

対話型回路作成による 電流・電圧・抵抗の関係学習システムの提案

高山透^{†1} 平井佑樹^{†2} 金子敬一^{†2}

国立教育政策研究所の平成 13 年度および平成 15 年度小中学校教育課程実施状況調査では、生徒にとって電気分野は分かりにくい分野であることを示している。また、高校生や大学生が電気分野における基本的な理解ができていないことを指摘し、特に豆電球の明るさに対する理解が乏しいことを報告している。

本研究では、学習者に電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、また豆電球の明るさが示す消費電力に対する理解を深めさせる支援をすることを目的とする。そのための学習教材として、対話型回路作成による電流・電圧・抵抗の関係学習システムを提案した。また、提案システムによる学習効果、および学習者に回路を作成させることの効果を調査することを目的とした評価実験を行った。実験では、実験参加者が提案システムと、先行研究で開発されたシステムを再現した再現システムの 2 つのシステムを用いて、電流・電圧・抵抗の関係および豆電球の明るさが示す消費電力について学習した。

実験の結果から、提案システムを用いることにより、電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、また豆電球の明るさについての理解も深めさせることを示した。また、提案システムに関するアンケート調査の結果から、学習者は対話的に回路を作成することを楽しみつつ、電流・電圧・抵抗および消費電力について学習できることが明らかになった。さらに、再現システムを用いて学習した後に、提案システムを用いて学習することに、よりよい効果がある可能性を示した。

Proposal of a System to Learn Relationship among Current, Voltage and Resistance by Interactive Circuit Creation

TORU TAKAYAMA^{†1} YUKI HIRAI^{†2} KEIICHI KANEKO^{†2}

Technical reports published by National Institute for Educational Policy Research in 2001 and 2003 fiscal year showed that it is difficult for junior-high school students to understand learning contents about electric. They also reported that high school students or undergraduates cannot understand the fundamental contents and brightness of a miniature lamp. In this study, we aim to support students' learning of the brightness of a miniature lamp and the relationship among current, voltage and resistance by interactive circuit creation. We have developed a system implemented the feature of interactive circuit creation and have conducted an experiment for the system evaluation. In the experiment, participants used 'our developed system' and also used 'the reproduced system' implemented the features of an existing system, and learned the brightness and the relationship. As a result, it was revealed that all participants could study the brightness and the relationship using our developed system and the reproduced system. It was also revealed that participants enjoyed using our developed system in a questionnaire. Additionally, we showed that it is better for learning effectiveness that students use our developed system after using the reproduced system.

1. はじめに

電気分野において、抵抗（豆電球）を直列に接続した回路での電流学習に対する調査や研究は古くからおこなわれている。しかしながら、その多くが初等教育レベルの素朴な認識に関するもので、抵抗の並列接続を含んだ中等教育レベルでの内容や電圧に関するものは多くない。また、豆電球の並列接続に関する理解が乏しいとの報告もある[1]。沖花と谷口によると、国立教育政策研究所の平成 13 年度および平成 15 年度小中学校教育課程実施状況調査から、児童・生徒にとって電気分野は分かりにくい分野であるといえる。また、高校生や大学生の電気分野における基本的な理解ができていないことを指摘している[1]。例えば、図 1 に示す問いの正解は、「①がもっとも明るく、②～⑤はすべ

て同じ明るさになる」である。2006 年に、この問いを中学校における電気分野学習後の中学生（国立大学附属中学校 2, 3 年生 39 名）、教育学部小学校教員免許取得希望の大学生 284 名（うち高等学校物理 I または IB の履修者約 25%）および中学校理科教員免許希望の大学生 49 名（うち高等学校物理 I または IB の履修者約 60%）に対して行ったところ、正答率はそれぞれ 30%、3.9%、10%と低かった[1]。

①～⑤の豆電球と乾電池からなる回路のうち、1つ1つの豆電球が明るくなる回路の順位をつけなさい。明るさが同じと考えられるときは同じ順位とする（電池や導線の抵抗は考えなくてよい）。

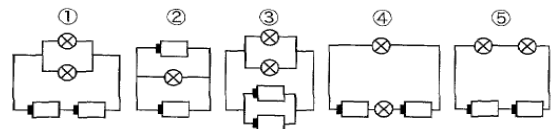


図 1 豆電球の明るさに対する問い[1]。

Figure 1 A Question with respect to Brightness of Miniature Lamps.

^{†1} 東京農工大学工学部
Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{†2} 東京農工大学大学院工学府
Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

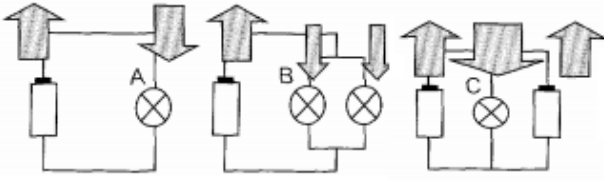


図2 豆電球の明るさ比への誤認識[1].

矢印の太さは電流の強さを示す.

Figure 2 A Misunderstanding on Brightness Comparison.
Size of arrows shows current strength.

また、中学校理科教員免許希望の大学生 49 名を対象に、さらなる調査を行ったところ、多くの学生が図2のように B は電流が分岐して減るから豆電球が暗くなる、C は電流が合流して増えるから明るくなるといった誤解をしていることが分かった[1].

