

## 自動改札機を題材としたプログラミング教材

廣田 千明<sup>1</sup>・橋浦 康一郎<sup>1</sup>・寺田 裕樹<sup>1</sup>・白山 雅彦<sup>1</sup>・伊藤 大輔<sup>2</sup>

インターネットの普及や人工知能の発達により、コンピュータを活用することに対する重要度は急速に増加している。コンピュータをうまく活用するためにはプログラミングの考え方を身につける必要があり、プログラミング教育の必要性が高まっている。このような状況を受け、文部科学省は2017年に小、中学校の学習指導要領を改訂し、小学校でのプログラミング教育の必修化、中学校でのプログラミング教育の拡充を決定した。改訂された学習指導要領は、小学校では2020年度から、中学校では2021年度から全面実施されることになっており、小、中学校ではプログラミング教育の準備が進んでいる（近年のプログラミング教育の動向は日本産業技術教育学会（2019）に詳しく紹介されている）。

プログラミングは新しい教育内容であるため、現在、様々な教材が考案されている状況である。小学校における取り組みの状況は、未来の学びコンソーシアムに公開されている学校における小学校プログラミング教育の実施レポートに紹介されている（未来の学びコンソーシアム（2020））。このレポートをみると報告されている件数は多いが似た内容も多く、今後、新しい教材を考案し充実させていく必要がある。

現代社会は自動改札機やスーパーのレジにおけるICカードによる電子決済、カーナビゲーションシステムなど、電子情報技術に支えられて快適な生活を実現している。日々、このような技術に触れながら生活しているにもかかわらず、その仕組みを理解している者はほとんどおらず、多くの電子情報技術はブラックボックス化してしまっているのが現状である。小学校プ

ログラミング教育の手引き（第三版）（文部科学省（2020））には、プログラミング教育のねらいの一つとして、「プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることなどに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育むこと」が挙げられており、日々の生活を豊かにしている技術に気付くことや実際に技術が問題を解決している事例を知ることが重要であると考えられる。

そこで、電子情報技術の理解を深めることを目的として、その一端に触れることができる教材の作成を試みることにした。電子情報技術への理解が深まれば、新しい技術を考案することや既存の技術のこれまでと違った利用法を考案することによって、イノベーションを起こすことができる人材となることが期待できる。電子情報技術は様々なところに利用されており、いろいろな教材を作ることが可能であるが、本論文ではICカードを用いた自動改札機のシステムを題材とする。著者らは所属研究室の卒業研究を通して、自動改札機を模したシステムを子ども向けのプログラミングツール MESH を用いて構築し、このシステムを用いた教育内容を検討してきた（蒲澤（2019）、蒲澤ほか（2019）、井上（2020））。当初は小学生に対する教育内容として検討してきたが、実際に小学生に授業してみると、学習内容がコンピュータネットワークシステムのモデルであるクライアント・サーバモデルを学ぶ内容となっており、小学生には

<sup>1</sup> システム科学技術学部

<sup>2</sup> 総合科学教育研究センター

理解が難しい部分があると感じた。一方、中学校の技術・家庭科（技術分野）の教育内容をみると、学習指導要領の改訂により新たに「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによる問題の解決」が入り、ネットワークを利用した技術を教えるのに適している。そこで、本論文では著者らが開発した自動改札機を模したシステムを中学校での学習に利用することについて検討する。

### 中学校段階のプログラミング教育

中学校では2017年の学習指導要領の改訂前から、技術・家庭科（技術分野）においてプログラミングによる計測・制御があり、プログラミング教育が実施されていた。2017年の改訂により、この部分が「計測・制御のプログラミングによる問題の解決」として強化されただけでなく、新たに「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによる問題の解決」が追加された。「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによる問題の解決」について学習指導要領の記述を抜粋すると、「ここでいうコンテンツとはデジタル化された文字、音声、静止画、動画などを、人間にとって意味のある情報として表現した内容を意味している。また、ネットワークを利用した双方向性とは、使用者の働きかけ（入力）によって、応答（出力）する機能であり、その一部の処理の過程にコンピュータ間の情報通信が含まれることを意味している。利用するネットワークは、インターネットに限らず、例えば、校内 LAN、あるいは特定の場所だけで通信できるネットワーク環境も考えられる」と記載されている。入力に応じて出力があり、その処理の中に情報通信が含まれていればよく、様々なものが該当し、2つの micro:bit が通信機能を用いてジャンケンを行うといった非常に簡単なものも該当する。

