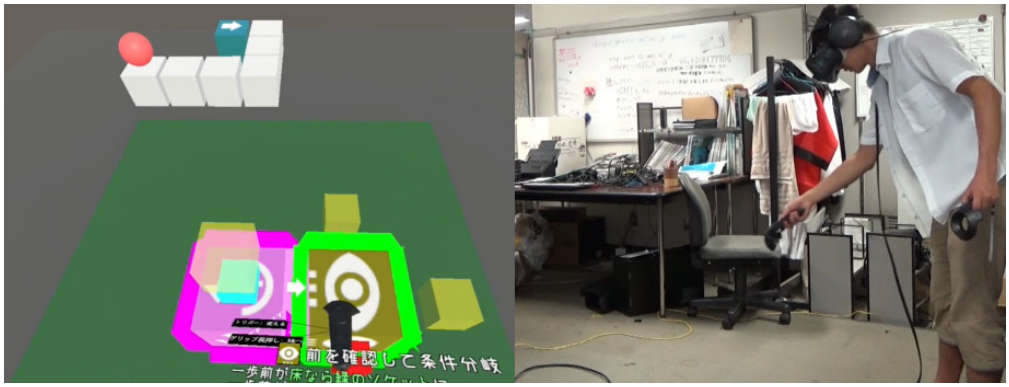


図 6: 体験者が VLogic を体験する様子

6.2 VLogic の体験

VLogic の体験の初めに、ゲームの目的と操作方法を、実際にステージをクリアしてもらいながら説明を行った。説明用のステージを終えた後は、体験者のペースで体験を行わせた。

体験時間はおおよそ 20 分間であり、開始から 15 分後にプレイしていたステージをクリアしたか、中止した後、体験終了とした。図 6 は、VLogic を体験している体験者の様子である。

6.3 体験後

VLogic の体験後は事後アンケートを行った。事後アンケートの内容は、ゲームの 5 段階評価 (楽しさ、難易度、分かりやすさ)、体験後のプログラミングに対する知識や興味の有無、その他ゲームに対する意見である。

なお、6 人目の体験者以降はアンケートの見直しにより項目を増やしたため、一部項目の回答数が体験者数と異なる。

7. 結果と考察

7.1 事前アンケート

事前アンケートでは、プログラミングについて知っていると答えた体験者は 14 人中 11 人であり、プログラミングを知らないと答えた体験者は 14 人中 3 人であった。

7.2 事後アンケート：ゲームに対する評価

VLogic のゲームとしての評価は 9 名が回答し、その集計を表 1 、そのグラフを図 7 に示す。

ゲームの楽しさに関する平均評価は非常に高く、9 人中 8 人が 4 点以上であり、最低点は 2 点が 1 人だった。また、分かりやすさに関しても 9 人中 8 人が 4 点以上で、最低点は 3 点が 1 人だった。VLogic はゲームとして楽しく遊ぶことでき、ルールや仕組みも分かりやすいものであったと言える。

ゲームの楽しさに関して、「没入感で問題に集中できる」「物を掴んだり繋げたりするのが面白い」という回答を得ており、VR で実装したことによる効果が VLogic の楽しさに貢献したということが考えられる。

ゲームの分かりやすさでは、直感的な操作である「物を掴む」「物を離す」のみによってプログラムを作ることができるため高い評価を得られたと考えられる。一方で、「トリガー」「グリップ」といったコントローラのボタンの名称は聞いただけでは分かりづらいという回答があり、体験前にコントローラの使い方の説明を十分に行う必要があることが分かった。

ゲームの難しさの評価は、9 人中 7 人か丁度よい難しさ (3 点) と回答し、簡単 (2 点)、難しい (4 点) と答えた体験者は 1 人ずつであり、簡単すぎる (1 点) と難しすぎる (5 点) と回答した人は居なかった。

VLogic を他人におすすめしたいかどうかという項目において、勧めたいという回答は回答は 14 人中 13 人であった。このことからも、ゲームの全体的な評価が高かったことが伺える。一方で他人におすすめできない理由として VR 機材の着脱の困難さが挙げられ、VR で実装することの欠点が明らかにされた。

7.3 事後アンケート：プログラミングに関する項目

事前アンケートと事後アンケートから、VLogic の体験によってプログラミングに対する考えが変化したか検討した。

体験後、プログラミングを理解できたという回答は全体で半数程度、プログラミングを知らない人の中で回答した人は 1 人だけであった。ゲームが分かりやすいという回答が多い中でこのような結果になった理由として、体験中ではプログラミングという言葉を使わなかったため、ゲームで得た知識と実際のプログラミングとを結び付けられなかったからことが挙げられる。VLogic を実際にプログラミング学習の入門として用いる場合、VLogic の仕組みと一般的なプログラミングの共通点について解説を行う必要があるのではないかと考える。

プログラミングに興味を持ったという回答は、プログ

表 1: ゲーム評価の平均評点 (事前知識別)

プログラミング	楽しさ	難しさ	分かりやすさ
知っている ($N = 6$)	4.3	3.0	4.0
知らない ($N = 3$)	4.7	3.0	4.0
合計 ($N = 9$)	4.4	3.0	4.0

