

初心者のための炭素皮膜抵抗学習支援ゲームに関する研究

大和田遼^{†1} 小泉康一^{†2} 大槻正伸^{†2}

概要: 電子回路等の基板の作成において、抵抗器を使う機会は非常に多い。その中で炭素皮膜抵抗は、電気系学科の実験や実習等において広く活用されている。人間が抵抗値を判別するとき、カラーコードと呼ばれる幾つかの色の帯によって値を読み取るが、初心者にとって多くの時間がかかる。本研究では、抵抗値の読み方を知らないような初心者に対して、開発した学習支援ゲームを実際にプレイしてもらい、このゲームが抵抗値の判別能力の学習効果があるか検証した。比較的単純で、難しすぎないゲームでは効果を得やすく、ゲームに時間制限を設けることでより速く判別できることが確認できた。

キーワード: 炭素皮膜抵抗, 画像処理, カラーコード, 学習支援

Study of the Learning Support Game of Carbon Film Resistor for Beginners

RYO OWADA^{†1} KOICHI KOIZUMI^{†2} MASANOBU OHTSUKI^{†2}

Abstract: Resistors are very often used when we make substrates such as electronic circuits. Among them, carbon film resistance is widely used in experiments and practical training in departments of electrical engineering. Resistors are distinguished by resistance values from several color bands called color codes. Beginners take a long time to read resistance values from this color code. In this study, we developed a learning support game. Beginners who don't know how to read the resistance value played the learning support game. And we studied whether playing this game has the effect of learning distinction of resistance value. As a result, relatively simple games are easy to obtain the effect. In addition, it was confirmed that resistance can be more quickly distinguished by setting a time limit on the game.

Keywords: Carbon Film Resistor, Image Processing, Color Code, Learning Support

1. はじめに

図1にあるような炭素皮膜抵抗の抵抗値はカラーコードから判別が可能である。人間が抵抗値を判別する場合、目視により判別を行うことが一般的である。特に、電気系学科の実験や実習等においては炭素皮膜抵抗を使用する機会が多いため、初心者は抵抗を判別する上で苦労を強いられることも多く、電気に関連する科目の習熟にも関わってくる。

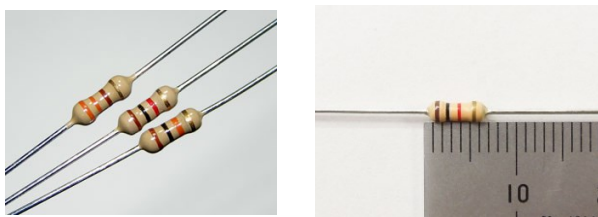


図1 炭素皮膜抵抗

そこで本研究では、まず複数個の炭素皮膜抵抗を取り込んだ画像から、抵抗値を読み取るためのプログラムを開発する。その後、初心者向けの炭素皮膜抵抗を活用した学習

ゲームの開発を行う。被験者として初心者である高等専門学校低学年と、すでにカラーコード読み取り技術を持っている高学年の数人を選び、実際に開発した学習ゲームをプレイしていただく。その結果から、どのような形のゲームが判別学習に効果があるか検証する。

2. システムの概要

今回のシステムでは、図2のように画像入力用にUSBで接続するパソコン用Webカメラを使用している。このカメラで撮影された画像は、コンピュータで実行されるプログラムに入力される。

このプログラムでは、問題の生成、抵抗を判別するための画像処理、問題に対する解答を行う。カメラの入力画像や、生成された問題、解答結果などはモニタに逐次出力され、被験者にフィードバックされる。

今回のプログラムは、プログラミング言語の一種であるPythonと画像処理ライブラリであるOpenCV、また数値計算ライブラリのnumpyを使用して開発を行った。また、GUI部分の開発ではwxPythonと呼ばれるツールキットを使用して開発した。

