

# Minecraft を用いた論理回路学習環境の設計

## Designing Learning Environment for Logic Circuit Using Minecraft

○富田英司<sup>\*1</sup>, 玉井誠一<sup>\*1</sup>, 河村泰之<sup>\*1</sup>, 坪田康<sup>\*2</sup>

TOMIDA Eiji<sup>\*1</sup>, TAMAI Seiichi<sup>\*1</sup>, KAWAMURA Yasuyuki<sup>\*1</sup>, and TSUBOTA Yasushi<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学教育学部, <sup>\*2</sup>京都工芸繊維大学基盤科学系

<sup>\*1</sup>Faculty of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup> Faculty of Arts and Science, Kyoto Institute of Technology

**【要約】** 本研究は、JAVA 版 Minecraft のマルチプレイ・サーバーと Discord を用いて、放課後学習支援の枠組みの中で、論理回路を活用する力を身につけるための学習コースを設計・実践・評価した。愛媛大学放課後学習教室の1コースとして、参加者を募集したところ、小学校4年生から中学校1年生までの6名が参加し、そのうち5名が高いモチベーションを維持しながら継続的に参加した。実践の結果、回路の学習は大人にとっても容易なものではないが、問題解決の文脈を備えたパフォーマンス課題をその都度準備し、スモールステップで学習を進めることで、パルサー回路、クロック回路、論理回路の考え方を理解し、自ら設定した目的に沿ってそれらを活用した装置を組み立てられることが明らかになった。

**【キーワード】** 論理回路, Minecraft, 学習環境の設計, メタバース

### 1. 問題と目的

#### 1.1 Minecraft とその教育利用の広がり

本研究の目的は、JAVA 版 Minecraft のマルチプレイ・サーバーと Discord を用いて、論理回路を活用する力を身につけるための学習コースを設計・実践し、そのプログラムとしての効果を評価することで、今後の同様の目的の授業実践に貢献することである。本節ではまず Minecraft というアプリケーションについて説明する。

Minecraft は Mojang Studio が開発し、Microsoft が販売するサンドボックス型のゲームで、プレイヤーはブロックやエンティティで構成された3次元の環境を自由に操作してプレイする。サバイバルモード、クリエイティブモード、アドベンチャーモード、スペクテーターモードの4種類のモードがある。いずれのモードでも特別な目的は設定されていないが、サバイバルモードでは、プレイヤーは資源を収集し、建築し、Mob と戦い、食べ、生き残るために世界を探索していく。クリエイティブモードでは自由にアイテムやブロックを使うことができ、死ぬことがないため、自由に建築を楽しむことができる。いずれのモードでも、一人で遊ぶシングルプレイ、複数人で同じサーバーにアクセスして遊ぶマルチプレイの両方が可能である。マルチプレイの際にはチャットで連携しながらの行動となるが、Minecraft にはテキストチャット機能のみ提供されており、音声チャット機能は提供されてい

ない。そのため、音声コミュニケーション機能を備えた Discord や Zoom を併用することも多い。

マイクラフトを単なるブロック組み立てのゲームから一線を画す要素として、レッドストーンが存在が挙げられる。レッドストーンとは、動力源になったり動力を伝えたりすることができる、マイクラフト上のアイテムの1つである。このアイテムを使うと、赤いパウダーの導線にスイッチやランプなどのアイテムとつなげることで、実際の電池や豆電球の回路と同じようにブロックを光らせたり、動かしたりすることができる。この仕組みを使って、コンピュータの演算の基礎となる「論理回路」を楽しく経験することが可能である。

Minecraft には 2016 年より、教育版もラインナップに加わったことから明白であるが、このゲームを教育に活かす動きも活発である。本研究が取り上げるのは上述のレッドストーンを用いた論理回路の学習環境であるが、Microsoft のサイト内に設けられた教師向けサイトでもレッドストーンを用いた回路学習に関するコースが設けられている (Microsoft, 2020) 他、日本語の教師向けサイトでも小学校の総合的な学習の時間向けに「マイクラで回路を作ろう」というコース (Microsoft, 2021) も設けられている。University of Maryland では論理回路を Minecraft で学ぶという大学の授業 (Brassel & Gary, 2019) も設けられている。Minecraft で論理回路を学ぶことに焦点をあてた

