

言語活動を通して「計測・制御」概念の獲得を目指すエネルギー変換複合教材の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-05-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 改正, 清広 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00009411

言語活動を通して「計測・制御」概念の獲得を目指す エネルギー変換複合教材の開発

改正 清広*

Development of energy-transformation teaching material for obtaining the concept of "Measurement and Control" through linguistic activity

Kiyohiro Kaisei

要旨

平成 24 年度に改訂された新学習指導要領では言語活動を重視した教育がうたわれている。一方で教育実践の現場では言語活動を実行するにも生徒の学習意欲の二極化も進んでいる。生徒の学習意欲や知識に依存した技術教育を志向するとしても就学前学習の多寡や家庭環境の差異、生徒周辺にあふれる情報通信機器により知識や技能の習得を目指す技術教育は十分意図した通りの学習活動は行えていない。生きる力に代表されるように獲得した知識を領域固有の知識とせず様々な文脈で使用できることも期待されている。そこで本研究では技術教育の必修 4 分野のうち、材料と加工に関する技術とエネルギー変換に関する技術(特に電気について)の複合製作品教材の開発を行う。ただし前述したようにエネルギー変換に関する技術を領域固有とせず情報に関する技術のコンピュータを用いた計測・制御に転移できるよう設計した。またエネルギー変換に関する技術の技術的内容は生徒にとっては難易度の高いものであるが、言語活動を通して効力感を取得できるよう配慮し複雑な電子回路の製作が実現できることで有能感を醸成できることを開発の指針とした。製作品教材は自宅に持ち帰り長く使用できる電気機器として、生徒が自室に進入した際に発生する環境の変動(本研究では、室内照度の分布の変化、生徒の物理的移動による遠赤外線の分布の変化、生徒の進入のために行う開扉音による環境音の変化)を制御入力として LED 照明が一定時間明滅するように設計する。授業においてはこれらの制御入力の実現方法や取り扱い、自宅に持ち帰った際にも利用できるセンサの感度調整の方法を知識構成型ジグソー学習により獲得する。それぞれの制御入力の取り扱い上の技能や知識をグループに持ち帰った後、生徒本人が期待する設計となるようロジック IC による論理回路の設計を通して理解を深める。これらの活動を通じてコンピュータによる計測・制御の概念を具体的な電子回路で実現することでプログラムやフローチャート等の形式的処理とは別に回路設計・製作の概念を獲得することが可能となる。

キーワード： 言語活動 計測・制御 知識構成型ジグソー学習

1. 研究背景および目的

本章では製作品教材の開発背景を学習指導要領と教育実践の場の課題に対応させ、最後に研究目的を述べる。

1.1 転移を促す製作品教材の開発

新学習指導要領技術・家庭科技術分野¹⁾では従来選択科目とされていた内容が 4 分野必修となる一方で、技術に割り当てられている授業時間数は 87.5 時間そのまま変化していない。一方で生活における課題を解決するための知識・技能を身につけることや授業設計においては設計図作成等の言語活動の充実が求められている²⁾。また実践的・体験的な学習活動を通じて様々な語彙の意味を実感を伴って理解させるといった点については小学校理科相当の知識を背景に中学校理科や高等学校物理につながるような体験的学習も期待される。

1.2 現代社会と学習意欲

現代社会においては中学校生徒の周囲には様々な家庭用電気機器や情報通信機器があふれている³⁾。これらは今後も発展する持続可能型社会/知識基盤型社会において必要なスキルの育成には役立つが、グローバル化社会において新規性の高いサービスや製品をつくっていく人材の育成⁴⁾においては生徒を単なる利用者にしており、利用する情報通信機器等の中身について考えさせる機会はほとんど見当たらない。またそれらを構成する知識を具体的に学ぶ機会は少なく、機器のブラックボックス化が進んでいる。中学校技術・家庭科技術分野の情報に関する技術においてはこれらの機器の動作についてプログラムによる計測・制御の実習を通して基本的な知識や技術を学ぶことができるが、特に計測部においてどのような情報のやり取りや信号の変換が行われているかを学ぶことは十分できていないとは言えず⁵⁾。与えられた教材を動作させるための制御の部分を中心に学習が編まれているのが現

