

電子ブロックと投影型 AR を用いた「電流・電圧」分野の インタラクティブ理科教材の研究

渡邊竜^{†1} 大島登志一^{†1}

本研究では、投影型視覚インタフェースと電子ブロック型ユーザインタフェースを組み合わせることで、ユーザが組んだ電子回路の電流や電圧を視覚的に表現する教材の研究をおこなっている。この教材では、回路内での電圧の変化や電流の量、方向といった実際には見ることができないものを可視化することにより、理解を促進させる教材の実現を目的としている。電子ブロック型のインタフェースを用いることでユーザは電子ブロックを組むことで実際に電子回路を組むことができる。電子ブロック型インタフェースで作られた電子回路にシミュレータによって計算された電流、電圧が投影される。

Science Education Tool for Electricity using Physical Mixed Reality

RYO WATANABE^{†1} TOSHIKAZU OHSHIMA^{†1}

In this study, we combine a projection-type visual interface with an electronic block-type user interface to create a teaching material that visually represents the current and voltage of an electronic circuit constructed by the user. The purpose of this study is to promote understanding by visualizing things that cannot actually be seen, such as changes in voltage and the amount and direction of current in a circuit.

1. はじめに

本研究では、投影型視覚インタフェースと電子ブロック型ユーザインタフェースを組み合わせることで、ユーザが組んだ電子回路の電流や電圧を視覚的に表現する教材の試作に取り組んでいる。近年、STEAM 教育に代表されるように科学教育を重視する動きにある。その中で、ICT やデジタルテクノロジーがとりわけ注目されているが、アナログの電子技術がこれらの技術の基礎となる部分であり、これも同様に重要だと考えられる。

平成 29 年に告示された学習指導要領[1]には以下のような目標及び内容が挙げられている。

「回路を作り、回路の電流や電圧の測定する実験を行い、回路の各点を流れる電流や各部に加わる電圧についての規則性を見いだして理解すること」

しかし、漆畑文哉 (2011) [2]でも触れられているように、電流や電圧、抵抗の諸概念の理解、規則性の理解が困難であることがたびたび指摘されている。また、平成 15 年度小・中学校教育課程実施状況調査[3]では、教師と生徒に対して、各分野にたいして理解の難易度や、興味の有無、好き嫌いが調査された。その結果、「電流（静電気の性質、直列回路や並列回路、電流や電圧、電気抵抗など）」に対して、苦手意識を持つ生徒や嫌いな分野と感じている生徒が理科の分野の中で多いことが明らかになった。

その原因の 1 つとして、電流や電圧が目に見えない物理的概念であるために生徒が直感的に理解しにくいと考え、本間翔志ら (2010) による「粒子水流模型」[4]や石井俊行ら (2020) による「水流モデルの検討」[5]といった電流や電圧のイメージづくりに関する研究がなされている。

本研究でも、回路内での電圧の変化や電流の量、方向といった実際には見ることができないものを可視化することにより、理解を促進させる教材の実現を目的とする。

図 1 に、投影型視覚インタフェースと電子ブロック型ユーザインタフェースを組み合わせた試作物の様子を示す。これは、電子ブロック型インタフェースによって LED の点灯させる回路を組んでおり、同じ電子回路のシミュレーションによって得られた電流、電圧の動きが電子回路に投影されている。

ユーザは、電子ブロックを用いて回路を組むことができる。その電子ブロックで組まれた回路と連動した回路シミュレーションの結果を電圧は色で表現し、電流はパーティクルで表現され移動方向と移動量により電流の向きと量が表現しており、これが電子ブロックに投影される。本研究では、本システムを用いることでユーザは回路と電流、電圧の規則性を体感的に覚えることを目指している。

以下では、本研究で開発する教材の構想と現在の実装状況について示す。

^{†1} 立命館大学 映像学部
College of Image Arts and Sciences, Ritsumeikan University

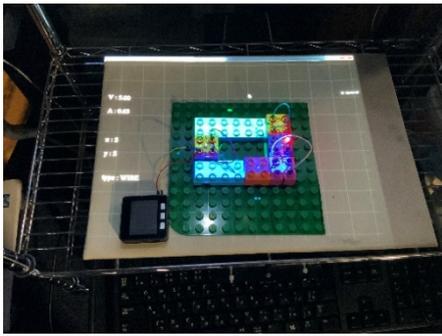


図 1 インタラクティブ教材の試作品
Figure 1 Appearance of the prototype

2. 電気分野の学習に関する課題

電気分野の学習に関する研究は多く行われており、生徒が電気の概念についてどのような理解をしているかに関する研究もある。古谷光一ら (2000) [6]は、電気回路の学習が終了した中学 3 年生が内容をどのように把握しているかを調査している。この研究では、直列回路、並列回路での電流について、抵抗 1 つの単純回路との比較で予想すると、抵抗が増えると電流が減るといった予想ではなく、単純回路と同じ量の電流が流れるという予想する子供が多いことを明らかにしている。この考え方を「交通流モデル」と呼んでいる。さらに、この研究では、オームの法則を使うと電流の計算は正しく求めることができることがわかっていながらも、科学的に正しい知識と回路のイメージが矛盾していることに気付いていない生徒がほとんどであることを指摘している。