今回のシステムでは、開発と検証の過程で以下の機材を使用した。

- カメラ: Logicool HD Pro Webcam C920

^{†1} 福島工業高等専門学校 電気工学科
Dept. of Electrical Engineering,
National Institute of Technology, Fukushima College
^{†2} 福島工業高等専門学校 電気電子システム工学科
Dept. of Electrical and Electronic System Engineering,
National Institute of Technology, Fukushima College

(光学解像度: 3MP, フレームレート: 1080p@30fps)

- コンピュータ: DELL Vostro 3900
(CPU: Intel Core i7-4790 3.6GHz, メモリ: 8GB,
OS: Microsoft Windows 8.1)

今回のシステムの構成図を図 2 に示す. また実際の検証環境を図 3 に示す.

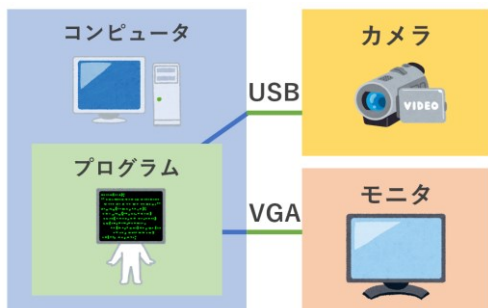


図 2 システムの構成図

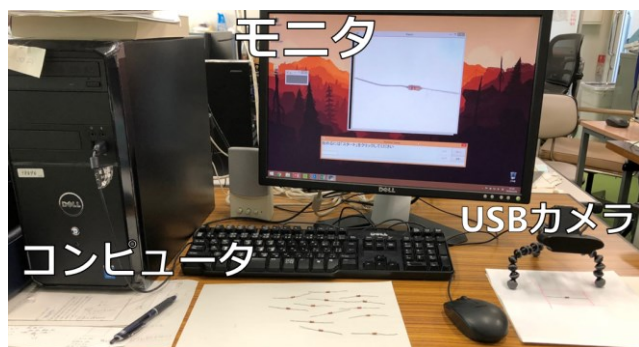


図 3 実際の検証環境

3. ゲームについて

今回の研究で用いるゲームは、操作が単純かつ効果的に学習でき、より速く判別が行えるように訓練できることを念頭に入れて、開発を行った。そして、まず以下のような問題を解くためのゲームを開発した。

- (A) 出題された数値に合う抵抗を探し出す問題
- (B) 出題された数値になるように複数の抵抗の数値を足し算して合わせる問題 (抵抗の直列接続)
- (C) 出題された数値になるように複数の抵抗の数値を逆数の足し算をして合わせる問題 (抵抗の並列接続)

なお、(B)については、抵抗を最大 3 個まで使用、(C)については、2 個の抵抗のみを使用してできるものとした。また、(B)と(C)の両方については、ヒントを加えることで、解きやすくした。ヒントは実際に解答で用いられる複数の抵抗の中から、ランダムに 1 個の抵抗の値が選ばれ、それを表示する。図 4 を例にあげる。この問題では、並列接続で $556[\Omega]$ の抵抗値になるように使用する 2 個の抵抗の値を求める。この場合、 $560[\Omega]$ と $82[\text{k}\Omega]$ があれば $556[\Omega]$ になるように作ることができる。今回は $82[\text{k}\Omega]$ の抵抗がヒントとして選ばれたとすると、図 4 のように表示される。

**【Q.1】2個の抵抗で556[Ω]となるように置いてみよう
ヒント: 82.0k[Ω]の抵抗を使ってみよう**

図 4 ヒントの一例

図 5 に、ゲームプログラムの画面とプレイ前の初期配置例を示す。プログラムのユーザーインターフェイスは、初心者でも容易に操作できることを考え、カメラからの入力画像を表示する部分と問題文などを表示するメッセージ部分、ゲーム開始や停止、設定などの際に使用するボタンの 3 つの要素で構成されている。



