ポリグラフを題材とした教材開発と指導展開

ポリグラフを題材とした教材開発と指導展開

小野寺　清光[1]・嘉手苅　紘太[2]

Development of Instructional Materials and Teaching Plan Regarding Polygraphs

Kiyomitsu ONODERA[1], Kouta KADEKARU[2]

Abstract

Instructional materials and teaching plans related to polygraphs, which many students vaguely know in real life, were developed to experimentally learn both energy conversion technology and information technology. The purpose of the materials is 1) to understand how to convert a resistance value into a voltage value using a resistance voltage divider, 2) to understand the procedure for digitizing information and AD conversion, and 3) to solve problems by programming. A trial lesson was conducted for 12 university students to verify the developed instructional materials and teaching planning. A questionnaire survey after the lessons showed that the difficulty in making the material was appropriate and it is suitable for understanding electrical circuits and information digitization, and for learning programming.

Keywords：resistive voltage divider, digitization of information, instrumentation and control, educational micro-computer board

１．はじめに

科学技術の発展に伴い、生活の中で機器の構造や機構を知らずに使用するという技術のブラックボックス化が加速している。PCやスマホなどのICT機器は、技術の高度化や構造の複雑化により、簡単に開封や修理ができない設計となっている点も一因であろう。近年急速に発展するAl技術も、判断の根拠が分からないなどのブラックボックス問題があり、その概略的な仕組みの知識がなければ、適切な使用が困難な技術が数多く誕生している。例えば、刑事ドラマなどで登場するポリグラフ検査は、心理学にも関わる横断的な分野であるが、国民が直接参加する裁判員制度が導入された現在では、一般の人々もその仕組みを理解し、検査結果の妥当性を判断する能力が求められている。そこで、最近の電子機器を科学的に理解することの重要性という観点から中学校技術の題材としてポリグラフを取り上げる試みを行う。

ポリグラフは複数の生理反応を同時計測する装置で、うそ発見器という俗称もあり、心理生理学などでも利用されている。脳波、血圧、呼吸、皮膚電気活動などの生理反応を計測し、人の認知、感情、意識などの心理的活動に関連付ける[1,2)]。例えば、人は緊張すると手掌や足底に精神的発汗が生じるので、この発汗は抵抗（またはコンダクタンス）変化という皮膚電気活動として現れる[3)]。近年、ワンボードマイコンや更にOSを搭載したシングルボードコンピュータなどのマイコンボードが安価に入手できるため、心理生理学での学生実験用途にブレッドボード上に皮膚コンダクタンス測定回路を試作した報告もある[4,5)]。皮膚抵抗変化を測定するポリグラフは回路計の抵抗測定モードと基本的な原理は同じであり、教材用としても市販されている。しかし、中学校技術科の学

[1] 琉球大学教育学部技術教育講座
[2] 沖縄県中頭郡西原町立西原中学校

習内容には適合するものの、アナログ方式のためトランジスタの電流増幅作用を学習する用途に留まっている[6)]。

電圧、電流や抵抗などを測定する回路計は、電気機器の保守点検あるいは製作品の電気的状態を測定する道具として、中学校技術分野の教科書には長きに渡り必ず記載されている[7,8)]。回路計に関する授業実践の報告もあるが、回路計の使い方、測定値の読み方に関するものであり、ほとんどが小中学校理科での実践である[9,10)]。

一方、最近、情報活用能力育成を推進する観点から、学校現場ではタブレット端末に加えて教育用マイコンボードの導入が数多く試みられている[11)]。例えば、第３学年「電気で明かりをつけよう」の単元でmicro:bitを利用した回路計の授業実践報告がある[12)]。この回路計はMakeCodeのチュートリアルプログラムを利用した通電テスタのみの機能であるが、抵抗分割回路などの回路構成に関する内容を充実させ発展させることで、回路計や他の領域と複合した中学校技術に適合する教材となる可能性がある。また、回路計と原理が同じであることに便乗して、実生活の中で多くの生徒が漠然と知っているポリグラフを題材とすることで、生徒の興味関心を惹く題材になるとも考えられる。