このような電気学習で生じている問題は現行の電気学習に一因があると考えられる。すなわち、中学校の教科書では、電気回路を水路に例え、水路が分岐して水量が減る並列回路の説明図と、分岐がない水路の直列接続の説明図が併記されているものが多い。「両方の図を見比べると」分岐している水量が少なく描かれていることから、「全体の水量が変化することに気付かず、つねに」並列回路は直列回路より電流量が少なくなる、という誤ったイメージを描きやすい[1]. これは、電流・電圧・抵抗の関係を理解していないためであると考えられる。

本研究では、電流・電圧・抵抗の関係学習システムを開発することによって、電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、また豆電球の明るさが示す消費電力に関する理解も深めさせることを目的とする。開発するシステムには対話型回路作成ができる機能を備えている。対話型の学習教材は、それを使用しない場合と比較すると、学力の向上が認められており、また児童・生徒の学習意欲、興味・関心の向上も証明されている[2, 3]. 本研究では、回路を学習者に組ませることにより、対話型の学習教材を実現する。

2. 関連研究

沖花と谷口は、中学校の電気学習をより分かりやすくするための教材として、水流模型を作製した[1]. この教材は「電位概念」を導入し、学習者に豆電球にかかる電圧に着目させている。また、電位を測定可能な電気回路と併用させることによって、水流模型のイメージを電気回路と直結させ、生徒が理解しやすいようにしている。

この水流模型は、電池と抵抗1つが接続された単純な回路だけでなく、複数の抵抗を簡単に組み替えられる特徴をもつ。この特徴により、水流模型は、抵抗の直列回路や並列回路の学習にも対応している。そのため、学習者は、中学校の電気分野で学ぶ複雑な回路まで学習することができ

る。しかし、この水流模型は、電位についてのみ学習するため、電流・抵抗との関係性が学習できないという問題点がある。このため、たとえば異なる大きさの抵抗が直列で接続されたとき、どちらにどれだけの電圧がかかり電流はどうなるのか、また並列で接続されたとき、どちらにどれだけの電流が流れるのかを学習者は学ぶことができない。つまり、抵抗値の異なる豆電球が複数接続された場合を考慮しておらず、「豆電球にかかる電圧が等しければ、豆電球の抵抗値によらず同じ明るさになる」という誤解をまねく可能性がある。

関向は、コンピュータを活用して、(1) 回路の組み方を表示する、(2) 回路中の電流、電圧を視覚的にとらえさせる、(3) 実際の測定データを(2)に反映させることができる3つの機能を持つ「電気回路 Watcher」を開発した[4]. (1)の機能は、回路図とともに必要に応じて実際に配線図(画像)を表示することにより、学習者に実際の回路と回路図との関連を理解させ、回路図から実際に回路を組ませることを手助けするためのものである。(2)の機能は、学習者に電流の強さと電圧の大きさを数値のみでなく、視覚的にとらえさせることで、その違いを理解させるものである。電流の強さを導線の太さ、電圧の大きさを2点間の落差で表現している。(3)の機能は、デジタルマルチメータを用いて、コンピュータに実際の測定データである電流値と電圧値を取り込む。デジタルマルチメータとはデジタル型のテスタで、電流、電圧、抵抗などの値を液晶パネルに表示するものである。PC インターフェースを内蔵しているデジタルマルチメータを用いれば、表示されたデータ形式に従ってコンピュータに取り込むことができる[5].

電気回路 Watcher では電池の電圧と抵抗の抵抗値を自由に変えられる。これにより、学習者は電池の電圧、抵抗の抵抗値を変えたときの電流と電圧を視覚的に確認することができ、電流・電圧・抵抗の関係について理解を深めることができる。また、学習者が、これらの値を自由に設定できるという点で対話性を持っている。これにより、さらなる学力の向上、また学習意欲、興味・関心の向上につながる。しかし、このシステムにおいて、学習者が学習できる回路は、電池1つと抵抗2つの直列回路と並列回路の2種類のみである。これでは、例えば2個の電池が直列接続もしくは並列接続であったときの回路中の電流また電圧について、学習者が理解することは困難である。また、3つ以上の抵抗が直列接続と並列接続の入り混じった配置になっているときも、電流がどのように流れるのか、またそれぞれの抵抗にどのくらい電圧がかかるのか、ということ学習者が理解することは困難である。さらに、豆電球の明るさについて学習できないという問題点もある。豆電球の明るさは、豆電球の種類によって異なり、消費電力(=電流×電圧)に比例する。この消費電力は中学校理科でも学習しなければならない項目である。