(a) ゲームプログラムの画面 (b) プレイ前の初期配置例

図 5 検証環境

4. 処理の流れ

今回開発した、ゲームプログラムの処理の流れとしては、以下の通りである。

- ① 解答に用いる可能性のある全ての抵抗の中から、コンピュータは使用する抵抗をランダムに選び問題を出題する。
- ② プレイヤーは出題された問いに対応する抵抗を図 4 (b) のように配置されている抵抗群から選び指定された場所に置く。
- ③ パソコンと接続されているカメラの入力画像からプレイヤーが置いた抵抗器のカラーコード領域を抽出する。
- ④ カラーコード領域を、色帯とそれ以外の部分に分ける。
- ⑤ 色帯部分の色から抵抗値を求めた後、問題の正解判定を行う。

4.1 問題の出題

コンピュータは、あらかじめプレイヤーが指定した問題が出題されるゲームと使用する抵抗を元に、ランダムに問題を出題する。プレイヤーは、設定画面から(A), (B), (C)のいずれかのゲームモードと使用する抵抗の選択が可能である。このプログラムでは $10[\Omega]$ から $820[\text{k}\Omega]$ までの E12 系列の 60 種類の抵抗が使え仕様となっている。これは抵抗の許容誤差を加味して考えられた数列であり、1 以上 10 未満の値を 12 個の等比数列で分割したものである。表 1 に E12 系列の各値を記す。

表 1 E12 系列表

10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

実際の抵抗値は上記の表の数値に 10^n ($n=0,1,2,3,4,5$) を乗算した値になる。例えば E12 系列の 82 に 10^2 を掛けると $8.2[k\Omega]$ となり、この系列に含まれる。

コンピュータはゲームスタートの指示が出ると、問題の生成を行う。解答に用いる可能性のある全ての抵抗の中から、コンピュータは使用する抵抗をランダムに選び、指定されたゲーム(A), (B), (C)のいずれかの問題を出題する。出題する問題については、問題記録用の配列内にゲーム番号や答えとなる抵抗値などが格納される。正解判定を行う場合は、この配列から答えとなる抵抗値を取得し判定を行う。図 6 に、プログラムの設定画面を示す。この画面から、プレイするゲームや使用する抵抗を選択することができる。

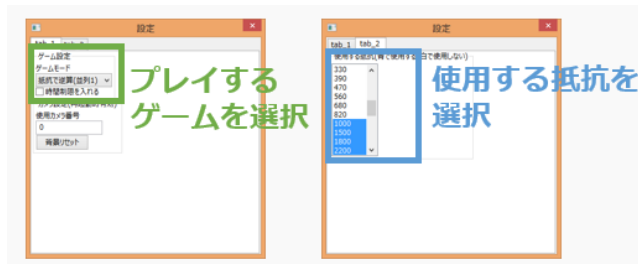


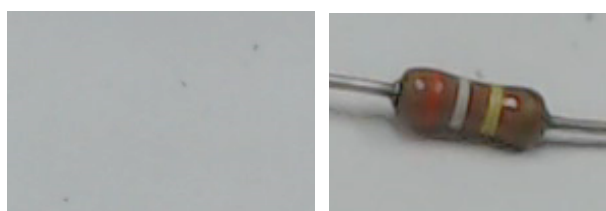
図 6 設定画面

4.2 プレイヤーによる解答

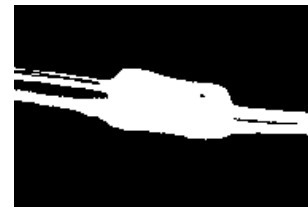
問題がコンピュータより出題されると、プレイヤーはカメラの読み取りエリアに抵抗を置くことにより問題に対する解答を行う。図 5(b)の環境の場合を例にあげる。プレイヤーは、左にある抵抗群から問題に対応する抵抗を選ぶ。問題によっては複数の抵抗を使用する場合もあるため、プレイヤーによっては抵抗を探すのに時間をかけてしまう事も多い。プレイヤーは、この抵抗群から抵抗を選び、図 5(b)の読み取り用カメラの読み取り範囲内に抵抗を置く。正解の判断は、このカメラを通して画像を読み込んだ上でコンピュータによる処理によって行う。