そこで、本研究では中学校学習指導要領技術分野４）の「C エネルギー変換の技術」と「D 情報の技術」の２つの領域を複合した学習内容とする教材を開発することを目的として、教育用マイコンボードを活用しながら、回路計の仕組みの理解とプログラミングを修得するポリグラフ教材とその指導展開を検討したので報告する。

２．教材開発

図１（a）に今回開発したポリグラフ教材の製作例を、同図（b）に概略図を示す。この教材の構成は次の通りである。まず１点目として、固定抵抗R_0と人体抵抗（以下、皮膚抵抗）の直列接続で構成される抵抗分圧回路を用いて、皮膚抵抗を電圧に変換してmicro:bitの入出力端子Pinに入力する。抵抗分圧回路の電源はmicro:bitの電源V_{DD}（３V）を用いる。抵抗分圧回路は、抵抗値変化型センサをマイコンに接続するときに汎用されるが、出力電圧値は電源電圧を内分した値なのでマイコンへの過電圧も抑止できる。２点目は、micro:bit端子Pinはアナログ入出力端子を用い、皮膚抵抗の電圧をAD変換してデジタル値としてmicro:bit入力する。最後に、micro:bitには判定プログラムをインストールし、質問前後における

図１　ポリグラフ教材

電圧値のデジタル値を比較し判定する。また、電圧値のデジタル値をLED表示する。

表１にポリグラフ教材の部材リストを示す。この教材では、抵抗分圧回路をブレッドボード上に組み、固定抵抗R_0と皮膚抵抗測定用端子を具備している。皮膚抵抗測定用端子は５cm□の段ボールにアルミ箔を被覆した形状で、一端に挟口２cmの目玉クリップを取付け、リード線（みの虫クリップ－ブレッドボードジャンパーワイヤ（オス））によってブレッドボードに接続している。

抵抗分圧回路の出力電圧（以下、分圧電圧）V_{out}と皮膚抵抗Rの関係は直角双曲線であるため、固定抵抗R_0を皮膚抵抗Rに近い値にすることで、皮膚抵抗Rの変化率に対する分圧電圧の感度が良くなる。そこで、固定抵抗R_0を決定するために、本学学生12人に協力を求め、デジタル回路計を用いて計測を行った。測定初期は抵抗値が変化するので、２つの測定端子を左右の手で握ってから10秒後の抵抗値を読み取って測定値とした。同様の測定を１週間開けて同一の学生で２回測定を行った。皮膚抵抗の測定結果を図２に示す。測定値は200ｋΩから２ＭΩまで拡散しており、平均値1.0ＭΩ、標準偏差0.6ＭΩであった。よって、この教材に用いる固定抵抗R_0は1.0ＭΩとした。ここで、回路計で測定される抵抗は、測定端子と皮膚との接触抵抗を含む皮膚抵抗、腕および胸部を含む人体の内部抵抗などを含むが、皮膚抵抗が支配的であるため、本報告では皮膚抵抗とする。

表１　ポリグラフ教材の部材

品番	品目	個数
1	micro:bit	1
2	ブレッドボード	1
3	抵抗器（１Ｍ Ω）	1
4	ブレッドボードジャンパーワイヤ（オス－オス）	3
5	ネジ（Ｍ３）	3
6	ナット（Ｍ３）	3
7	段ボール（５cm ×５cm）	2
8	アルミ箔（12cm ×６cm）	2
9	目玉クリップ	2
10	リード線（みの虫クリップ－ブレッドボードジャンパーワイヤ（オス））	2