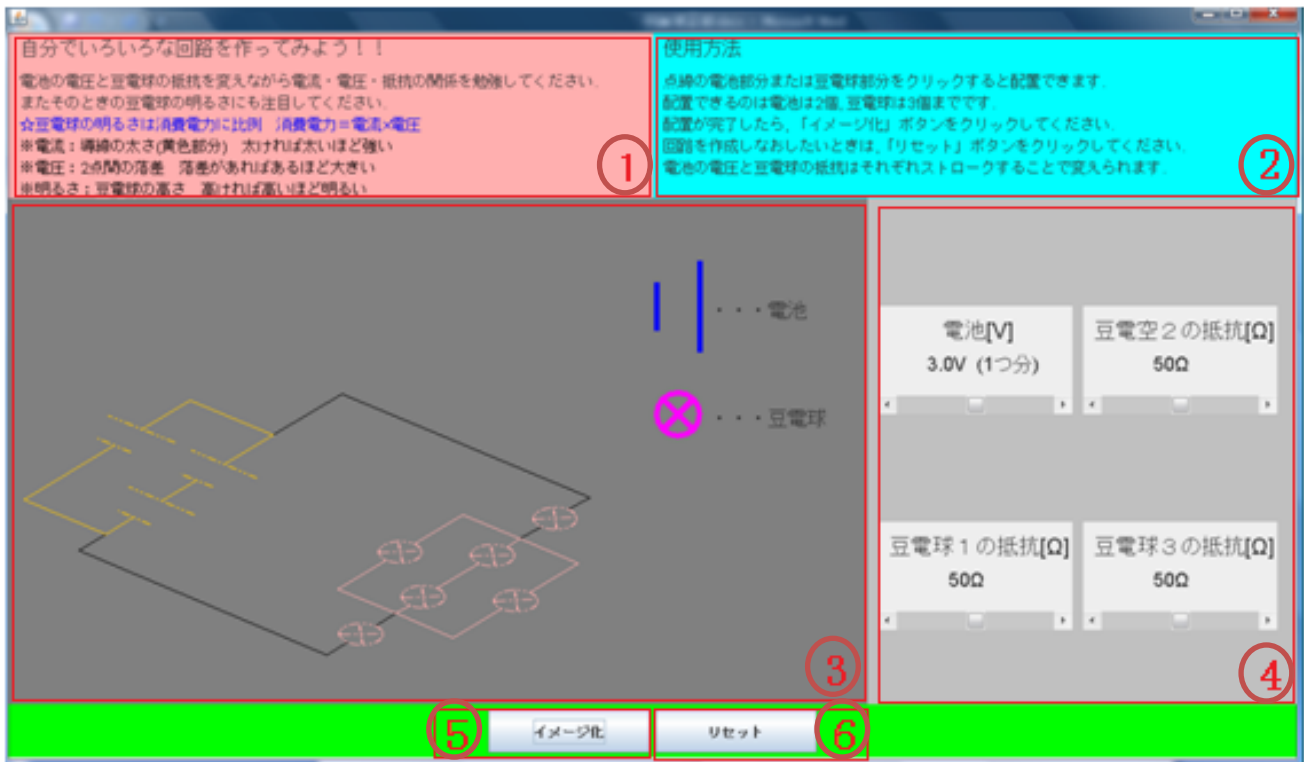


図3 システムの初期画面

Figure 3 A Screenshot of the Initial Settings in the System.

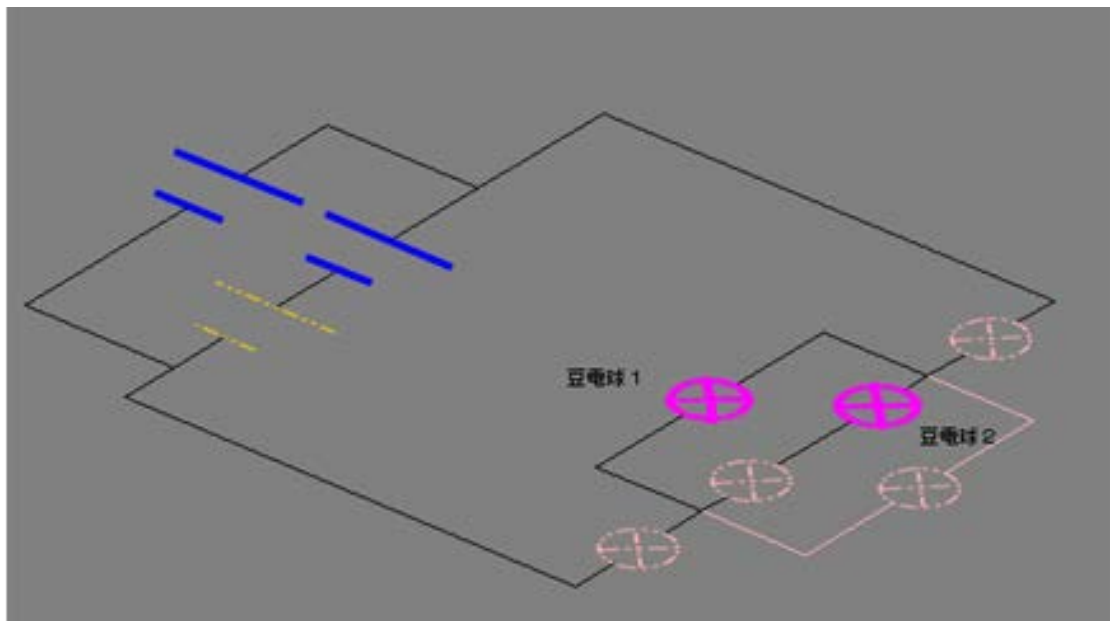


図4 電池2個と豆電球2個を設置したとき

Figure 4 A Screenshot of the Display when Two Currents and Two Lamps set on the Circuit.