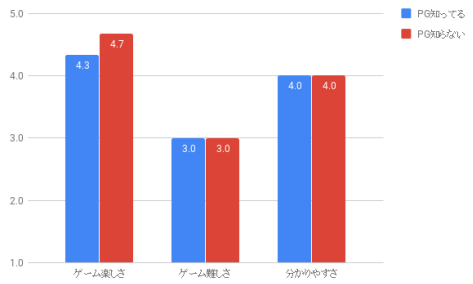


図 7: ゲーム評価の平均点のグラフ

表 2: 体験後のプログラミングに対する反応

プログラミング	理解できた	興味が出た	難しい
知っている ($N = 11$)	6 (54.5%)	5 (45.5%)	3 (27.3%)
知らない ($N = 3$)	1 (33.3%)	3 (100%)	1 (33.3%)
合計 ($N = 14$)	7 (50.0%)	8 (57.1%)	4 (28.6%)

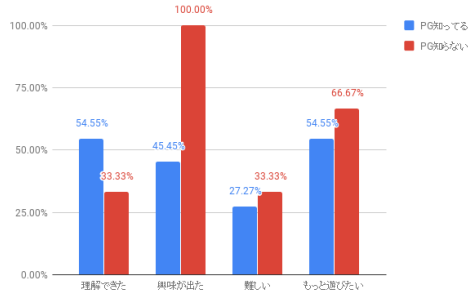


図 8: 体験後のプログラミングに対する反応のグラフ

ラミングを知っている人では半数程度だが、プログラミングを知らない人の中では全員が回答した。このことから、プログラミングを知らない人に対して特に、VLogic を体験することでより興味を持たせられることが期待できると言える。

プログラミングは難しいという回答は、プログラミングを知っている人は 11 人中 3 人、知らない人は 3 人中 1 人であった。どちらも少なかった理由として、ゲームの難易度や分かりやすさの評価から、問題が難しすぎたり理解しづらいことによってプログラミングが難しいと感じることがなかったからではないかと考えられる。

7.4 その他改善点

自由記述におけるゲームの改善点では、いくつかの操作に関する問題点が挙げられた。

1 つは、手に持ったコードブロックが他のコードブロックに当たると、持っているブロックを意図せず落としてしまう事である。使用したアセットのデフォルト設定により、オブジェクト同士が重ならないための処理が行われ、意図しないブロックの落下を招いていた。手に持っているブロックの物理的な当たり判定を無くすなどの改善が必要であると考える。

もう 1 つは、プログラミングの起点であるスタートソケットの問題である。スタートソケットは空間上に固定されているため、ループブロックなどで横方向に接続する際、4 ブロック目がプレイエリアからはみ出しブロックの接続が困難になってしまった。スタートソケットを動かせるようにするか、ブロックの大きさを小さくするなどの調整が必要であると考える。

8. おわりに

8.1 まとめ

本研究では、HMD を用いた VR 空間内でプログラミングを体感できるゲーム VLogic を開発し、実際のゲーム体験から、ゲームとしての評価や、体験前後のプログラミングに対する考えの変化について検証を行った。その結果、体験者の多くが VLogic に対して楽しさや分かりやすさが高く評価され、特にプログラミングを知らない人に対してよりプログラミングの興味を持たせることができた。

8.2 今後の課題

VLogic の有効性を高めるためには、より多くの人が自由に遊ぶことができる環境が必要である。しかし、本研究で用いた Vive の環境を一般家庭で用意することは、動作に必要なコンピューターのコスト面から難しい。より多くの人が遊べる環境として、安価に入手が可能なモバイル VR による実装が挙げられる。ただし、モバイル VR は位置トラッキングを扱うことはできないため、ブロックを直接手に持つといった実装は行えない。このような制限された VR 環境においてプログラミングゲームを実装した場合、どのように体験が変化するか検証したい。

参考文献

[1] 松本 絵里子，佐藤 良樹，佐藤 瑞帆ほか: C 言語の概念と実行過程を可視化するプログラミング学習用アプリケーションの開発，専修ネットワーク&インフォメーション，No.24，pp.15-26 (2016)

[2] アルゴリズム体験ゲーム・アルゴロジック | JEITA ソフトウェアで未来をつくる (オンライン)，入手

先 <https://home.jeita.or.jp/is/highschool/algo/> (参照 2018-07-22)

[3] 大山 裕: ぺた語義: アルゴリズム体験ゲーム「アルゴロジック」，情報処理，Vol.53，No.3，pp.316-320 (2012)

[4] Beijing Bluefocus E-Commerce Co. Ltd.: A Case Study The Impact of VR on Academic Performance (Online), Available from <https://cdn.uploadvr.com/wp-content/uploads/2016/11/A-Case-Study-The-Impact-of-VR-on-Academic-Performance_20161125.pdf> (Accessed 2018-07-22)

[5] 間辺 広樹，並木 美太郎，兼宗 進: 小学生向けプログラミング学習教材「まなべー」の開発と教育効果，研究報告コンピュータと教育（CE），Vol.2015-CE-131，No. 6，pp.1-8 (2015)