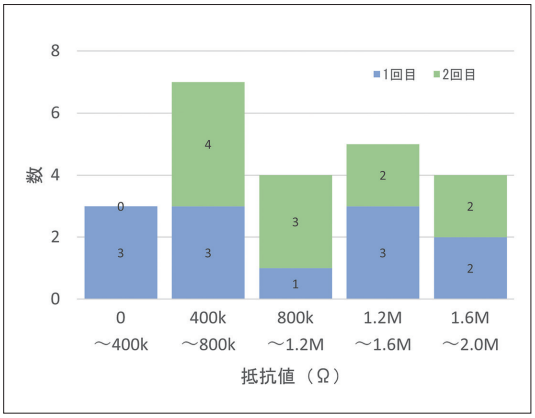

図２　皮膚抵抗の測定結果

３．指導展開

ポリグラフ教材の製作では、その構成要素に基づいて、抵抗分圧回路を用いた抵抗を電圧への変換、情報のデジタル化とAD変換の方法、および計測･制御のプログミングによる問題解決を行う。そこで、次の手順にしたがって教材製作および学習指導を進める。

3. 1　抵抗分圧回路

まず、抵抗分圧回路における抵抗と電圧の関係を理解するために、図３（a）の分圧電圧測定用の回路を組む。図１（b）のポリグラフ教材の概念図との違いは、micro:bitの分圧電圧V_{out}は接続せずに電源V_{DD}のみ接続している点と皮膚抵抗測定用端子は用いず抵抗Rを接続している点である。

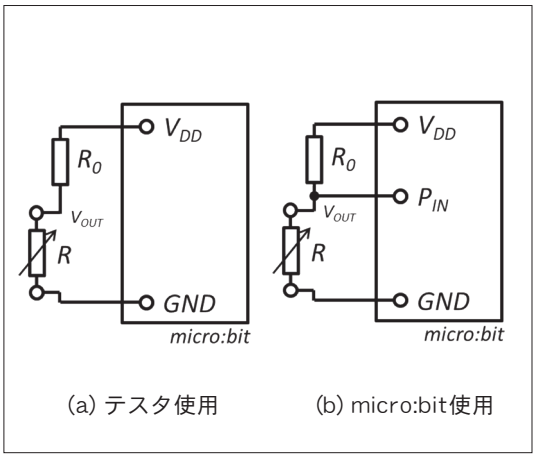

図３　分圧電圧測定系

生徒は抵抗分圧回路での抵抗と電圧の関係式を修得した後、回路計を用いて抵抗Ｒの電圧（分圧電圧）を測定する実験を行う。抵抗Rについては固定抵抗R_0の1/2、１、２倍など複数の抵抗値について測定を行い、固定抵抗R_0と抵抗Rの組合せと分圧電圧の関係を実習で学ぶ。ここで、安価な回路計を用いた場合、その内部抵抗が１MΩ程度と低いことが原因で分圧電圧の測定誤差が大きくなるため、固定抵抗R_0は100kΩを用いる。

3. 2　情報のデジタル化

次に、情報のデジタル化とAD変換を体験するために、図３（b）の分圧電圧測定用の回路を組む。同図（a）との違いは、抵抗分圧回路の出力V_{out}をmicro:bitのアナログ入出力端子に接続している点である。また、micro:bitには図４に示す分圧電圧測定のプログラミングを行い、分圧電圧が10ビットのデジタル値で随時LED表示される状態にしておく。ここで、micro:bitのアナログ入出力回路はAD変換機能を有しており、入力された電圧は10ビットのデジタル値に変換される。電源電圧３Vでの電圧分解能3/1024Vである。

この実験では、前節と同じ固定抵抗R_0と抵抗Ｒの組合せを用いて、分圧電圧をデジタル値（micro:bitのLED表示）で測定する。中学校技術分野の教科書には、音のデジタル化の説明などで、標本化、量子化、符号化の過程を経て行われるAD変換が記載されているが[7]、LED表示したデジタル値の電圧値と前節の回路計で計測した電圧値を比較することで、量子化、符号化を実際に体験できる。