3. 提案システム

3.1 システムの概要

本研究で提案する対話型回路作成による電流・電圧・抵抗の関係学習システムは、前節で述べた電気回路 Watcher の問題点を改良したものである。つまり、学習できる回路

の種類を増やし、豆電球の明るさも学習者に学ばせることができるよう設計した。提案システムでは、学習者がコンピュータ上で回路を作成することができる。このため、回路の種類を増やすことができ、対話性がより高いシステムを実現する。

対話型回路作成による電流・電圧・抵抗の関係学習シス

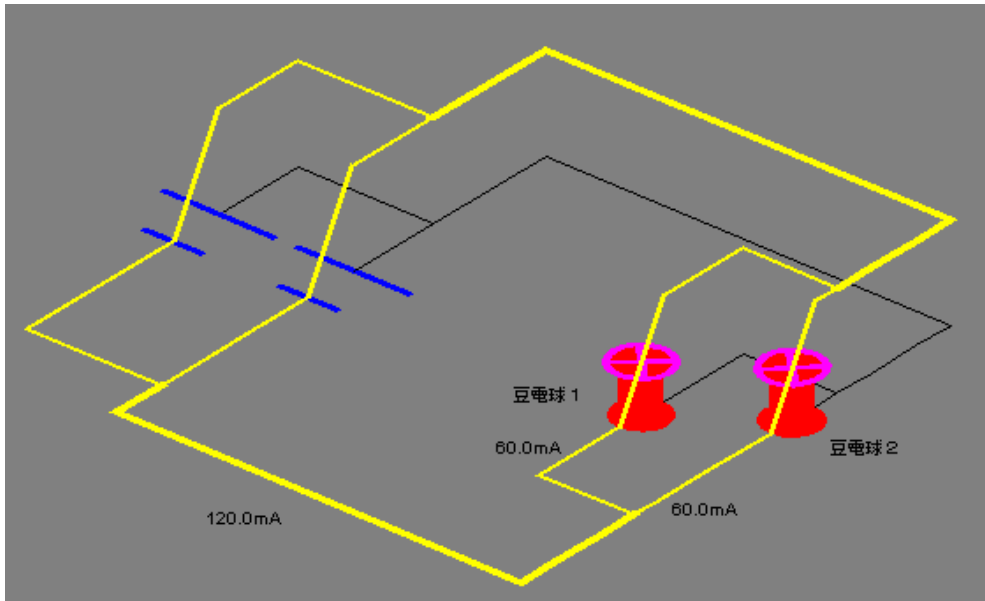


図5 図4に示す回路のイメージ化

Figure 5 A Screenshot of the Display when a Student pushes the “image” Button shown in Figure 3.

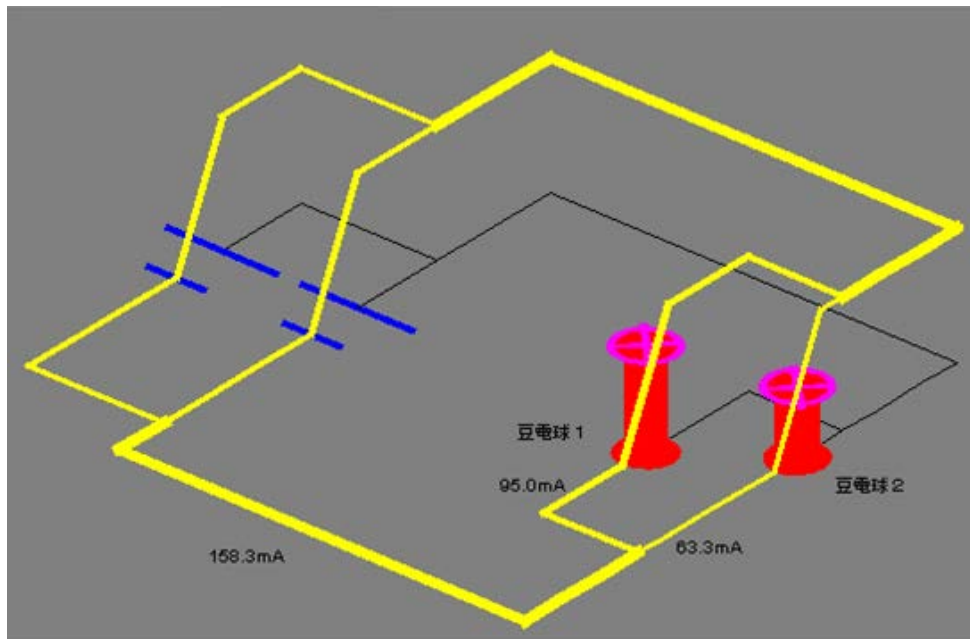


図6 図5の電池の電圧と豆電球の抵抗を変化させたときの様子。

電池の電圧：3.8[V]，豆電球1の抵抗：40[Ω]，豆電球2の抵抗：60[Ω]

Figure 6 A Screenshot of the Display when the Voltage of Two Batteries are 3.8[V], the Resistance of Lamp 1 is 40[Ω] and the Resistance of Lamp 2 is 60[Ω].