先行研究(Lakshmi et al, 2016)はあまり多くないが、論理回路も含めた学習についてはさまざまな先行事例があり、教材(Cordeiro, 2014)もいくつか出ている。

このような特定の領域のスキルやコンテンツに加えて、コミュニケーションスキルのような汎用的スキルの学習の場としても注目されている。Minecraft が協働して問題解決を図るためのツールとして使われる場合、子どもたちは安全で礼儀正しい方法で、お互いにコミュニケーションをはかろうとするが、これが Digital citizenship skills や 21 世紀型スキル(Noonoo, 2019)を育むよい機会だととらえる人もいる。

以上のとおり、Minecraft はゲームとしてのエンターテインメント性に加えて、その教育的な役割にも世界的な注目が集まっており、様々な研究の蓄積が進んでいる。しかしながら、上述のように論理回路機能を備えたレッドストーンを学ぶための授業づくりに関する蓄積は筆者らの知る限りほとんど報告されていない。

論理回路を学ぶ上で、Minecraft を活用することにはどのようなアドバンテージがあるのだろうか。そのことを論じる前に、次節では、論理回路が学校教育の正規カリキュラムにおいてどのように位置づけられるか整理しておきたい。

## 2. 論理回路の教育課程上の位置づけ

論理回路は、電子回路によるデジタル論理回路を指す場合が多く、2 値のデータに関する演算や記憶を行う。これはコンピュータの基礎となる考え方であり、基本となる論理演算の組合せで複雑な回路を表すことは様々なシチュエーションで前提知識とされる。

最も基本となる論理演算は AND、OR、NOT の 3 つであり、教育課程で正式な単元として扱われるのは高等学校「数学 I」の「集合と論理」がはじめとあってよい。論理回路は、この 3 つの基本論理演算を組み合わせることで作ることから考える。単元としては高等学校で教科「情報」や「工業」で扱う。

このように論理回路は高等学校から扱う内容であると考えられているが、実際にはもっと早い段階で同じ考え方に触れる。例えば、中学受験を指導する塾では小学校 4 年生で扱う。もちろん受験問題でなくとも日常の言葉でも使い、小学校 2 年生の算数で正方形は

次のように定義されている。「かどが みんな 直角で、へんの 長さが みんな 同じ 四角形を、正方形と いいます。」

つまり、論理演算を正確に定義しようとするのが高校生以上が想定されるが、概念としては小学校低学年から触れており、高学年から使いこなすことができることがわかる。論理演算を使いこなすことのできる子どもは、それらを組み合わせる論理回路を学ぶ準備ができていえる。

では、この論理回路について学ぶ環境として、Minecraft のメタバース環境を選択するのはどのような意義があるのだろうか。

## 3. 論理回路を学ぶ上での Minecraft の利点と欠点

上述の通り、Minecraft は、レッドストーンと呼ばれる回路の機能を備えている。さらに Minecraft は、メタバース内で教師を含む他者と交流を引き受ける場をも提供している。これらのことから、論理回路を学ぶための教材とそのためのバーチャル教室の両方を容易に準備できるという利点がある。これらの特徴によって、たとえ学習者が教材や空間を破壊してしまったとしてもすぐに修復が可能である。このような環境は教師にとっても、学習者にとっても、試行錯誤を促すことに繋がることから、主体的な学びを支える環境であると言える。

他方、欠点としては、特に JAVA 版においては、教育版とは異なり、教師のロールに特化した機能がないため、クリエイティブモード等のゲームモードにおいては、子どもたちがクラフトや建築、アイテムの装備などに夢中になってしまって、教師への注意が継続しなくなる可能性も高くなると言える。ただし、適宜スペクテイターモードへの変更などを含め、教師が効果的にコマンド等を活用することによって、学習者の行動に必要な制約を設けることでこの欠点は克服可能であると言える。

## 4. 学習環境デザインの理論的背景

本実践の学習環境をデザインするあたり、主に逆向き設計(Wiggins & McTighe, 2005)の考え方を援用した。逆向き設計は、永続的な理解が試されるパフォーマンス課題においてどのようなパフォーマンスを期待するのかという点から授業が構成されるという特徴がある。中でもパフォーマンスを通して評価され