図５にmicro:bitのアナログ入出力端子による分圧電圧の誤差を測定した結果を示す。抵抗分圧回路の固定抵抗R_0と抵抗Rを同一抵抗値として、分圧電圧のデジタル値を測定し、期待されるデジタル値512との差を更に512で除した値を誤差として表示している。抵抗器は一般的な誤差±５％の炭素被覆抵抗を用い、抵抗R_0とRを各々５個用意した。抵抗R_0とRの抵抗器ペアで出力電圧を測定した後、同一ペアの抵抗器を上下入れ替えて再測定した。この手順を５つの抵抗器ペアで繰り返し、合計10回の出力電圧を測定することで抵抗器誤差に起因する平均値の誤差を極力小さくすることとした。また、micro:bitの供給電源での挙動が異なったので、バッテリ（単三乾電池２本）とUSB（PCから供給）についてそれぞれ測定した。分圧電圧の誤差は、抵抗が大きいほど増大し、100kΩでは0.3％程度であるが、１MΩで３％、５MΩで12％程度であった。供給電源での平均値の差異は極少でアナログ入出力端子の内部抵抗に起因すると考えられる。一方、図中エラーバーで示す標準偏差については、バッテリではどの抵抗値でも１％以下であるが、USB電源では抵抗が大きいほど増大し、１MΩで３％、５MΩで15％程度であった。この誤差は測定系を固定して連続測定した場合にも測定値のバタつきとして