* 静岡大学教育学部

状である^{6,7)}。一部の技術教育教科書ではこの点についてセンサの役割を「光や温度などの物理的な情報をコンピュータで処理しやすい電気信号に変換するはたらきをする」と簡潔に説明がなされているが⁷⁾、実感を伴った理解につながるような表現とはなっていない。計測の部分は本来何らかの環境情報を取得する際にエネルギーを外部から取り込んでおり、これを信号の増幅を含むエネルギー変換を行った上で制御電圧信号や制御電流信号として利用している。このため、エネルギー変換学習において計測部分の基本的原理を理解した上でプログラムによる計測・制御学習を配置することで後続する学習への転移が期待でき、既有知識を土台にした学習を行うことで学習内容の精緻化が期待できる。

1.3 本研究の目的

本研究では言語活動を通じた体験的学習に適用できる複合製作品教材を開発する。製作品教材は筐体を木材で製作することとして材料と加工に関する技術と特に電気についてのエネルギー変換に関する技術を含む。情報に関する技術のプログラムによる計測・制御の分野において計測部がどのような構成となっているかを言語活動を通して具体的に学習できるよう製作品教材の設計に生かせるようにすることとした。

2. プログラムによる計測・制御におけるインタフェースとエネルギー変換学習との関連

本章では情報に関する技術におけるプログラムによる計測・制御についてのインタフェースと電気についてのエネルギー変換に関する技術のそれぞれの学習内容の関連について述べる。

2.1 プログラムによる計測・制御

学習指導要領では、プログラムによる計測・制御に関しては「ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知ること」、「イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できること」とある¹⁾。生活に関する課題を解決するための知識・技能を習得することが本来の技術教育における課題であるが、技術教育の教科書では指導要領に示された簡単なプログラムとは言えより発展的な処理が示されているものもある⁶⁾。生徒の学習意欲を喚起する目的としては当該教科書に記載されている内容には効力期待を発生させるという意味で妥当性があるが、制御の部分に重点をおいており、計測の部分を十分精緻化して理解できるように構成されているとは言えない^{5,7)}。

2.2 インタフェース

プログラムによる計測・制御においてセンサとコンピュータを接続するインタフェースは「コンピュータ

表 1: インタフェースの役割. 各教科書⁵⁻⁷⁾から引用.

出版社名	役割の説明
東京書籍	センサからの電気信号を、コンピュータが理解できる数値情報に変換する。
開隆堂	コンピュータと、センサや仕事をする部分(アクチュエータなど)との情報のつなぎ役をするのがインタフェースです。アナログ信号をデジタル信号に、デジタル信号をアナログ信号に変えるはたらきをするものがあります。
教育図書	センサで計測された情報はインタフェースでデジタル化され、コンピュータに入力されます。コンピュータはデジタル化された情報を処理し、インタフェースを通してアクチュエータに出力して制御します。

にわかる数値情報」というふうに指導されている⁶⁾。これでは指導要領に明記された実感を伴った語彙の学習となるような十分な理解に達するとは考えにくい。しかしながら、電気信号について厳密な説明を試みようとしても小林らによってなされた大学生等の電圧概念の獲得に関する研究⁸⁾にも示されているように中学校理科を学習していてもその多くが必ずしも正しく電圧概念を獲得していないことも明らかにされている。このため、これらは現実的な側面への配慮であろうと判断できる。しかしながらプログラムによる計測・制御では、教材は指導案にならって製作されるために、どのような原理で動作しているかはあくまで制御方法を決定するプログラム部にあると理解される。しかしながら、ものづくりを体験的に行っていくには計測部がどのように制御入力を取得しマイクロコンピュータに情報を出力しているかも含めて意識化できなければ確かな学力という文脈においても「わかる」が「できない」ということになる恐れがある。