るのは、学習内容を理解しているかどうかである。最終的には学習者が作りたい仕組みを作れるようになることを目指していたが、それを実現する根本的な理解を明確化するためにも、また複雑な学習内容を個人でも復習できるように、読解教材を作成することとした。この読解教材は4つの章から成り、それぞれに含まれる永続的な理解は次のようなものであった。

- 第一章：回路とは信号の流れる道筋であり、信号の入る入力と信号が出ていく出力を持っている。
- 第二章：回路内を進む信号の強さには限界があり、遠くまで信号を届けるためには、リピーターという信号を中継するための装置を用いることでその届く範囲を延長することができる。
- 第三章：コンパレータは信号が減衰するという特徴を使って2つのモードを切り替えることができる。減算モードは、「後ろから入力された信号の強さ」から「横から入力された信号の強さ」を引いた強さの信号を前に出力する。このしくみを利用すると、信号を反復的に出力することができる。、比較モードでは、後ろよりも横から入力された信号のほうが大きければ先に信号を伝えないのに対し、横からよりも後ろから入力された信号のほうが大きければ信号を出力するというしくみを利用して、信号の伝達を遅らせることができる。
- 第四章：論理回路は、入力の組み合わせによって、出力の有無が決まる回路のことを指す。NOT 回路は、入力がオフになったら信号が出力される回路。OR 回路は、2つの入力のうち1つでもオンの場合出力される回路。AND 回路では、2つの入力がどちらもオンの場合のみ出力される回路。NOR 回路は、2つの入力がどちらもオフの場合のみ出力される回路である。

## II. 研究の方法

### 1. 実践の枠組み

本研究は、愛媛大学放課後学習教室の1コースとして開催された「レッドストーン教室」を対象にした。このコースは、2021年12月に構想が開始され、1月から3月にかけて開催という極めて短い準備時間で進められたため、実験的な試みとして位置づけて学習者

を募集することとした。

授業計画は第二筆者を中心に、第一筆者が毎回の学習指導案を確認しながら適宜助言をおこなった。第三筆者は論理回路のカリキュラム上の位置づけに関する検討、及び読解教材に対する監修を担当した。第四筆者は、**Minecraft** を使った学習環境のデザインに関する先行研究の調査に加えて、実践過程の記録方法に関する助言をおこなった。

### 2. 教材・教具

#### (1) ワールド環境の活用

レッドストーン教室は**Minecraft** JAVA 版のマルチプレイサーバーの中に作られた。この**Minecraft** のワールド内に教室を作り、そこで解説や実演、実習、パフォーマンス評価などをおこなった。全9回のコース構成とし、毎回それに対応した教室を用意した。教材は、**Minecraft** のモデル利用可能性という利点を活かし、教室で一般的に見られる板書やスライドといった媒体の代わりに、回路の機能を担う装置や回路機能の実演等をワールド内の環境として用意した。

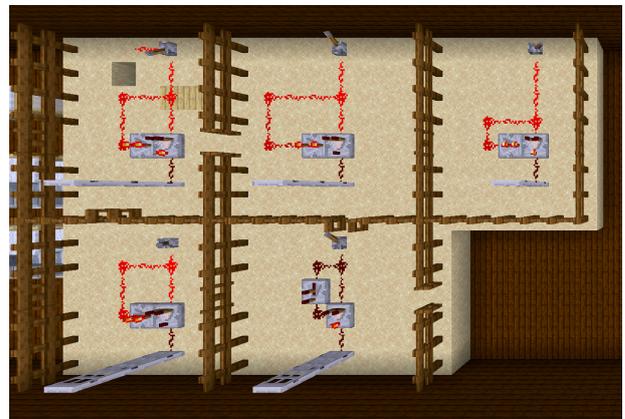


写真1 パルサー回路の理解を確かめるための施設

写真1は、第6回の授業の最初に使われたワールド内の学習施設の一部である。第4・5回にパルサー回路とクロック回路について学んだが、それらの理解を確かめるために、一箇所だけ設置方法が適切でないためにスイッチをオンにしても機能しない回路を、一人1つずつ用意して、それぞれの学習者が間違いを修正するように依頼された。写真1は、パルサー回路に関するパフォーマンス課題を示している。一人分の教材が柵で囲われて個別に設定されていることが見て取れる。