また、古谷光一ら (2001) [7]では、こうしたイメージを持つ傾向が中学 2 年生から中学校 3 年生になるときに急激に増加していることを明らかにしている。これは、中学 2 年生の理科で電気回路を学ぶ時期と重なっている。課題として、「回路に対する知識、例えばキルヒホッフの第 1 法則やオームの法則に関する知識は中学 3 年生以降増えているが、こうした知識が、回路を適切にとらえることにながっていない」ことが挙げられている。

また、本間翔志ら (2010) [4]では、ゲル粒子をパイプの中に循環させ、パイプの太さによって抵抗を表している装置を用いた実験授業を行っている。この装置はゲル粒子が単位時間にどれほど通過したかを生徒が見ることで確認もでき、個数をリアルタイムに計算することで電流を視覚的にとらえることを可能にし、学習効果が上がることを明らかにしている。

定松澄ら (2015) [8]の研究では、電圧を高さで表現した電子回路シミュレータと電子ブロックと連動させている。この研究では、回路シミュレータ上で回路図や各素子の電圧を表現し、それをディスプレイ上に表示している。また、電子ブロックを Arduino で PC と有線で接続している。こ

の研究では、課題としてインタフェースの改良や回路の無線化などを挙げている。

以上の従来研究を参考として、本研究では、以下を要件として開発を行う。

- A) 電子や電圧を視覚的に表現されている
- B) 視覚表現がオームの法則などと矛盾がないこと
- C) ユーザが自然とシミュレーション結果と回路を対応付けられること

3. 本インタラクティブ教材の実装

3.1 システムの構成

本システムは、ユーザが直接操作する電子ブロック、電子ブロックで組まれた回路の状態を認識するモジュール、認識した電子回路のシミュレーション、シミュレーション結果を電子ブロックに投影するプロジェクタという 3 つの要素によって構成した。ユーザは手元で電子ブロックを組むことができる。そこで組んだ回路が画像認識によって電子ブロックそれぞれの位置、向き、種類を判別する。その情報から開発した回路シミュレータによって実際に組まれた電子ブロック回路と同じ回路のシミュレーションを行う。このシミュレーションで求めた各点の電流の量と向き、各部の電圧が色やパーティクルで表現、それが電子ブロックに投影されるシステムとしている。

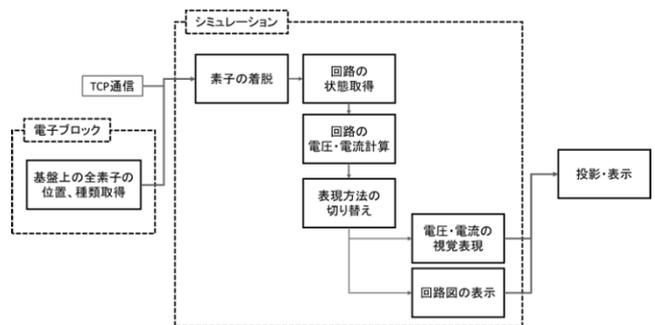


図 2 機能ブロック図

Figure 2 Block diagram

本研究は、このシステムを利用することで、ユーザが中学 2 年生の学習範囲である「電流とその利用」、回路の概念から始まり、電流と電圧、およびオームの法則までのイメージが体感的に形成されることを目標とする。そのため、本システムで扱う素子は、中学理科教科書[9][10]を参考にし、電球、抵抗、ダイオード、LED を扱うことにした。また、ユーザに諸概念の理解を促すためにワークブックを用意する。ワークブックに登場する回路や学習の流れについても、中学理科教科書を参考にしている。

3.2 電子ブロックの構成

電子ブロックは、LEGO デュプロを基礎として用いている。熊谷明音(2015)[11]の研究において、「LEGO ブロックの特徴は、多様な大きさ/形状があるにも関わらず、接合

部の構造が一定であるため、あらゆるブロック同士を接合できる点にある。」という理由から LEGO ブロックの構造が採用されている。電子ブロックを制作するにあたってこのあらゆるブロック同士を接合できる特性は、適しているため本研究で採用することにした。