ここで技術科教科書において示されているインタフェースの役割を表 1 に示す。教科書で使用されている文言をほぼ原文のまま転記しているが、先行オーガナイザとしての位置づけとしてのこの説明文から計測の本質的な理解を動機づけることは困難であると言える。表 1 の内容を踏まえプログラムによる計測・制御の授業で取り上げられるライントレースカーにおける制御用マイクロコンピュータへの入力までの過程は、赤外線光を用いてラインを検出する計測部の場合、制御用 IC に入力される信号はフォトダイオードで電流信号として一旦検出された上でそれを電圧信号に変換し、規格化された電圧値として IC に入力され IC 内の AD 変換器で量子化されたものが入力信号として用いられる。ここで信号と言った場合、表象としてフォトダイオードで電流信号として検出されているという事実(物理現象)が生徒に意識化させられるかどうか重

要と考える。一方で技術科においてはトランジスタの利用のように内容を十分理解させることが難しくてもその利用方法が理解できる程度に教示する必要があるとも考えられる。そこでこの場合であれば、ブラックボックスとして天下一りに受け入れさせるのではなく制御電流信号が制御電圧信号に変換されて利用されていることを知らせることに意味がある。さらにこのような検出機能を実現するためにはセンサ回路にも電力を供給しなければ信号は得られないことを説明することで、省エネルギー社会において今後さらに低減が求められる待機電力の概念を生徒に気づかせるきっかけにもなり得る。

2.3 計測部におけるエネルギー変換

前項で挙げたようにプログラムによる計測・制御においては計測部の学習はものづくりの本質をつかむ上で重要であるが、それを授業で説明するのは必ずしも容易ではない。計測部においては信号として検出されるものは本来物理量であるにも関わらずその回路は複雑であり理解しにくいものとなっているためである。しかしながら、教科内容を他教科との関係性のなかで理解することは領域に固有でない概念を獲得するという意味で、とりわけ理科教育の関連性から重要である。そこで、プログラムによる計測・制御に先だって計測部で用いられる概念を効果的に学習できるようなエネルギー変換教材による学習が望まれる。この学習により、後続する情報に関する技術の学習でもコンピュータによる制御に学習の主軸を置きつつも計測部において物理的に何が生じているかを考えさせることができる。

表2に計測概念の学習に用いることのできるエネルギー変換の例を示す。素子単体のもの、素子単体では利用が難しいためインピーダンス変換回路を内蔵しパッケージ化されているものなど多様で出力もさまざまでありこの結果が教科書において電気信号という曖昧な表現の記述にとどめている原因であることが予想される。

3. エネルギー変換複合教材

学習指導要領で指摘されている通りエネルギー変換

表2: 計測に用いることのできるエネルギー変換。

物理量等	電子部品	出力
照度	CdS セル	逆起電力
	フォトダイオード	電流
温度	温度測定 IC	電圧
	サーミスタ	逆起電力
遠赤外線源の運動	焦電型赤外線センサ	FET 出力電圧
音圧	コンデンサマイク	FET 出力電圧

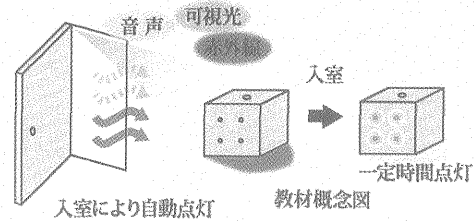


図1: 製作品教材の概念図。

教材は材料と加工の分野の学習における木材加工と合わせて学習できるよう複合教材として設計する¹⁾。特に体験的学習を促進する言語活動を重視した学習の展開や用いる電子回路について述べる。

3.1 教材設計

エネルギー変換複合製作品教材は、コンピュータによる計測・制御学習に対し学習の転移を想定したエネルギー変換部(電気について)とそれを機械的に保持する材料と加工に関する技術の学習が想定される筐体からなる。補足として制御の概念も学習できるようにLED 照明を出力とし単線型の制御の仕組みを学習することを指導上の第一目標とする。生徒の学力等を勘案しロジック IC による論理回路を用いることで複数の制御入力に対応した回路も概念的に実現できることについても言及する。ただし、本製作教材では論理演算(論理積)機能が IC の入力端子で実現できるため、ロジック IC を改めて使用する必要はない。