一方、東京書籍が発行する2021年度用の技術分野の教科書（田口ほか（2020））を見ると、ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツの例として、地域紹介翻訳システム、防災マップ、クラス伝言板システム、学校内チャッ

トシステム、施設確認システム、中学校物知り博士といったプログラムが紹介されている。地域紹介翻訳システムについて詳しくみると、このシステムは海外からの旅行者のために、日本語で書かれた地図上のスポットを英語に翻訳するというシステムで、マウスのポインタがスポットに近づいたときに、そのスポットの説明が英語で表示される。スポットにマウスを近づけると入力に応じて、英語で説明が表示されるという出力がある。また、そのシステムは出力を表示するにあたり、日本語を英語に翻訳する部分でインターネットを介して翻訳サイトから情報を得ているため、学習指導要領にあるネットワークを利用した双方向性のあるプログラムになっている。他にも様々な例を考えることができ、簡単なものから実際に社会の中で活用されているシステムまで、いろいろな対象が学習の題材になることが予測される。よりよい教育のためには、多くの種類の教材があった方がよいと、これから様々な学習素材が考案されることが望まれる。

### 自動改札機を題材としたプログラミング教材

#### 非接触型 IC カードを利用した自動改札機

本論文では、非接触型 IC カードを利用した自動改札機を題材とした教材を検討する。Suica や PASMO など、電車を乗り降りするときは、非接触型 IC カードを利用した自動改札機が利用されている。利用者は改札を通るときに IC カードをセンサ部分にタッチすることで、改札を通ることができる。あらかじめ、お金をチャージしておき、入場した駅や退場した駅の情報をもとに、運賃が計算され、代金が支払われる。利用履歴やチャージ金額の残金のデータは IC カードに保存されると同時に、ネットワークを介して、サーバにも記録される。このため、利用者は IC カードを紛失した場合でも、サーバに記録された情報から再発行を受けることができる仕組みとなっている。

ここでは自動改札機が中学校の技術・家庭の技術分野の学習の題材になりえるかを検討する。自動改札機は IC カードをタッチするという入力に対して、「どこの駅で入場したか」や「ど

この駅で退場したか」といった情報を、ネットワークを通じてサーバに送信する。サーバは届いた情報を記憶し、運賃を計算し、チャージ金額から運賃を支払うという応答を行う。このように自動改札機のシステムは学習指導要領にあるネットワークを利用した双方向性のあるプログラムとなっており、題材として適している。次節では、自動改札機を題材としたプログラミング教材の詳細を述べる。

### 自動改札機を模倣したシステム

自動改札機は様々な電子情報技術が応用されており、電子情報技術が世の中を快適にしていることを示す典型的な例となっている。文部科学省が発行している小学校プログラミング教育の手引き（第三版）（文部科学省（2020））には、プログラミング教育のねらいの一つとして、「プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育むこと」と記載されている。このねらいは小学校向けとして書かれているが、どの学習段階においても共通のねらいであると考えられる。自動改札機はプログラムにより動作しており、利用者は切符を買う手間が省け、鉄道会社は確実に代金が徴収できるというメリットがある。また、利用者は IC カードをタッチするだけで改札を通ることができ、通行の障害にならないようにできていることや IC カードに残金などのデータを記録するだけでなくサーバに情報を送り IC カードを紛失した場合にもデータの復旧が容易であるなど、情報社会が情報技術によって支えられていることを学ぶのに適した題材である。

IC カードにデータが記憶できる仕組みは電磁誘導の法則が利用されており、これを理解するためには高校の物理を修得している必要があり、中学校の学習としては適さない。そこで、自動改札機が改札を通ったという情報をサーバに送信し、運賃を計算している点に着目し、中学生がこの部分のプログラムを作ることにより、中学校の技術・家庭における「ネットワークを

利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによる問題の解決」の学習につなげることを考える。

自動改札機を模したシステムとして、カードでセンサにタッチすると、入退場の情報がサーバに送られ、退場時には運賃がチャージ金額の残金から支払われるというシステムを構築する必要がある。非接触型 IC カードのリーダ／ライタは市販されており、それを利用することも考えられるが、決して安価なものではなく、それ以外の用途に利用できないため、他のツールで代用することを考えた。