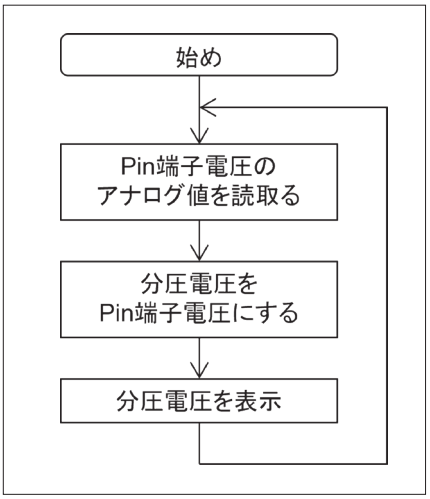

図４　分圧電圧測定のフローチャート

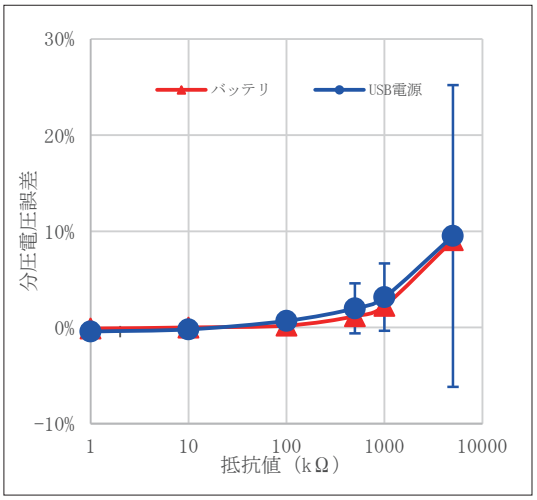

図５　分圧電圧の測定誤差

表れる。そこで、安定した分圧電圧のデジタル値を測定するために、この教材ではバッテリが好ましいと判断した。

3. 3　プログラミング

プログラミングを実施する前に、段ボールとアルミ箔を用いて皮膚抵抗測定用端子を作製し、図１(a) に示すポリグラフ教材を完成させる。

続いて、プログミングを用いた計測・制御に関する学習では、まず、類似する基礎プログラムである通電テスタ（Analog Pin Tester)、土の水分を測ろう（Soil Moisture）などのMakeCodeのチュートリアルプログラムを参照して内容を解説する[13)]。その後、図６に示す標準的な判定プログラムのフローチャートを提示し、生徒は自由に改良する。人は緊張すると手掌 足底に精神的発汗が生じ、皮膚抵抗が低下すること利用し、質問前と質問後の分圧電圧の変化によって虚偽判定する仕組みである。プログラムの概略としては、質問前にＡボタンを押して分圧電圧を測定した後、質問後にＢボタンをおして分圧電圧を測定する。質問後の分圧電圧が下がっていれば「うそ」と判定する。Ａ、Ｂボタン同時に押すと、質問前後の分圧電圧値がデジタル表示させる。プログラムを改良し皮膚抵抗値を表示させることも可能である。また、虚偽判定結果は、フローチャートにある顔文字（･v･）（-_-）に変えて、好きな文字や絵の表示、LED点灯、電子音発生、バイブレーションなどで表現方法を工夫することができる。

４．検証

開発した教材と指導展開の有効性や実用性を検証する目的で本学学生に協力を求め、試行的な授業を実施した。参加者は中学校技術分野の教員を目指す教育学部の学生12人で、２人一組での実習とした。指導のねらいを１）抵抗分圧回路における電圧と抵抗との関係の理解、２）情報のデジタル化とAD変換の理解、３）計測・制御のプログ