また、採用した LEGO デュプロは、通常の LEGO ブロックに比べて縦横高さが2倍である。シミュレーションの投影が見やすくなること、大きいほうが扱いやすいといった点から通常の LEGO ブロックではなく、LEGO デュプロを採用した。

ブロックを電子ブロックとして使えるようにするためにブロック内での通電とブロック間の通電が可能になる必要がある。そのために、まず、2 連ピンヘッドと銅箔テープで構成しているモジュールを作成する(図3)。ピンヘッドと銅箔テープはワイヤでつながっており、通電するようになっている。このモジュールをブロック1つに対して4つ用意する。そして、ブロックの突起部に穴を開け、図3のようにピンヘッドの先が穴のところに来るようにそれぞれ接着する。そして、ブロックの底の4辺が通電するように銅箔テープや通電塗料を用いている。



図3 電子ブロックのコネクタ
Figure 3 A connector of an electronic block



図4 電子ブロック型インタフェースの構造
Figure 4 Structure of an electronic block

このような電極を用意することでブロックの各辺に、ワイヤや抵抗、LEDを接続することができる。また、ブロック間は、各辺の通電部分を側面まで伸ばしており、ブロックを基礎板に取り付けることで通電する。

図4に示すのは、ピンヘッドへの素子の差し込み方や差し込む素子を変えることで、様々な役割を担う汎用的なブロックである。役割が固定されるブロックについては、ピンヘッドや素子をブロックの内部だけで完結させることで、LEGOの外観を損なうことなく電子ブロックとして機能するブロックともなる。

また、ブロックの底に電子ブロックの向き、種類を認識

するためのマーカを貼り付けている。このマーカはOpenCVベースのARマーカArUco[12][13]を利用しており、現在、回路の状態を認識する方法について検討している。そして、図5に示すように、ブロックには、それぞれの素子の電子回路図記号を印刷したシールを貼りつけている。このシールは、電流や電圧のシミュレーションを投影する際のスクリーンとしての役割も持たせている。



図5 投影テスト用ブロック
Figure 5 Blocks with projection surface

3.3 電子回路シミュレーション

本システムで開発した回路シミュレータは、電子ブロックを用いて組んだ電気回路と連動してシミュレーションをできることが特徴である。一方で、電子ブロックがなくてもGUIでシミュレーションを行えるように実装している。この機能によって、電子ブロックが手元にない状態や、電子ブロックでは作成することができない回路の学習でも、PCがあれば、体験時と同じユーザインタフェースを用いた学習を行える。

本シミュレータで対象とする解析は、現状、直流回路の解析を想定している。これは、本システムで対象としているのが中学2年生であり、交流回路や時間変化によって各部に流れる電流や電圧が変化する回路が対象になっていないためである。

ユーザが設置できるブロックは、導線ブロック4種、GNDブロック、抵抗ブロック、電圧源ブロック、電球ブロック、LEDブロックがある。各種ブロックの役割は実際の回路での役割と基本的に相違ないが、GNDブロックは、回路方程式を立式する際に回路状態の起点の役目を担っている。そのため、回路内に1つだけ設置しなければならない。

また、ユーザはブロックを10x10のグリッド上に自由に設置できるようにしている。範囲制限を上記のようにしたのは、投影する際に大きすぎるのは不適であることと、中学2年生の履修範囲の回路を電子ブロックによって組み込むに十分な広さとなるためである。

ユーザはブロックに回路図記号が表示されるか、電圧の表現のみかを選択できるようにした。回路図記号の表示をする場合、電子ブロックと連動した状態であれば素子をどこに設置すればよいかのガイドとなり、シミュレータ単体で使用するときには、従来の回路シミュレータに近い使用

法で扱えることになる(図6)。

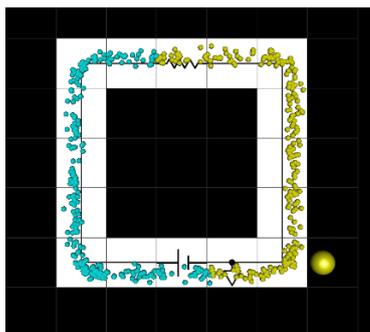


図6 回路図記号つき表示モード

Figure 6 Projection image with circuit symbol

図7は、回路図記号を非表示にしたものである。この状態でブロックに映像を投影することでパーティクルの量や動きによって電流の、色の変化によって電圧の回路内での振る舞いを確認できる。