ソニービジネスソリューション社が開発、販売しているプログラミングツール MESH はセンサやボタンなどの機能を搭載した 7 種類のブロックで構成され、各ブロックは Bluetooth によりタブレット端末と通信することができる。そのため、プログラミングする際には、タブレット端末上で各ブロックに対応したタグと呼ばれるアイコンをつなげていくだけでプログラムを作成することができ、子どもでも予備知識なしに簡単にプログラムを作成することができる（MESH のプログラミング画面を図 1 に示す）。MESH のブロックの一つに GPIO ブロックがある。GPIO は General-purpose input/output の略で汎用入出力を意味しており、様々な用途で利用することができる。自動改札機を模したシステムでは、このブロックを電気回路がつながっているかどうかを判定することに利用する。図 2 に模倣したカードリーダ／ライタを示す。発泡スチロールの板の上に 2 本の導線を接触しないように配置している。また、2 本の導線の発泡スチロールに固定した側と反対側の端は GPIO ブロックに接続しており、この状態では電気回路は開いている状態である。ここに、IC カードを模した銅板をタッチすると、電気回路が閉じ、それを GPIO ブロックが感知して、処理が進む。MESH はこの学習以外にも利用することが可能であるし、銅板や導線は学校の理科室にあるものなので、学校で利用しやすい。

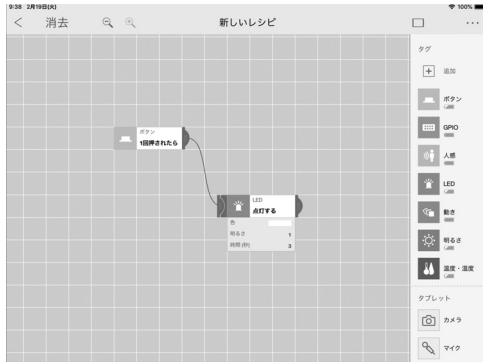


図1. MESH のプログラミング画面

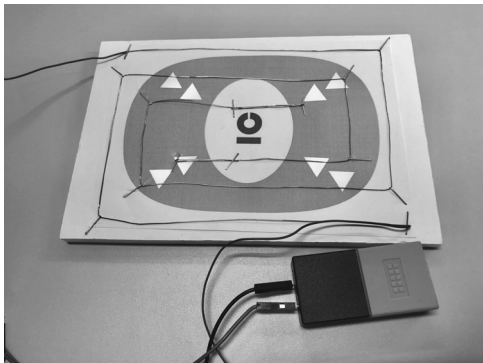


図2. 模倣したカードリーダー/ライタ

はじめに、システム構築に必要なプログラムを解説し、その後、生徒たちが学習するために行うプログラミングについて説明する。まず、IC カードを模した銅板で電気回路を閉じた時、GPIO ブロックがそれを感知するプログラムは、「はじめての MESH GPIO キット」ガイドブック（ソニービジネスソリューション（n.d.））に掲載されている「イライラ棒を作ってみよう」と同じ原理で作成することができる。図2の通り、模倣したカードリーダー/ライタの2本の導線は接触しておらず、この状態ではそれぞれの導線がつながっている GPIO ブロックの端子は異なる電圧を示す。ここに、銅板をタッチす

ると、電気回路が閉じ、2つの端子の電圧が等しくなる。これを感知することで、システムはIC カードがタッチされたと認識する。

IC カードがタッチされた時には、サーバにどの駅の改札を通ったか情報を送ればよい。これには IFTTT（IFTTT Inc.（n.d.））と Google スプレッドシート（Google（n.d.））を用いる。IFTTT はインターネット上の様々なサービスをつなぐことができるウェブサービスで、例えば MESH と Twitter をつなげることを考えると、MESH の人感センサブロックで人が通ったことを感知したら、Twitter に人が通ったと書き込むといったことができる。IFTTT は連携できるサービスが多岐にわたるため、様々な使い方が可能である。一方、Google スプレッドシートはウェブ上で表計算が可能なサービスで、インターネットを介してデータを送受信することができる。シートにデータを記憶できるのでサーバの役割を担うことができる。GPIO ブロックがタッチされたと感知したことをきっかけとして、IFTTT を利用して、改札を通った時間と駅名、入退場の別がサーバ（Google スプレッドシート）に送信される。サーバでは、移動区間をもとにシート内に記載されている運賃表から運賃を探し出し、チャージ金額の残額から運賃を引き、新たな残金を計算する。スプレッドシートに記録されたデータを図3に示す。