4.3 カラーコード領域の抽出

コンピュータが正解の判断を行う前に、まず置かれた抵抗の抵抗値を判別する必要がある。そして、抵抗値を判別する上で抵抗のカラーコード領域の抽出が必要になる。カラーコード領域の抽出にあたっては、まず抵抗を置く前の画像と置いた後の画像を比較し、変化があった画素を「白」、ない画素を「黒」として表現するようにし、画像の切り出しフィルタとして用いる。この処理を行った過程を、図 7 に示す。カメラによる読み取りを容易にするため、背景色は白の一色のみとしている。



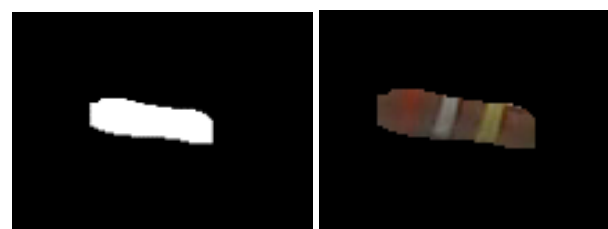
(a) 抵抗を置く前の画像 (b) 抵抗を置いた後の画像



(c) 二値化後の画像

図 7 二値化における処理の過程

その後、抵抗のリード線部と影の部分を除くために、二値化画像に膨張・収縮処理を行う。膨張とは、画像の全画素を上から順に見ていき、それぞれの画素の周囲の 8 画素中 1 つ以上「白」があればその画素を「白」に置き換える処理のことで、収縮とは、同様に 1 つ以上「黒」があればその画素を「黒」に置き換える処理のことである。この処理を行うことによって、細かいノイズを除去できるためノイズによる抵抗の誤検出を防ぐことができる。この処理を行った結果を、図 8 に示す。図 7(c)の二値化画像に膨張・収縮処理を加えると図 8(a)のような画像を得ることができる。更に、図 8(a)の画像と図 7(b)の画像を AND 演算して合成することで、図 8(b)のようにカラーコード領域のみを得ることができる。



(a) 膨張・収縮処理後の画像 (b) 元画像と合成後の画像

図 8 膨張・収縮処理の過程

4.4 色帯の抽出と抵抗値の判別

先行研究[1]では、抵抗器の判別に影響を与える色空間や照度についての記述があった。本研究の画像処理のアルゴリズムでは、色帯の色判別にあたって、帯全体の各ピクセルの色の平均値を使用している。その後、平均の色の値を、 $L^*a^*b^*$ 表色系[2]と呼ばれる色空間を元に算出している。コンピュータでは RGB 表色系による画像の表現が一般的だが、この色空間では、図 9 のように赤(R), 緑(G), 青(B)の三原色の色の明度によって表現する。この色空間を使用する場合、色の閾値を指定する上では非常に大変である。だが $L^*a^*b^*$ 表色系を使用することで、明るさを表す明度が変化しても色度の値は一定であるため、閾値の設定が非常に簡単に済む。この系では、明度を L^* 、色相と彩度を表す色度を a^* 、 b^* の座標で表わすことができる。今回、コンピュータで処理するにあたって、 a^* 、 b^* の値については極座標に変換した上で r が明度、 θ が彩度となるようにした。検証にあたっては、周りの明るさに応じて相対的に対応できるものとした。

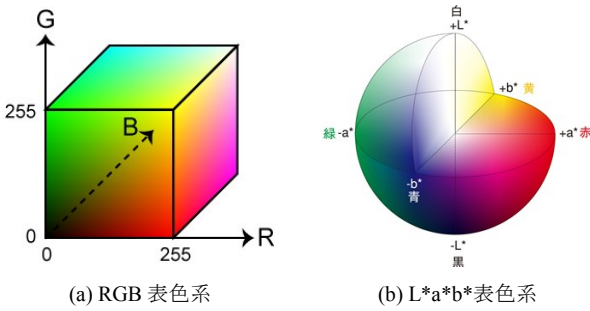


図9 色空間の模式図

図10を例にして、帯全体の各ピクセルの色の平均化による平均値の導出方法の説明をしていく。図10は図8(b)の抵抗の画像を模した画素の並びの一例である。上から3行目が白っぽくなっているのは光の反射によって発生したものである。まず、縦一列ごとに色情報の平均化を行い、各列を1ピクセルのみで表示することで、図11の上段のような画像を得ることができる。