システムの初期画面を図3に示す。図3中の①には、システムを利用した学習方法や画面の見方などが書かれている。図3②には、システムの使用方法が書かれている。また、電流・電圧・豆電球の明るさを視覚的にとらえさせるための「イメージ化」ボタン（図3⑤）と、回路を作り直すための「リセット」ボタン（図3⑥）がある。

3.2 システムの利用

まず、学習者は、回路を作成する。図3③において、学

習者が電池や豆電球のマーク上でクリックすると、電池や豆電球を、それぞれ設置することができる。実際に、これらを設置した様子を図4に示す。図4は電池2個と豆電球2個を設置したときを示している。学習者がクリックしたマーク部分の色を変化させることで、学習者に対して、電池や豆電球を設置できたことを知らせる。また、電池や豆電球の周囲にある導線部の色も変化させることで、自動的に導線も配置するようになっている。豆電球には、それぞ

れ「豆電球 1」,「豆電球 2」とクリックした順に名前がつけられる。この名前は、それぞれの豆電球の抵抗値を変化させるときに活用する(後述)。電池や豆電球の位置を変更したい場合は、図 3⑥の「リセット」ボタンをクリックすることで、何も設置されていない状態からもう一度回路を作成することができる。回路を作成し終わったら、図 3⑤の「イメージ化」ボタンをクリックすることで、電流・電圧・豆電球の明るさを視覚的にとらえることができる。そのあとは、電池の電圧やそれぞれの豆電球の抵抗をスクロールし変化させることで、それぞれの関係性を学習する。別の回路で学習したければ、「リセット」ボタンをクリックすることで、再び回路を作成し直すことができる。その際、スクロールされている電池の電圧やそれぞれの豆電球の抵抗も初期値に戻すことができる。

電池や豆電球を設置する際、電池は 2 個、豆電球は 3 個までと、設置できる個数をそれぞれ制限している。これは回路が複雑になりすぎるのを防ぐためである。回路が複雑になると電流の強さや電圧の大きさ、豆電球の明るさが学習者にとって見にくくなる上に、理解も難しくなってしまう可能性があり、設置可能な電池や豆電球の個数を制限することで、その可能性を排除する。また、電池あるいは豆電球の少なくとも一方がまったく置かれていない状態など、回路が未完成の状態では、学習者が「イメージ化」ボタンをクリックした場合には、システムは回路が完成していないことを学習者に知らせる。

図 4 に示す作成回路をイメージ化すると図 5 に示すようになる。電流の強さや電圧の大きさは電気回路 Watcher と同じように、導線の太さを電流の強さ、電圧の大きさを 2 点間の落差で表現した。一方電気回路 Watcher では表現していなかった豆電球の明るさについて、図 5 のように豆電球の高さで表現した。これにより、学習者は視覚的に豆電球の明るさについて学習することができる。

学習者は、電池の電圧と豆電球の抵抗を図 3④のところで変化させることができる。これは、電気回路 Watcher と同様の機能である。提案システムでは、学習者に回路を組ませるため、「豆電球 1」,「豆電球 2」とクリックした順に名前をつけることによって、その名前と同じ名前の豆電球の抵抗をスクロールによって設定することができる。スクロールの幅は、電池については 2.0~4.0[V]の 0.1 刻み(21 段階)で、豆電球については 40~60[Ω]の 1 刻み(21 段階)となっている。これらの値は、スクロールと同時に連続的に変化するので、電流の強さ、電圧の大きさ、豆電球の明るさがどのように変化するかを学習者は視覚的に確認することができる。

図 5 に示す電池の電圧と豆電球の抵抗を、それぞれスクロールによって変化させたときの様子を図 6 に示す。図 6 は、電池の電圧を 3.8[V], 豆電球 1 の抵抗を 40[Ω], 豆電球 2 の抵抗を 60[Ω]と変化させた様子を示している。

4. システムの評価

4.1 評価の概要

本研究で提案したシステムが、電流・電圧・抵抗の関係に対する学習者の理解を深めさせ、また豆電球の明るさについて学習者の理解も深めさせることと、学習者に回路を作成させることの効果を、評価実験を通して調査する。調査の際、提案システムと比較をするための対象として、電気回路 Watcher を用いることとした。ただし、電気回路 Watcher を実際に用いることはできなかつたため、その特徴を再現したシステムを開発し、そのシステムと提案システムの比較を行うことで提案システムの評価を行う。以降、電気回路 Watcher を再現したシステムのことを再現システムと呼ぶ。

4.2 再現システムの概要

再現システムで表示される画面の例を図 7 に示す。再現システムは次の 4 点の特徴をもつ。

- 電流の強さを導線の太さ、2 点間の落差で電圧の大きさを表現する。
- 学習者が、電池の電圧と抵抗の抵抗値を自由に変えられるものとする。
- 学習できる回路は、電池 1 つと抵抗 2 つの直列回路と並列回路の 2 種類とする。
- 豆電球の明るさは表現しない。

提案システムと再現システムで異なる点は 3 点目と 4 点目の 2 点である。ただし、豆電球の明るさが消費電力の大きさに比例し、それは(電流の強さ×電圧の大きさ)で決まることは再現システム中に記述している。

4.3 調査実験

文系の大学生 10 名を被験者とする調査実験を実施した。10 名の実験参加者をランダムに 5 名ずつグループ A とグループ B の 2 グループに分けた。

実験のはじめに、10 名全員を対象として 10 分間のプレテストを実施した。プレテスト後、グループ A は提案システムを、グループ B は再現システムを用いて 10 分間の学習を行った。その後、10 分間の中間テストを実施した。中間テスト後、グループ A は再現システムを、グループ B は提案システムを用いて 10 分間の学習を行った。その後、10 分間のポストテストを実施し、アンケートへの回答を依頼した。プレテスト、中間テスト、ポストテストとも 7 問で 8 点満点とした。プレテストは図 8 に示すような正解が一意に定まる問題を出題した。システムを用いて学習したことによる効果を検証するため、数値のみ変更した問題を中間テストおよびポストテストで出題した。これにより、プレテスト、中間テスト、ポストテストの難易度は同等になるようにした。問題は中学生向けの理科参考書[6]を参考に、電流・電圧・抵抗の関係、豆電球の明るさに関する理解を