次に、生徒がプログラミングする内容について説明する。前述の通り、自動改札機を模倣したシステムの構築には IFTTT や Google スプレッドシートが使われており、高度な知識やスキルが必要な部分も多い。子ども向けのプログラミング教育の主眼はプログラミング能力の育

く サーバー(のりおりのきろく)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	日時	駅名	入出場	対応番号	移動区間	運賃		区間	運賃
2								11-22	154
3								21-12	154
4	2020/02/11 16:47:43	A	入場	11	-11				
5	2020/02/11 16:47:50	B	出場	22	11-22	154			
6	2020/02/11 16:48:07	A	入場	11	22-11				
7	2020/02/11 16:48:10	A	入場	11	11-11				
8	2020/02/11 16:48:19	B	出場	22	11-22	154			
9	2020/02/11 16:48:34	B	出場	22	22-22				
10	2020/02/11 16:48:38	B	出場	22	22-22				
11	2020/02/11 16:48:44	A	入場	11	22-11				
12	2020/02/11 16:48:52	B	出場	22	11-22	154			

図3. スプレッドシートに記憶されたデータ



成ではないので、自動改札機の動作を理解するために必要なブロックを用意し、それをつなげてプログラムを作ることができるようにする。蒲澤（2019）の段階では、子どもが作成するプログラムは図4のようになっており、タグが「GPIO デジタル入力」とか「スプレッドシートに行を追加」といった名称となっており、実際の動作と対応していなかった。これを井上（2020）は改良し、図5のように「A 駅でタッチ」や「B 駅でタッチ」、「サーバにきろく（A 駅でのった）」、「サーバにきろく（B 駅でおりた）」、「サーバでけいさん（けいさんときろく）」という5つのブロックだけを使って、プログラムを作ることとした。ブロックが実際の動作と対応したことにより、直感的にプログラミングできるように改善された。

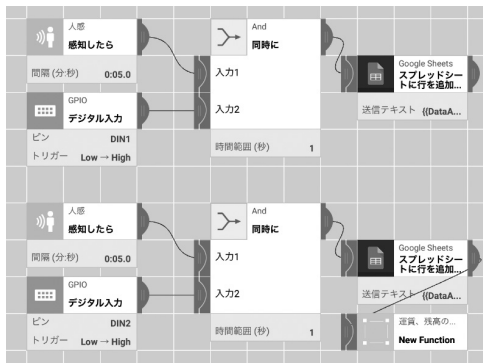


図4. 以前のプログラム

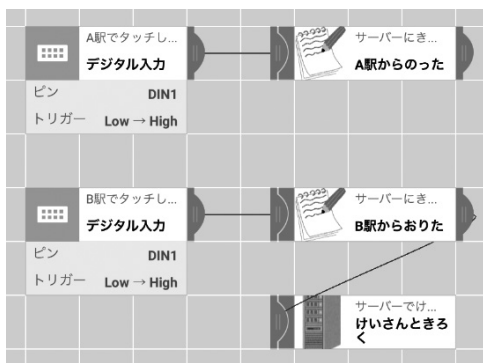


図5. 改良したプログラム

### 作成した教材の評価と考察

2019年1月26日に秋田県立大学本荘キャンパスで開催された科学教室で、作成した教材を用いて授業を実施し、アンケート調査を行った。

中学生を主たる対象として作成した教材であるので、中学生を対象として授業を実施すべきところであるが、機会が作れなかったため、小学生以下の児童に対して授業した結果から中学生の学習に適しているか推論する。教室の参加者の内訳を表1に示す。