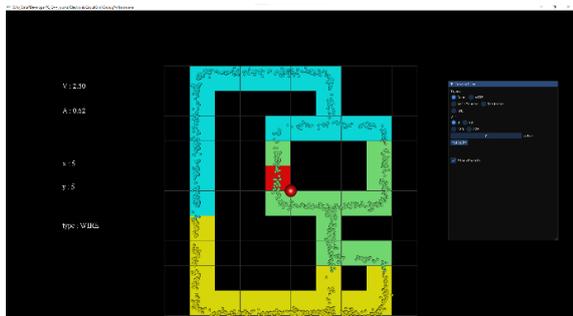


図7 記号なし投影モード

Figure 7 Projection mode

ユーザが各ブロックで電流の量や電圧の大きさ、ブロックの種類を確認するために、設置されている回路を選択する。各ブロックから得られる情報は、回路の左側に投影され、回路と情報が並んだ状態で表示している。

また、シミュレータ単体として使用する際のためにブロックの置き換えや配置したブロックの削除を行うための操作インターフェースも開発した。

回路解析の方法は、節点解析や修正節点解析法、閉路解析法といったように種類があり、詳しいアルゴリズムは、「電子回路シミュレーション」[14]や城所仁(2014)[15]によって知ることができる。今日では、修正節点法が回路解析に利用されていることは広く知られており、節点解析法と違い電源圧も素子として直接扱うことができる。中学2年の学習で触れる回路は電池がほとんどであり、電圧源を扱えることが望ましい。そのため、本シミュレータでもこの解析手法に従って実装を行っている。

4. まとめ

現状、電子ブロック型インターフェースで組まれた回路の状態を画像処理によって認識する部分が課題となっている。現在、1つのブロックのマーカを認識することは確認して

いる。しかし、LEGOブロックの接合部を邪魔せず、映像投影をしても安定して動かなければならないため、マーカの張り付けられる場所が限られている。そのため、複数ブロックのマーカ認識が現在最も大きな課題となっている。今後は別の方法も含めて開発に取り組んでいく。

また、実際の教育現場からの意見も得ながら評価方法なども検討していく。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 21K12004 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 文部科学省.(2008). 中学校学習指導要領解説理科編.
- [2] 国立教育政策研究所教育課程研究センター.(2005). 平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査.
- [3] 漆畑文哉.& 吉田淳.(2011). C05 中学校理科「電流」におけるつまずきの分析. 日本理科教育学会東海支部大会研究発表要旨集, (57), C05.
- [4] 本間翔志.& 定本嘉郎.(2010). 小学校の電流学習における粒子水流模型を用いた授業実践. 物理教育, 58(3), 143-146.
- [5] 石井俊行. 内藤拓.& 伊東明彦.(2020). 中学理科における電圧の理解を促進させるための水流モデルの検討: モデルにおける水の循環の有無に着目して. 次世代教員養成センター研究紀要= Bulletin of Teacher Education Center for the Future Generation, (6), 205-210.
- [6] 古屋光一.& 戸北凱惟.(2000). 電磁気学の概念形成を支援するための指導方略に関する実践的研究: 子どもの知識の豊富化と再構造化を通して. 科学教育研究, 24(4), 202-216.
- [7] 古屋光一.& 戸北凱惟.(2001). 並列・直列回路における電流の流れ方の認識に関する実態調査: 誤概念としての交通流モデルが高学年ほど増加していくことについて. 科学教育研究, 25(2), 90-101.
- [8] 定松澄. 梅田貴士.& 前原俊信.(2015, August). B9b-1 電気回路シミュレータと連動した電子ブロック教材の開発(原著講演(B9b), 大会テーマ「物理教育で大学と小・中・高校教育をどうつなぐか」). In 物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集 32 (2015) (pp. 117-118). 日本物理教育学会.
- [9] 大矢禎一.(2021). 未来へひろがるサイエンス 2.(啓林館)
- [10] 岡村定矩.(2012). 新しい科学.(東京書籍)
- [11] 熊谷明音. 沖真帆.& 塚田浩二.(2015). LEGOrics: 外観を保ちつつ電氣的に拡張した LEGO ブロックの提案. インタラクシオン, 2015, 598-601.
- [12] Garrido-Jurado, S., Munoz-Salinas, R., Madrid-Cuevas, F. J., & Medina-Carnicer, R. (2016). Generation of fiducial marker dictionaries using mixed integer linear programming. Pattern Recognition, 51, 481-491.
- [13] Romero-Ramirez, F. J., Muñoz-Salinas, R., & Medina-Carnicer, R. (2018). Speeded up detection of squared fiducial markers. Image and vision Computing, 76, 38-47.
- [14] 牛田明夫.& 田中衛.(2002). 電子回路シミュレーション.(コロナ社)
- [15] 城所仁.(2014). パワーエレクトロニクスを対象としたリアルタイム・シミュレータに関する研究 (Doctoral dissertation, 崇城大学).