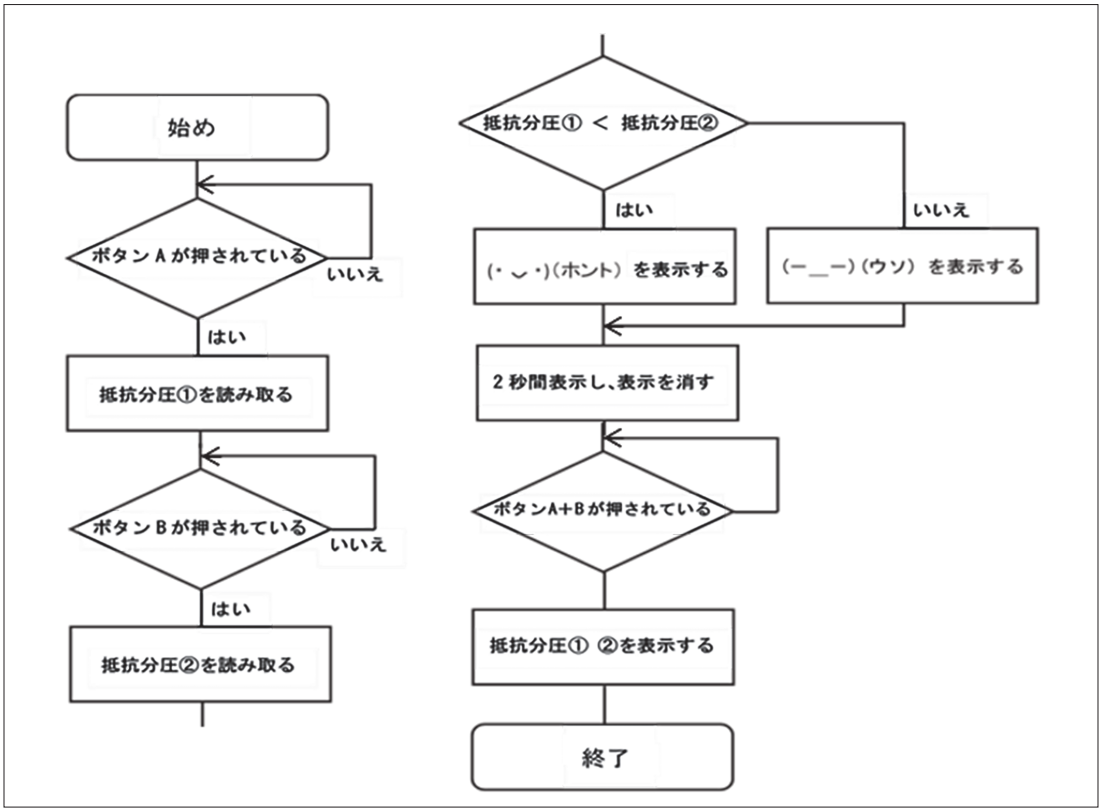

図６　判定プログラムのフローチャート

ラミングによる問題解決の３点とした。

実施内容は表２の通りである。前章の指導展開の通り、ブレッドボード上への抵抗分圧回路製作、抵抗分圧回路を用いた抵抗値から電圧値への変換と回路計による測定、情報のデジタル化の体験的理解のためmicro:bitのLED表示によるデジタル値測定と回路計測定値との比較、判定プログラム制作と動作検証の流れで90分とした。

表２　試行的検証授業の内容

時間（分）	項目	学習内容
5	事前アンケート	既習事項の確認
30	抵抗分圧回路 情報のデジタル化	ポリグラフ製作に必要な知識を習得し、ブレッドボード上に抵抗分圧回路を製作、分圧電圧を測定
30	プログラミング ポリグラフ製作	micro:bit でプログラムを作成し、ポリグラフを完成
20	製作品の動作確認 プログラムの改良	互いに質問し合い、ポリグラフの動作確認及び改良
5	事後アンケート	本時の授業評価

ポリグラフ教材製作後は動作確認として、２人一組のペアで互いに質問を行った。ここで、ポリグラフ検査時に実務現場で汎用される裁決質問法の形式だけ模して、質問に対する回答は「いいえ」のみとした[14, 15]。動作確認の流れは、まず、回答者（甲）が皮膚抵抗測定用端子（アルミ箔被覆部）を指でつまみ、質問者（乙）がmicro:bitのＡボタンを押して質問前の分圧電圧①を記録する。次に、乙が質問し甲が「いいえ」と回答した後に乙がmicro:bitのＢボタンを押して質問後の分圧電圧②を記録して、且つ虚偽判定結果を表示する。最後に、乙がmicro:bitのＡとＢボタンを同時に押し、分圧電圧①と②を表示して、虚偽判定結果との整合性を確認する。

ここで、中学生用の教材として利用する場合の倫理的な点も考慮し、質問したことで誰かが傷つくことや生徒間の関係が悪くならないように、３つの注意点を設けた。まず、判定結果を信じすぎない、あくまでも「かもしれない」であること、次に、節度を持って踏み込みすぎた質問はしないこと、最後に、過度に熱くならず、楽しく行うことである。ポリグラフといっても、発汗という生理反応を測定しているだけであるという基本の原理を理解することで、判定結果を冷静に受容できる素地ができると考えられる。

表３に質問内容、質問例と質問前後の分圧電圧のデジタル値、およびmicro:bitプログラミングでの判定の例を示す。質問内容については、直接的な事柄を問う例がほとんどであった。ポリグラフ検査はConcealed Information Testもしくは Guilty Knowledge Testと呼称され、「ポリグラフ検査は、被害者に対し、犯行手順・方法等の事件に関する特定の質問を行い、そのときに生じる生理反応をポリグラフ装置を用いて測定することで、事件に関する事実を認識しているか否かを検査するものである。」[16] とされている[17]。ポリグラフ検査の価値をより正しく判断するためにも、事前に記憶検査のような質問内容にする指示を十分に行うことが必要と考えられる。

表３　質問例と分圧電圧値（デジタル）

質問内容	分圧電圧値（デジタル）		判定
	質問前	質問後	
朝ごはん食べた？	179	168	ウソかも
お肉は好き？	964	699	ウソかも
勉強好き？	314	268	ウソかも
バイク欲しい？	472	623	ホントかも
お笑い芸人ですか？	72	74	ホントかも
勉強好き？	250	268	ホントかも
好きな果物はりんご？	368	495	ホントかも
恵方巻を食べた？	117	254	ホントかも