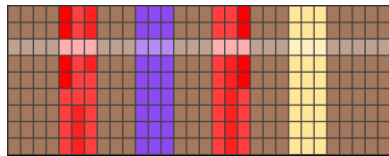


図10 抵抗を模した画素の並びの一例

その後、色帯以外の部分の色を消去し黒とする。色帯以外の部分の色とは、図11の上段の茶色の部分の事である。右の黄色のような帯は誤差率を表すものであるが、抵抗値を判断する上では必要無いためこちらも消去する。これらを消去することで、中段のような画像を得ることができる。

ただし、中段の画像のままでは、各1ピクセルずつの色の値がバラバラであることから、判別ができないため更に再度平均化する。3つの帯のグループが残っているため、それぞれに平均化を加えると、下段のような画像を得られる。これによって、3つの帯の色の値を求めることができた。

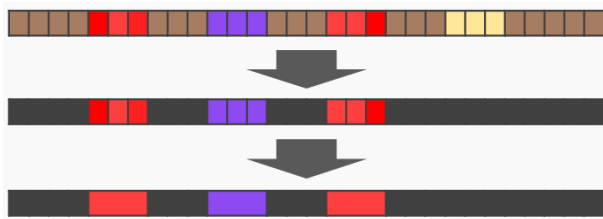


図11 平均化の処理の流れ

4.5 正解判定

正解判定については、ゲーム番号や答えとなる抵抗値などが格納された問題記録用の配列から、必要な情報を取得した上で行う。今回のプログラムにおいては、ゲームに対応するゲーム番号と答えとなる抵抗値が必要である。このゲーム番号は、抵抗値の計算をする上で必要となるプログラム内の関数と結びついており、このゲーム番号が無ければ解答ができない。この関数内で、抵抗値の計算をし、その値が答えとなる抵抗値と合致していることで、初めて正

解と判定される。

これらの処理によって、ゲームが正しく動作することが確認できた。

5. ゲームの検証

検証では、カラーコード読み取り技術を持っている電気工学科に所属する第5学年の学生6名と、電気・電子分野を学び始めたばかりである機械工学科に所属する第3学年の学生3名にゲームをプレイしてもらい、評価を行った。

3節(A)の抵抗を探し出すゲームは、出題された数値に合う抵抗を探し出す単純なゲームであった。このゲームにおいては、すべてのプレイヤーが難なく解答を行うことができていた。(B)の抵抗の直列接続による値を求めるゲームについては、プレイ初期では暗算に苦勞するプレイヤーも何人か見られたが、回数を重ねることで2個の抵抗であれば難なく足し算ができたプレイヤーが多かった。一方で、3個の場合ではヒントを使わないと解けなかったプレイヤーが多く見られた。また、(C)の抵抗の並列接続による値を求めるゲームでは、多くのプレイヤーがヒントを使わないと解けないという傾向が見られた。特に、初心者である機械工学科の学生にとっては、慣れないため解くことができなかった。

また、個人によって差があるが、抵抗が散らばって置かれているため、初めは探すのに時間がかかる傾向にあった。ただし、プレイの回数を重ねることで、ほとんどの抵抗については探しやすくなったと考えられる。一方で、人の目で判別しにくい灰色がある、820[Ω]などの抵抗は、回数を重ねても読み取りに時間がかかる傾向が見られた。図12では820[Ω]の抵抗を示している。1番左の帯が灰色であるが、プレイヤーによっては青っぽく見えてしまうこともこの図から見てとれる。