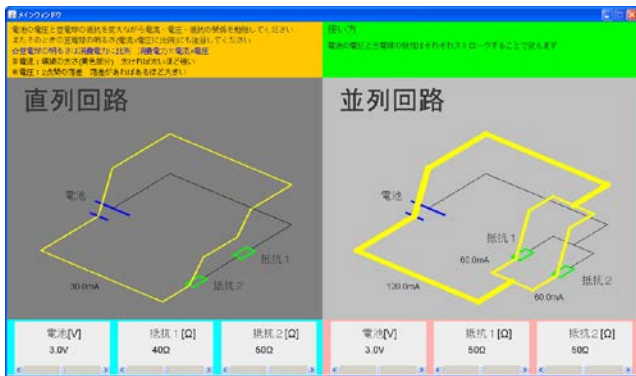


図7 再現システム

Figure 7 The reproduced System. The Features of an existing System “Circuit Watcher” are implemented in the System.

豆電球 A, B, C があり、それぞれ抵抗は 10Ω, 10Ω, 5Ω である。このとき豆電球 A, B, C を (1)明るい順, (2)電圧が多くかかる順, (3)電流が多く流れる順に等号, 不等号 (=, >) を使って並べよ。

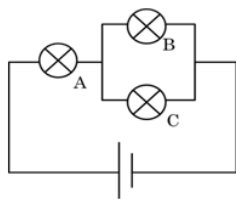


図8 プレテストで出題した問題の1つ

Figure 8 One of the Questions in the Pre-test.

表1 グループ A の個人別テスト得点

Table 1 The Results of each Student of Group A.

実験参加者	プレテスト	中間テスト	ポストテスト	Q17 の回答
参加者 a	3	3	4	提案
参加者 b	3	4	3	再現
参加者 c	1	3	4	再現
参加者 d	4	4	4	提案
参加者 e	3	2	2	再現
平均点	2.8	3.2	3.4	

表2 グループ B の個人別テスト得点

Table 2 The Results of each Student of Group B.

実験参加者	プレテスト	中間テスト	ポストテスト	Q17 の回答
参加者 f	3	5	4	提案
参加者 g	2	3	4	提案
参加者 h	3	3	2	再現
参加者 i	3	2	4	提案
参加者 j	5	6	8	提案
平均点	3.2	3.8	4.4	

問うように作成した。なお、実験参加者には「システム A およびシステム B を用いて学習を行う」と伝えており、どちらが提案システムか、あるいは再現システムか、ということとは伝えていない。

4.4 調査実験の結果

(1) プレテスト・中間テスト・ポストテストの結果

表 1, 表 2 にテスト結果を示す。表 1 はグループ A (参加者 a~参加者 e) の、表 2 はグループ B (参加者 f~参加者 j) のテスト結果を示している。表 1, 表 2 の再右列には後述のアンケート項目における「Q17: システム A と B ではどちらが学習に役立ちましたか」という質問に対する回答を示している。以下、システム A は提案システムを指し、システム B は再現システムを指す。

グループ A とグループ B のプレテストの成績について、マン・ホイットニーの U 検定を用いて成績を比較した結果、両グループ間で有意な差があるとは認められなかった ($U=11.5, p \approx 0.81$)。このことから、学習システムを使う前の段階では、両グループの学習内容理解度は、ほぼ同等であることを確認した。次に、提案システムを用いたときの学習効果が再現システムを利用した後の学習効果よりも高いかどうかを分析した。分析では、まず、提案システムを使った場合の成績上昇点数 (グループ A ではプレテストから中間テストへの成績上昇点、グループ B では中間テストからポストテストへの成績上昇点) と、再現システムを使った場合の成績上昇点数を比較した。マン・ホイットニーの U 検定において、システムを用いたことによる成績の上昇点数を比較した結果、有意な差があるとは認められなかった ($U=47.5, p \approx 0.85$)。このことから、提案システムを用いて学習しても、再現システムを用いて学習しても、ほぼ同等の効果が得られていたことを確認した。最後に、グループ A とグループ B の、プレテストからポストテストへの成績の上昇点数について比較した。マン・ホイットニーの U 検定を用いて、プレテストからポストテストへの成績上昇点数を比較した結果、有意な差があるとは認められなかった ($U=9, p \approx 0.45$)。このことから、実験全体を通して、グループ A, グループ B の参加者とも、ほぼ同等の学習効果が得られていたことを確認した。しかし、これについてグループ A の成績上昇点数の平均は 0.6 点、グループ B では平均 1.2 点であったことから、再現システムを用いた後に提案システムを用いる方が、少し成績上昇点数が高いことが確認できた。

(2) アンケート結果

表 3 にアンケートの質問項目と、回答結果を示す。アンケートでは「学習に対する関心・意欲・態度」, 「システム A」, 「システム B」の 3 つについて質問し、各問とも 4 段階 (4: はい, 3: どちらかといえばはい, 2: どちらかといえいいえ, 1: いいえ) で回答するよう依頼した。表 3 ではグループ A およびグループ B の回答内容の平均値 (括弧内は標準偏差) を示している。表 4 に「システム A, B の改善点やよかったところがあればそれぞれ教えてください。また実験の感想などがあれば教えてください」という質問に対する回答を示す。

表3 アンケート結果（多肢選択式質問の回答）

Table 3 Results of the Questionnaire. Answers on the multiple-choice questions are shown in this table.