## (2) 読解教材

今回のコースの学習内容は、複雑であり、繰り返し学習者自身で取り組むことを通して修得が可能になるものであった。そのため、授業を提供するだけでは修得までに至らない可能性があるかと判断し、読解教材を執筆した。執筆にあたっては、レッドストーンの理解については、既存の書籍（赤石あかお・タトラエディット, 2016; てんやわんや街長・できるシリーズ編集部, 2017）を参考にしつつ、今回のコースにあわせて全面的に書き下ろした。第7回までの授業において、学習者が個人で時間外に取り組む復習に利用するよう伝えた。

本テキストは現時点で4つの章から構成されており、それらの概要は以下の通りである。

第一章は「レッドストーン回路ってどんなもの?」というタイトルで次のような見出しから構成されていた: はじめに、レッドストーンとは、回路とは、入力と出力、まとめ。

第二章は「レッドストーンはどこまで伝わるの?」というタイトルで次のような見出しから構成されていた: はじめに、レッドストーンが伝える方向、レッドストーンで上向きに信号を伝えるには、レッドストーンが伝える長さ、レッドストーンの信号をより長く伝えるために、まとめ

第三章は「レッドストーンコンパレーターのしくみと使い方」というタイトルで次のような見出しから構成されていた: はじめに、レッドストーン信号の強さ、コンパレーターの状態 (モード)、コンパレーターを使ったクロック回路、コンパレーターを使ったパルス回路、コンパレーターのもう一つの働き、まとめ。

第四章は「論理回路を知ろう」というタイトルで次のような見出しから構成されていた: はじめに、論理回路とその種類、NOT 回路の考え方・組み方、OR 回路の考え方・組み方、AND 回路の考え方・組み方、NOR 回路の考え方・組み方、レッドストーン回路の設置 応用編、まとめ

## 3. 参加者

松山市が松山市青少年育成市民会議に委託して運営している MAC ネット CSC というアプリの周知機能を通して、2022 年 1 月に愛媛大学放課後学習教室の参加募集をおこなった。募集枠は 5 名とした。最終的に、小学校 4 年生 3 名 (全員男子)、小学校 6 年生 1

名 (男子)、中学校 1 年生 2 名 (女子と男子 1 名ずつ) が応募した。このうち小学校 4 年生男子 1 名は他の習い事との両立が難しくなったため、継続的な参加者は 5 名となった。

このうち、小学校 4 年生男子 1 名は Minecraft で遊んだ経験がなかった。また中学校 1 年生男子 1 名は任天堂スイッチのみで Minecraft の経験があった。

## 4. 授業展開

授業展開は全 9 回で次のように計画された: ①導入、出力と入力の概念的理解、②レッドストーンの基本特性、③コンパレーターの理解、④パルサー回路の学習、⑤クロック回路の学習、⑥NOT 回路の学習、⑦NOT 回路の演習、⑧個人制作、⑨制作物発表。

3 回目以降の授業では、まず前回の理解を問うためのパフォーマンス課題をワールド内に用意して、それを学習者が適切に遂行できるか検討した。理解が十分でない場合にはその場で復習をおこなった。

第7回までに、学習者は今回のコースで学んだ回路をつかってそれぞれが作りたい仕組みを明確にした。第8回では、メインティーチャーがそれぞれの希望に応じた回路の利用について助言しながら、個別の製作活動を進めた。最後に第9回において、製作の仕上げをおこなった後で、学習者がそれぞれ作成した仕組みについて説明した。



写真2 レッドストーン教室全体像

ところで、写真2は今回のコースのために用意されたレッドストーン教室の全体を俯瞰的に撮影したも

のである。細長い縦の列1つ1つがそれぞれ1回分の授業で使われた教室である。写真1に相当するのはこの写真2の左上の部分である。現実の教室とは異なり、様々な装置を用意するための潤沢な場所を用意することができることに加えて、それらをそのまま残しておくことができることも Minecraft のようなメタバース環境の強みである。