図12 820[Ω]抵抗器

6. 新たな機能の追加

今度は、ゲームを新たな機能を導入した。従来までは(A)、(B)、(C)の各ゲームを1プレイごとに別々にプレイしてもらったが、同じゲームをプレイし続けることで飽きてしまうプレイヤーが何人か見られた。また、並列接続による値を求めるゲームは解くのが大変であり、解答にかなりの時間を要してしまう。これは、楽しみながら学ぶという意味では欠点である。そこで、新たに難易度を持たせることで、難易度ごとに問題を出すゲームを変化させるようにし、プレ

イヤーを飽きさせない工夫を取り入れた。1 ゲーム 10 問出題し、難易度は 4 段階にした。難易度別に 1 ゲームで出題する問題数は表 2 のとおりである。

表 2 難易度ごとに出題される問題数

ゲーム 難易度	(A)	(B)	(C)
EASY	10 問		
NORMAL	7 問	3 問	
HARD	6 問	4 問	
EXPART	4 問	5 問	1 問

さらに、制限時間やランキングを導入し、被験者がより意欲的にゲームに取り組めるように新たな効果を加えた。

6.1 検証

新機能の検証では、先にあげた 9 名のうち電気工学科第 5 学年の学生 1 名と、機械工学科第 3 学年の学生 2 名の計 3 名に再度ゲームをプレイしてもらい、評価を行った。評価をする上で、以下の点について特に注目した。

- ① 難易度別の機能を追加した事による作用
- ② 制限時間を入れた場合と入れない場合での解答にかかる時間
- ③ ランキングにおける被験者への作用

まず、①について述べる。難易度ごとに出題するゲームを変化させるようにしたことで、簡単なゲームと難しいゲームの出題バランスを調整するようにした。難易度別の機能を追加し、簡単なゲームから難しいゲームまで様々なバリエーションのものを取り入れることで、各プレイヤーに応じたレベルの問題を出題する形式となった。これにより、各プレイヤーは苦勞することなく問題を解くことができたと考えられる。

次に、②について述べていく。制限時間を加えたことで、個人差はあるが 3 人の平均で(A)については約 2 秒、(B)については約 6 秒解答時間が短縮していた。特に、難易度が高くなるにつれて解答にかける制限時間が短くなる設定しているため、それに合わせて被験者も追いつかないといけないという心理的な作用も働いたとみられる。一方で、難易度の高い(C)については、時間制限を加えても大幅な解答時間の短縮はなく、あまり効果が無かった。

最後に、③について述べる。検証では、ランキングを気にするプレイヤーも何人か見られた。特に、そのようなプレイヤーにとっては、ランキングを通して競争力が向上し、更なるスコアのアップに繋がることが期待できた。実際にランキングを見たことで、更なるスコアの向上を目指したプレイヤーの姿がいくつか見られた。

7. 考察

7.1 各ゲームについて考察

(A)の抵抗を探し出すゲームにおいてプレイヤーは、指定

された値の抵抗を探し出して指定された場所に置けば良いため、ルールも非常にシンプルである。カラーコードの対応関係が分かっていたら容易に解くことが可能である。そのため、すべてのプレイヤーが難なく解答を行うことができていた。

(B)の抵抗の直列接続による値を求めるゲームにおいては、抵抗を判別した上で更に計算をする必要がある。2 個の抵抗であれば難なく足し算ができたプレイヤーが多かったものの、3 個の場合ではヒントを使わないと解けないプレイヤーが多く見られた。特に、3 個の抵抗の場合は使用するとと思われる抵抗の組み合わせの数も 2 個の場合と比べて大きく増えてしまう。この部分においては、計算が得意な被験者と苦手な被験者の差が大きく出てしまうことが考えられる。