質問番号	質問内容	グループ A 平均	グループ B 平均
Q1	理科は好きですか	2.4 (1.20)	1.6 (0.80)
Q2	理科は得意ですか	2.0 (0.89)	1.2 (0.40)
Q3	電気分野は好きですか	1.6 (0.49)	1.4 (0.49)
Q4	電気分野は得意ですか	1.2 (0.40)	1.2 (0.40)
Q5	勉強は好きですか	3.0 (0.63)	2.8 (0.98)
Q6	システム A は使いやすかったか	2.6 (0.49)	3.6 (0.49)
Q7	システム A は見やすかったか	2.8 (0.75)	3.8 (0.40)
Q8	システム A は電流・電圧・抵抗の関係を学習するのに役立ったか	3.0 (0.63)	3.6 (0.49)
Q9	システム A は豆電球の明るさを学習するのに役立ったか	3.4 (0.49)	3.6 (0.49)
Q10	システム A を使ってみて楽しかったか	3.4 (0.49)	3.6 (0.49)
Q11	システム B は使いやすかったか	3.4 (0.49)	3.6 (0.49)
Q12	システム B は見やすかったか	3.2 (0.40)	3.6 (0.49)
Q13	システム B は電流・電圧・抵抗の関係を学習するのに役立ったか	3.0 (0.63)	3.0 (0.89)
Q14	システム B は豆電球の明るさを学習するのに役立ったか	1.8 (0.40)	1.8 (0.75)
Q15	システム B を使ってみて楽しかったか	2.4 (0.49)	2.8 (0.98)
Q16	実験に対して意欲的に取り組むことができたか	3.2 (0.40)	2.8 (0.40)

表4 アンケート結果（自由記述式質問の回答）

Table 4 Results of the Questionnaire. Answers on the open-end question are shown in this table.

	肯定的な意見	否定的な意見
システム A	(ア) 学習したい回路が組める (イ) 明るさが分かりやすい (ウ) 見やすく楽しい (エ) 勉強に関係なく楽しく操作できた	(オ) 複雑で使いにくい (カ) 情報量が多くて理解が大変 (キ) 知識がないと回路を組み立てるのが難しい
システム B	(ク) 直列と並列で分かれています (ケ) 回路が完成されていたので分かりやすかった	(コ) 明るさがわかりにくかった (サ) 2種類の回路だけで力列と並列が混同された問題に対応していなかった
両システム	(シ) 視覚的に電気回路を学習できたので効果的に勉強できた (ス) 学習スピード向上につながる	(セ) 直列で抵抗を上下させたときの変化が少し見にくかった
その他	(ソ) システム B を使ってからシステム A を（または同時に）使った方が良かったと思う (タ) システムで理解はできたが問題が難しすぎた	

5. 考察

5.1 テスト結果に関する考察

4.4 節の実験結果から、プレテストからポストテストへの成績上昇点数はグループ A, B とともに、ほぼ同等であり、かつ、提案システムを使った場合の成績上昇点数と、再現システムを使った場合の成績上昇点数も、ほぼ同等であった。このことから、提案システム、再現システムどちらを用いて学習しても、同程度の学習効果が得られていると考えることができる。また、電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、豆電球の明るさについての理解も深めさせることができたと考えられる。しかし、学習（テスト）回数を重ねるたびにテスト成績が上昇するのは自然なことであると考えられる。表 1, 2 のテスト成績の上昇が提案あるいは再現システムの効果によるものであったのかどうかについては、今後調査をしていく必要がある。

1 章で述べたように、対話型の学習教材は、それを使用しない場合と比較すると、学力の向上が認められており、また児童・生徒の学習意欲、興味・関心の向上も証明されている[2, 3]。また、文献[3]では、学習者との対話性が高いシステムほど、それを用いることによって、より高い学習効果が得られるという報告もある。本研究では、電池の電圧と抵抗の抵抗値を自由に変えられ、かつ電池や豆電球の位置を自由に変えられるシステムを開発した。つまり、電池の電圧と抵抗の抵抗値のみを自由に変えられる電気回路 Watcher[4]よりも対話性の高いシステムを開発した。このことから、本研究で開発システムを用いて学習するほうが、より高い学習効果が得られると期待したが、そのような結果は得られなかった。このようになった原因には、学習時間が 10 分と短く、本システムで提供した機能を十分に活用できなかったためである可能性がある。

5.2 アンケートに関する考察

学習に対する関心・意欲・態度について、理科が嫌いと言った人が多い中、好きと言った学習者もいた。しかし、6 人が理科を苦手としており、さらに電気分野に限って好きか、また得意かという質問をすると、全員が否定的な回答をした。一方で、Q5 では 6 人が肯定的な回答をし、残り 4 人は「どちらかといえば嫌い」と回答した。本実験の参加者は、電気分野に対しては否定的である一方、勉強することは肯定的であることが分かった。