表1  
科学教室の参加者

学年	幼稚園	小学1年	小学2年	小学3年	小学4年	小学5年	小学6年	合計
人数	6	4	2	3	3	1	1	20

はじめに作成した教材の学習効果について検証する。学習効果を測定するために授業の前後にクイズを実施した。自動改札機の重要なポイントは乗降の記録がネットワークを介してサーバに保存されているという点で、これにより利用者にとってICカードを紛失した場合にもすぐに再発行できるというメリットがある。中学校における教育についても、自動改札機のシステムがネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツであることを理解することが重要となるため、作成した教材で乗降の記録がどこに保存されているか問う質問を行った。質問項目は「ICカードはカードをなくしてしまった場合でも作り直してもらえるが、それはICカードの記録がどこにあったからか」とし、「サーバ」を正答とした。未回答の者を除いて集計した結果を表2に示す。授業の実施後、正答者が7名増加し、フィッシャー検定の結果、人数の偏りが5%水準で有意であることがいえ、学習効果があったことが確認できた。

表2  
学習効果に関するクイズの結果

	正答者数	誤答者数	合計
事前	10	8	18
事後	17	1	18

次に楽しく学習ができたかどうかを確かめる。これについては事後アンケートで教室の内容は楽しかったかどうかを「はい」と「いいえ」の2件法で調査した。アンケート結果は表3に示した通りで、回答の偏りが有意である。これは多くの参加者が内容を楽しく学習できたことを

示している。

## 参考文献

表 3

「教室の内容は楽しかったか」の回答

はい	いいえ	合計
17	2	19

最後に学習の難易度について調べる。事後に「教室の内容は楽しかったか」を「はい」と「いいえ」の2件法で調査した。アンケート結果を表4に示す。回答の結果に有意な偏りは認められなかった。しかしながら、「いいえ」の回答者の内訳をみると低学年の児童となっており、小学校高学年は全員楽しく学べており、小学校高学年以上を対象とすることが適切である。

表 4

「教室の内容は難しかったか」の回答

はい	いいえ	合計
12	6	18

## おわりに

自動改札機を題材としたプログラミング教材を開発し、授業を行った結果から自動改札機が中学校技術・家庭の学習の題材として適していると考えられる。最後に今後の課題を示す。本論文では中学生に授業を実施することができなかったが、今後、中学生に授業を行い、アンケート調査を通じて教材の改良を行う必要がある。また、中学校での学習内容であると考え、生徒がプログラミングする部分が単純すぎるため、生徒がプログラミングする部分を増やす必要があると考えられる。プログラミング教育の目標はイノベーションを起こせる人材の育成にあると考えており、その観点では、IFTTTに関する部分を生徒にプログラミングさせることで、生徒が自由な発想で様々なインターネットサービスを組み合わせて、新しいサービスを開発することができるようになるのではないかと考えられる。

## 付記

本研究は JSPS 科研費 JP18K02585 の助成を受けたものである。

Google (n.d.). 「Google スプレッドシート」.  
[https://www.google.com/intl/ja\\_jp/sheets/about/](https://www.google.com/intl/ja_jp/sheets/about/)

IFTTT Inc. (n.d.). 「IFTTT」.

<https://ifttt.com/>

井上裕美子 (2020). 「自動改札機の仕組みからサーバの必要性を学習するためのプログラミング教材の改良」令和元年度秋田県立大学卒業論文.

蒲澤美於 (2019). 「電子決済の仕組みを学習するためのプログラミング教材の開発」平成30年度秋田県立大学卒業論文.

蒲澤美於、橋浦康一郎、寺田裕樹、廣田千明 (2019). 「自動改札の仕組みを学習するためのプログラミング教材の開発」『信学技報』119 (105) 31-34.

<https://www.ieice.org/ken/paper/20190706q1Ov/>

未来の学びコンソーシアム (2020). 「学校における小学校プログラミング教育の実施レポート」.

<https://miraino-manabi.jp/content/507>

文部科学省 (2020). 「小学校プログラミング教育の手引き (第三版)」.

[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm)

日本産業技術教育学会 (編) (2019). 『小・中・高等学校でのプログラミング教育実践』. 福岡：九州大学出版会.

ソニービジネスソリューション (n.d.). 「「はじめての MESH GPIO キット」ガイドブック」.

[https://lp.meshprj.com/jp/material/MESHGPIOStarterKit\\_Guide\\_Japanese.pdf](https://lp.meshprj.com/jp/material/MESHGPIOStarterKit_Guide_Japanese.pdf)

田口浩継、佐藤文子、志村結美 (2020). 『新しい技術・家庭 技術分野 未来を創る Technology』. 東京：東京書籍.