また、(C)の抵抗の並列接続による値を求めるゲームでは、多くのプレイヤーがヒントを使わないと解けないという傾向が見られた。逆数を含む足し算については、最低でも手計算でないと解くのが厳しい。このゲームではそれを逆算するため、先述した(B)のゲームよりも更に難しい。今回の検証では手計算でも解いても良いとアナウンスしたが、ヒントを真っ先に求める被験者が多く、ヒントを使用しても非常に解くのに時間がかかる傾向にあった。また、この他にも出題された抵抗値が、出題に使用する抵抗値によっては小数 3 桁まで指定されていることもあり、被験者にとっては非常に難解なゲームとなってしまった。特に数値の表記によっては難しいと感じてしまう初心者もいるため、ユーザーインターフェイスを含め、出題部分のプログラムを今後改良していく必要があると考えられる。

7.2 新たな機能の考察

今回の検証では、習熟度に応じた難易度のゲームをそれぞれ被験者にプレイしてもらった。今までは、常に同じ形式のゲームをプレイしてもらっていた。この機能を導入したことで、難易度に応じて出題するゲームが変化するためプレイヤーにとっては飽きずに楽しめるものとなったのではないかと考えられる。今までは、各ゲームをそれぞれプレイする場合、ゲーム選択してからプレイが行えるため手間がかかっていたが、難易度別の機能を加えたことでその手間は解消されたと考えられる。一方で、この機能では(A)のゲームをすべて出題してから(B)のゲームを出題するというように出題順を設定していた。今回検証した中では、出題順についての意見は挙げられなかったが、今後実用化する場合、更に効果が上がるように工夫する必要がある。例えば、(A)のゲームの合間に(B)のゲームを出題するといったランダム要素も今後加える必要があると考えられる。

また、制限時間を加えたことで、単純なゲームについては概ね速く解けるようになったとみられる。ただし、プレイヤーによっては制限時間があることでプレッシャーを感

じてしまうこともあると考えられる。また、慣れてしまったことで、想定した時間よりも更に速く解くのを終えてしまうプレイヤーも見られた。制限時間の調整や、アルゴリズムの改良も今後行っていく必要があると考えられる。

8. おわりに

今回の研究では、電気系学科の初学者向けの炭素皮膜抵抗を活用した学習ゲームの開発及び検証を行った。検証の結果、比較的単純なゲームでは特に学習に取り組みやすいことが確認できた。一方で、複雑すぎるゲームは、解くのに時間がかかってしまい非常に苦勞してしまうことも検証より分かった。

今後、新たな初心者がこのゲームをプレイするのであれば、このゲームを更に改良した方が良いと考えられる。初めて抵抗に触れるプレイヤーを対象とすると仮定した場合、学習ゲームをストーリー形式にすることで、より初心者に分かりやすく学習させることができるのではないかと考えられる。また、各プレイヤーが読み取るのに苦勞する抵抗をコンピュータは学習し、それぞれの苦手なものに応じて出題する抵抗を変えるなどといった工夫も今後は必要であると考えられる。

現在、抵抗のカラーコードを覚える上では語呂合わせによって覚えるといったことも行われている。しかし、語呂合わせだけではカラーコードを身に着けたことにはならず、抵抗を見てすぐに抵抗値を判別できるようになるとは言い難い。結局は、実験実習等による経験に基づいて覚えるという形になってしまう。仮に、この学習ゲームを恒常的にプレイした場合、このような場合と比較して抵抗の判別能力が短期間で大いに向上すると思われる。

今後は、恒常的に被験者にゲームをプレイしてもらい、更に効果があるか測っていきたいと考えている。また、工業系の初心者に限らず、小中学生が楽しみながら効果を得られる学習ゲームについても考案していきたいと考えている。

謝辞 本研究の検証にあたり、ご協力頂きました電気工学科5年の学生6名と、機械工学科3年の学生3名の皆様に、深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 三谷 芳弘・浜本 義彦, "画像処理による抵抗値読み取りに関する研究," 日本高専学会誌 Vol.15, No.2, pp.65-70, 2010.
- [2] "色の数値化を、表色系ごとに見てみましょう。| コニカミノルタ (Web)," 2017年9月25日閲覧.