Q6 から Q8 は提案システムの使いやすさ、見やすさ、電流・電圧・抵抗の関係を学習しやすさを問う質問である。この質問に対して、グループ A とグループ B では、大きく結果が異なっている。すなわち、提案システムを先に使ったグループ A では、提案システムを後に使ったグループ B に比べ、否定的であった。これはシステムを使う順番に原因がある可能性がある。表 4 の (オ) から (キ) より、学習者にとって、提案システムは再現システムに比べ、学

べき・見るべき情報量が多く、使用するには知識を要するといえる。また、(ク)、(ケ)、(サ)より、再現システムは応用が利かない一方、分かりやすいということがいえる。したがって、始めから提案システムで学習したグループ A に対し、グループ B では対話性の低い再現システムから対話性の高い提案システムと段階を踏んで学習するためにこのような結果になったと考える。

電流・電圧・抵抗の関係の学習しやすさを質問した Q8 と Q13 を比較すると、グループ A においては提案システム、再現システム共に平均 2.0 で同じ回答結果が得られた。使いやすさ・見やすさともに、グループ A の実験参加者の回答は、提案システムは、再現システムより否定的であった。しかし、豆電球の明るさを視覚化し、明るさに対する学習がしやすくなったために両システムについて同等の結果が得られたと考える。一方、グループ B では、提案システムは、再現システムに比べ肯定的な回答があった。これは、より情報が増え、より多くのことを学ぶことができたためであると考えられる。

豆電球の明るさの学習しやすさについて質問した Q9 と Q14 を比較すると、グループ A・B ともに、提案システムに対して肯定的、再現システムに対して否定的な結果が得られた。表 4 (イ) や (ロ) のような意見も得られた。提案システムでは、学習者が目でみて、豆電球の明るさを学習できる。これに対し、再現システムでは、豆電球の明るさが消費電力の大きさに比例し、それは(電流の強さ×電圧の大きさ)で決まることをシステム中に記述しているだけで、学習者が実際に計算しなければならない。このため上記のような結果になったと考える。

楽しさについて質問した Q10 と Q15 を比較すると、グループ A・B ともに、再現システムに比べ、提案システムが肯定的であり、全回答者が肯定的な回答をした。また表 4 (ウ)、(エ) のような意見も得られた。これは、提案システムが再現システムに比べ、対話性が高かったためであると考えられる。また、学習の様子を観察すると、提案システムでは、実験参加者が、豆電球をより明るくさせようと楽しんで試行錯誤しており、学習に対する積極性も見られたため、これも原因の一つである可能性がある。

表 3 から、全体では提案システムの方が学習に役立ったとする人の方が多く、グループ B でも同様であった。一方、グループ A では再現システムの方が学習に役立ったとする人の方が多かった。表 4 (ア) のような意見が多く、学習したい回路を自ら組むことができるのは学習に大いに役立つと考えられる。

5.3 電流・電圧・抵抗の関係および豆電球の明るさが示す消費電力に対する理解に向けて

提案システムと再現システムを使用したとき、それぞれの成績上昇点数に有意差は見られなかったものの、回路を作成することで学習者は楽しみつつ学習していたことが明

らかになった。また、電流・電圧・抵抗の関係と豆電球の明るさに対する理解も深めることができたと考えられる。学習時間をより長くした場合や、再現システムを用いた後に提案システムを用いる等の利用する順序について検討することで、より詳細な研究結果が得られると考えられるがそれらは、今後の検討課題としたい。

6. おわりに

本研究では、電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、また豆電球の明るさに関する理解も深めさせることを目的とした。そのための学習教材として、対話型回路作成による電流・電圧・抵抗の関係学習システムを開発した。

電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、また豆電球の明るさについての理解も深めさせることと、学習者に回路を作成させることの効果を調査することを目的とした評価実験を行った。再現システムと比較することで、学習者に回路を作成させることの効果を調べた。

実験結果から、電流・電圧・抵抗の関係に対する理解を深めさせ、また豆電球の明るさについての理解も深めさせることができたことが明らかになった。一方、どちらのシステムを用いて学習しても、テストの成績上昇点数に有意差は見られなかった。しかしながら、アンケートの結果から、学習者は楽しんで提案システムによる学習をしているという結果が得られた。

今後の課題は、理系の学生に対しても実験を行う等、実験の被験者を増やして提案システムの価値を調査していくことである。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究 (B) 25870207 による。

参考文献

- 1) 沖花彰, 谷口信一: 中学校電気分野における電位概念の導入と学習教材の開発, 日本物理教育学会誌, Vol. 57, No. 2, pp. 97-102 (2009).
- 2) 財団法人コンピュータ教育開発センター: ICT を活用した授業の効果等の調査報告書 (2008).
- 3) Wang, P.-Y., Vaughn, B. K., and Liu, M.: The impact of animation interactivity on novices' learning of introductory statistics, *Computers & Education*, Vol. 56, No. 1, pp. 300-311 (2011).
- 4) 関向正俊: コンピュータを活用した「電流と電圧」についての理解を深める教材の開発—電流回路シミュレーション教材「電気回路 Watcher Ver.1.0」—, 岩手県立総合教育センター教育研究, Vol. 2, No. 3, pp. 7-12 (2002).
- 5) 中川隆行: 特集 V—物理実験計測でデジタルマルチメータを活用する, 茨城県教育研究センター, 日本物理教育学会誌, Vol. 45, No. 6, pp. 370-372 (1997).
- 6) 文英堂: 最高水準特選問題集理科中学 2 年新学習指導要領対応, 文英堂 (2012).