### III. 結果

#### 1. 授業後アンケートの結果

初回から第3回までは、参加者の難易度に合わせた授業設計をするために授業の難易度に関するアンケート項目を用意した。評定は、簡単(1点)、ちょうどいい(2点)、難しい(3点)の3段階でおこなった。その結果、初回:1.25点、2回目:2、3回目:1.75であり、2を超えなかったため概ね適切な難易度設定であったと思われる。

第4~8回では、「今日の授業の内容は理解できましたか」という理解度を問う設問を設定し、「できた」「できなかった」「わからない」という3つの選択肢を用意した。その結果、すべての回において全員が「できた」と回答した。

すべての回に共通して、授業時間中の楽しさを「今日の授業は楽しかったですか」と問うたところ、男子1名のみ第4回までは「普通」と回答したが、それ以外では全員がすべての回において「楽しい」と回答した。

#### 2. 学習者の参加度

初回は2名が欠席したが、2回目から4回目までは1名のみ欠席であった。5回目以降は全員が出席した。このことから、このコースに対するモチベーションは高いままで推移したと考えられる。

#### 3. 授業担当者の事後省察

今回メインティーチャーとして担当した第2筆者については、授業後毎回事後省察を短文で残した。その全文を以下に掲載する。

① 今回の授業で個人的に印象に残った点は、難しいことをやろうとしていたにも関わらず子どもたちの理解が早かった点である。出力・入力という言葉をはじめ聞いたと子どもたち自身も口に

していたが、すぐに理解できていた。

- ② 今回の授業を通して感じたことは子どもたちが知らなかった知識に対しては興味深々に活動に取り組んでくれたということである。クイズを通して考えさせる演習を取り入れてみたところ、子どもたちは問題解決能力もまた高いことが分かった。複雑な問題は難しそうだったので、次回以降難しめの問題を用意し、子ども自身が作ってみる時間を取り入れていこうと考えている。
- ③ 第3回を終えて難しい内容に入ったこともあり、子どもたちの理解が以前のように早いものではなかった。それでも最終的に理解することはできていたので、来週続きをやってそれ以降にこれまでの授業理解を確認する課題を用意する予定したいと考えている。
- ④ 前回までは装置の仕組みについて説明をすることを私の中で重要視していた。しかし、今回の授業では課題解決のシチュエーションを用意し、課題解決するために使うとよい回路の紹介を通じて装置への理解を促した。最終的に演習を行い、子どもたちが実際に回路を組むことで理解がより進んだと思われる。
- ⑤ 第5回の授業では、クロック回路がなぜオンとオフが連続して繰り返されるのかということを理解するのが難しかったのではないかと考える。演習を通じてクロック回路の悪いところが目に見えて子どもに伝わった点が良いところであったと考える。
- ⑥ 第6回では4・5回の授業の振り返りとNOT回路についての学習した。振り返りでは予想していたよりも時間がかからず、子どもの理解力の高さに驚いた。NOT回路は自動ドアづくりの演習を通じての理解に取り組んでいる。
- ⑦ 第7回はNOT回路の演習である自動ドアづくりの続きを行った。その過程でつなぎ方の工夫を伝えたり、特殊なつなぎ方を説明したりした。最後に行う予定である発表会に向けて場所決めやゲームの検討をおこなった。
- ⑧ 第8回は発表会に向けての制作をおこなった。途中で子どもたちと1対1で話す時間を作って進捗を確認しながら進めたが、各々作りたいものをイメージしての制作が進んでいた。

以上の事後省察において、最も重要な気付きは第4回で、第2筆者がそれまでの説明重視のスタイルから、問題解決の文脈を用意する方向へと展開したことでありと考えられる。これによって、実際に試してみることができる Minecraft の特性を生かして、複雑な回路の仕組みを学習者が効果的に学ぶことに繋がったのではないだろうか。