また、図７には表３に記載のものを含め計14回の質問前後の分圧電圧値（デジタル値）から皮膚抵抗を算出した結果をヒストグラムで示す。算出した抵抗値は380ｋΩ以下に集中しており、平均値380ｋΩ（中央値270ｋΩ）、標準偏差360ｋΩであった。図２に示したデジタル回路計での結果と比較して、1/3～1/4程度の値となっている。回路計の多くは二重積分型で、micro:bitの逐次比較型とは原理的に異なること、更に皮膚抵抗は

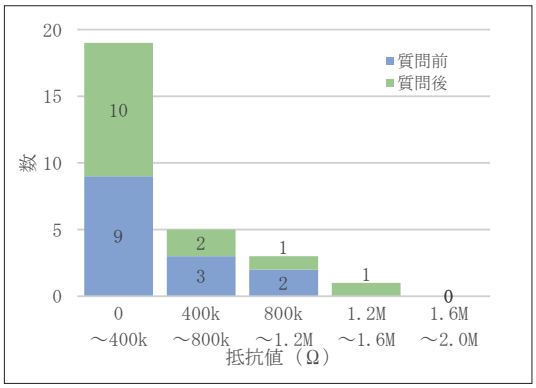

図７　皮膚抵抗の測定結果２

皮膚の乾燥状態の他に、接触面積や印加電圧などで変化するため、ポリグラフ教材の方が回路計よりも皮膚抵抗測定用端子の接触面積が大きく、micro:bitによる印加電圧が大きかったことが、小さな抵抗値が得られた原因であると考えられる。そこで、今後、教材に用いる固定抵抗R_0は300ｋΩ程度とする方が適当である。

最後に、本教材と授業の効果を検証するため、試行授業後にアンケートを実施した。図８にポリグラフ教材の製作および指導に対する事後調査結果を示す。同図（a）はポリグラフ教材に係る製作難易度である。「とても難しい」「少し難しい」「適当」「すこし簡単」「とても簡単」の５段階評価である。結果は「少し難しい」または「適当」との回答が多く、教材製作に関してはほぼ適当な難易度であると考えられる。ここで、記述式の回答では、「micro:bitでのうそ・ほんとの表示部分に顔文字や音など自由に工夫できる点が良かった」「実際にやってみると少し難しいくらいだったので無理せずできた」「『ポリグラフ』自体が生徒の興味を惹くこと、完成した後にも、質問し合うミニゲームが用意され、製作意欲が湧いた」との記述があり、概ね好感の度合いが高かった。一方、「プログラム製作で「P2」（micro:bit 入出力端子番号）などの用語が多く、製作途中で分からなくなるかと思った」との指摘もあった。

同図（b）は抵抗分圧回路、情報のデジタル化およびプログラミングの理解度である。「とても難しい」「少し難しい」「適当」「すこし簡単」「とても簡単」の５段階評価である。結果は抵抗分圧回路、情報のデジタル化は「少し難しい」または