図1に製作品教材の概念図を示す。本教材は生徒の自宅の自室等に配置される。生徒等の入室による環境の変化を制御入力として検出し LED 照明を一定期間

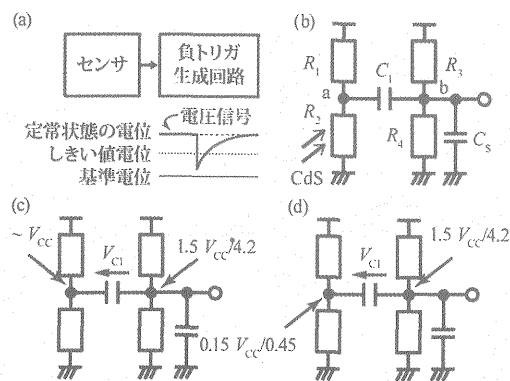


図2: 環境光(照度)をセンサ入力とする計測回路部。 $R_1, R_2, R_3, R_4, C_1, C_5$ はそれぞれ $470 \text{ k}\Omega$, 暗抵抗 $0.5 \text{ M}\Omega$ の CdS, $51 \text{ k}\Omega$, $27 \text{ k}\Omega$, $10 \text{ }\mu\text{F}$, $0.1 \text{ }\mu\text{F}$ である。(a) 計測回路のブロック線図と負トリガ信号生成の概念図。(b) (a)の回路図。(c), (d) 暗所下から明所下への環境変化によってコンデンサに加わる電圧の大きさが変化(矢印は電圧の向きを示す。大きさは a 点, b 点間の電位差から求められる。)が 2.92 V から 1.60 V に変化する様子を示した回路。

明滅させる。LED 照明の明滅動作は性別に起因する性差による興味関心を調整する役割を担うものである⁹⁾¹¹⁾。環境の変化を外部の環境光、人体の発する遠赤外線、音声等を計測部で測定し、タイマー回路等を通してトランジスタのオンオフを制御し LED の点灯をゆるやかに制御するものとする。生徒が利用する際は、自室に進入した際に自分を出迎える照明として機能するような使用用途や自宅玄関に設置し、同様の効果を期待できるよう設計できる。いずれの用途への仕様変更も生徒自身が行えるよう授業設計がなされる。このため、長く使用できる製作品教材となる。以下では製作品教材のそれぞれの課題について説明する。

3.1.1 計測部

計測部は環境の変化を検出し後段の回路に電気信号を伝える。生徒の効力期待が高まり学習を促進するよう生徒自ら選択し製作できるよう表 2 で指摘したもののなかから 3 通りの回路を選択する。なお学習は知識構成型学習ジグソー学習にならない、各計測部の動作機構の検証はそれぞれのグループ (3 グループ×2 班) に集まって計測実験を行うことで自らの知識として習得