#### IV. 考察

本研究は、JAVA 版 Minecraft のマルチプレイ・サーバーと Discord の音声通話機能を用いて、愛媛大学放課後学習教室の1つとして、論理回路を活用する力を身につけるための学習コースを設計・実践・評価した。実践の結果、回路の学習は大人にとっても容易なものではないが、問題解決の文脈を備えたパフォーマンス課題をその都度準備し、スモールステップで学習を進めることで、パルサー回路、クロック回路、論理回路の考え方を理解し、自ら設定した目的に沿ってそれらを活用した装置を組み立てられることが明らかになった。

また、当初特にねらっていた訳ではないが、メインティーチャーを務めた第2筆者にとって、説明中心の役割から、問題解決が求められる文脈を学習者の目線に立って構成するという授業づくりの有効性が明らかとなった。このことは現在教員養成課程の在学である第2筆者にとって、授業づくりに必要な資質能力の獲得にとって大きな意義があったと思われる。

しかし、逆向き設計への準拠という観点から見たとき、本コースはまだパフォーマンス課題を設定したこと、永続的な理解を念頭において読解教材を執筆したことを除き、十分ではない。今後、本質的な問いに関連付けた体系的な概念的理解の枠組みを構成していくこと、そして、それに基づいたコースの実践を進めることが課題である。

#### 謝辞

この研究は令和3年度愛媛大学教育改革促進事業（愛大教育改革G P）（種目C、代表者：富田英司）「学習者の多様性を活かした指導法が習得できる授業科目の開発」の支援を受けて行なわれた。

読解教材の執筆においては、愛媛大学教育学部令和3年度卒業生の山口笑佳氏と山内天清氏の支援を得た。

#### 引用文献

- 赤石あかお・タトラエディット (2016) 赤石先生の Minecraft レッドストーン回路がおもしろいくらいわかる本 ソーテック
- Brassel, A. and Gary, A. (2019) *CMSC389E: Digital Logic through Minecraft*, <https://www.cs.umd.edu/~abrassel/>, 2022年2月14日アクセス
- Cordeiro, J. (2014) *Minecraft Redstone For Dummies. (For Dummies (Computers)) (English Edition), For Dummies.*
- 遠藤育男・益川弘如 (2015) デザイン研究を用いたエビデンスに基づく授業研究の実践と提案 日本教育工学会論文誌, 39(3), 221-233
- Erickson, H. L., Lanning, L. A., and French, R., (2007) *Concept-Based Curriculum and Instruction for the Thinking Classroom*, Corwin Press.
- Lakshmi P., James D., Alexander W., and Andrew R. (2016) An Exploration In The Use Of Minecraft To Teach Digital Logic To Secondary School Student, *International Journal of Computer Science, Information Technology and Management*, 2(2) [https://www.mukpublications.com/resources/4\\_DigitalLogic\\_with\\_MinecraftV4\\_newformat.pdf](https://www.mukpublications.com/resources/4_DigitalLogic_with_MinecraftV4_newformat.pdf), 2022年2月14日アクセス
- Microsoft (2020) *Minecraft and Redstone*, <https://education.microsoft.com/en-us/course/5a0fbdf4/overview>, 2022年2月14日アクセス
- Microsoft (2021) 小学校4年生 総合的な学習 マイクラで回路を作ろう, <https://education.microsoft.com/ja-jp/course/fa4979bb/overview>, 2022年2月14日アクセス
- Noonoo, S. (2019) *Playing Games Can Build 21st-Century Skills. Research Explains How.*, <https://www.edsurge.com/news/2019-02-12-playing-games-can-build-21st-century-skills-research-explains-how>, 2021年11月24日アクセス
- てんやわんや街長・できるシリーズ編集部 (2017) で

きる てんやわんや街長直伝！レッドストーン回路  
パーフェクトブック 困った！&便利ワザ大全 イン  
ンプレス

Tomlinson, C. A. (2014) *The Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners*. Alexandria: ASCD. (ようこそ,一人ひとりをいかに教室へ C.A.トムリンソン 著；山崎敬人・山元隆春・吉田新一郎 訳 2017 北大路書房)

Wiggins, G. P., and McTighe, J. (2005) *Understanding by design*. ASCD. (ウィギンズ, G. P., マクタイ, J. (西岡加名恵 訳) (2012). 理解をもたらすカリキュラム設計：「逆向き設計」の理論と方法 日本標準)