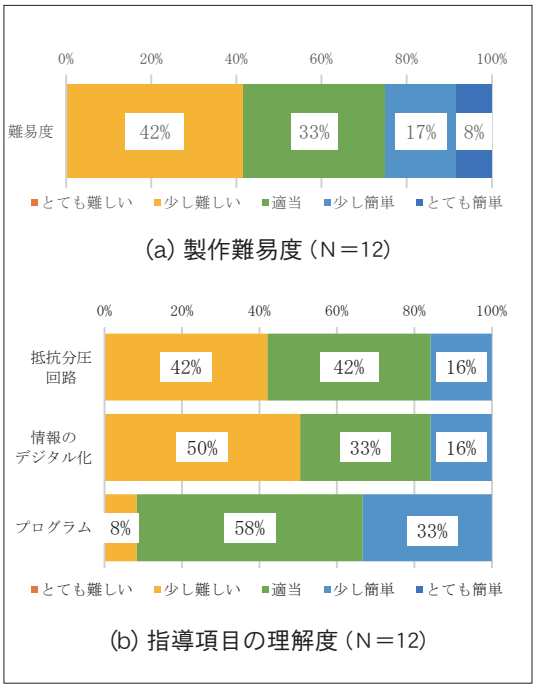

図８　事後アンケート結果

「適当」であり、プログラミングは「適当」または「すこし簡単」が多く、中学生でも良く理解できると判断したようである。ここで、記述式の回答では、「回路、デジタル変換、micro:bitについて製作を通して理解しやすかった」「電圧値で分岐させるので、プログラミングのレベルとしてよかった」「抵抗分圧回路も理解できたし、楽しさもあってすごく良かった」との好評がある一方で、「デジタル値の説明がもう少し欲しい」「発汗でうそが分かる理由をもう少し詳しく説明した方が良い」との改善を要する指摘もあった。

５．まとめ

その概略的な仕組みの知識がなければ、適切な使用が困難な技術の例としてポリグラフを題材として取り上げ、中学校学習指導要領技術分野の「C エネルギー変換の技術」と「D 情報の技術」の２つの領域を体験的に学ぶ複合教材を開発した。教育用マイコンボードmicro:bitを採用し、抵抗分圧回路における電圧と抵抗の関係、情報のデジタル化およびAD変換、計測・制御のプログラミングを用いた問題解決の３点を順番に学習する指導展開についても検討を行った。

開発した教材と指導展開をもとに、大学生12名を対象に試行的な授業を実施した。実施後のアンケート結果から、開発したポリグラフ教材は適度な製作難易度であり、３つの指導のねらいの理解を促すのに適当な内容であることが分かった。

参考文献

1）越智啓太他,“犯罪心理学,”朝倉書店, 119（2005）.
2）廣田昭久他,“携帯型デジタルポリグラフ装置の開発,”法科学技術, 10-1, 37（2005）.
3）沼田恵太郎他,”皮膚電気条件づけ,”人文論究, 61-2, 55（2011）.
4）櫻井優太,“皮膚コンダクタンスを測定する安価な回路の設計と虚偽検出実験への応用,” 愛知淑徳大学論集―心理学部篇―, 7, 27（2017）.
5）山田健史,“皮膚コンダクタンス測定器の開発,” サレジオ高等専門学校特別研究・卒業研究概要集, 4639（2017）.
6）例えば, トップマン,“技術教材カタログ,”103（2019）.
7）文部科学省,“中学校学習指導要領解説 技術・家庭編,”開隆堂（2018）.
8）竹野英敏,“技術・家庭技術分野,”開隆堂（2020）.
9）薗部幸枝,“電流単元の効果的な授業の開発,”お茶の水女子大附属中紀要, 48, 29（2019）.
10）徳井輝雄,“プログラム実習による回路計の指導,”名古屋大学教育学部付属中高等学校紀要, 32, 90（1987）.
11）文部科学省,“教育の情報化に関する手引き,”（2020）.
12）例えば, 西村岳三,“第３学年「電気で明かりをつけよう」（学習指導案）,”https:// www.hyogo-c.ed.jp/~kikaku-bo/programming/lessonplan/21_science3-1/science_3-1.html（2024年11月23日確認）, または,“現役の先生が作った学習指導案集（第1.1版）,”スイッチエデュケーション, 3-5.
13）例えば, Microsoft MakeCode, Analog Pin TesterやSoil Moisture, https://makecode.microbit.org/（2024年11月23日確認）.
14）高澤則美他,“ポリグラフ検査 高取健彦（編）捜査のための法科学 第一部（法生物学・法心理学・文書鑑識）,”令文社, 171（2004）.
15）岸靖亮,“欺きのメカニズムに関する研究,”北海道大学大学院教育学研究院紀要, 114, 21（2011）.
16）警視庁,“警察白書（平成24年度）,”（2012）.
17）財津亘,“ポリグラフ検査に対する正しい理解の促進に向けて,”立命館大学人文学会編, 636, 32（2014）.