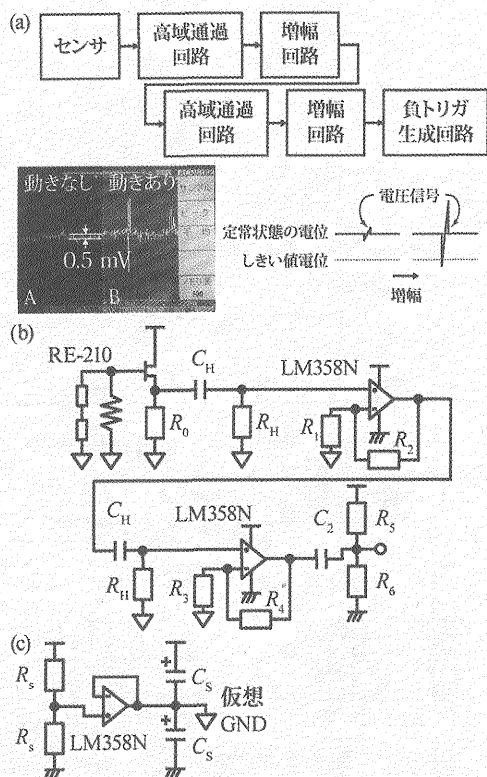


図 3: 遠赤外線の強度分布の変動(人体の動き)をセンサ入力とする計測回路部。(a) ブロック線図。(b) (a)の回路図。(c) (a)のための両電源生成回路の回路図。(d) センサの出力信号。センサの 30 cm 手前で手をかざすと約 1 mV の電圧変化が見られる。 $R_0, C_H, R_H, R_1, R_2, R_3, R_4, C_2, R_5, R_6, R_7, C_5$ はそれぞれ 47 k Ω , 1.0 μ F, 1.0 M Ω , 100 k Ω , 1.0 M Ω , 100 k Ω , 2.2 M Ω , 3.3 μ F, 51 k Ω , 27 k Ω , 10 k Ω , 470 μ F である。

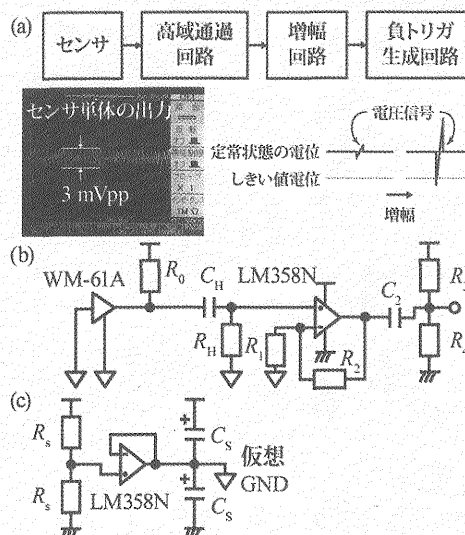


図 4: 音圧(振動)をセンサ入力とする計測回路部。(a) 計測回路のブロック線図, センサ単体の出力および負トリガ信号生成の概念図。(b) (a)の回路図。(c) (b)の回路のための両電源生成回路。センサ単体の出力信号は 75 dB 程度の音をセンサに向けて 1 m の距離から照射した。 $R_0, C_H, R_1, R_2, C_2, R_3, R_4, R_5, C_5$ はそれぞれ 22 k Ω , 4.7 μ F, 10 k Ω , 470 k Ω , 3.3 μ F, 51 k Ω , 27 k Ω , 10 k Ω , 470 μ F である。

するものとする。

i) 照度

照度を利用した技術教育教材については既にセンサライト付きフォトフレームの教材事例が技術科の教科書にも掲載されている⁶⁾。しかしながら本教材で利用する際には環境の変動に対して一度出力するのみであり教科書に記載の制御方法とはならない。そこで図 2(b)に示すような高域通過回路を通して環境光の変動を負トリガパルスとして出力できる回路とした。ここでは照度センサを暗抵抗が 0.5 M Ω (Nanyang Senba Optical Electronic Company 製 GL5516), 後段の回路を 555 タイマー IC とする。この IC をワンショットタイマーとして利用する際の負トリガレベルが $1/3 V_{CC}$ であることからこれを満たすような負トリガ信号が出力できるよう設計した。以下の回路でも同様のワンショットタイマーを使用した。このため、図 2(a)と同様に右端の出力ピンの電圧が次段の 555 タイマー IC の負トリガレベルである $1/3 V_{CC}$ を下回る出力信号が得られればよい。

ii) 人体の発する遠赤外線

人体の動きを検知するセンサは人感センサとして主に公共施設の照明器具の省電力装置として照明器具の点灯を制御している例がしばしば見られる。人感センサは、人体(発熱体)が発する発熱体の運動をフレネルレンズ (Senba Optoelectronic 社製 D701. 視野距離 10 m) と焦電型赤外線センサ(日本セラミック社製 RE-

210)の組み合わせにより検出する。発熱体の移動はセンサ表面へ照射される遠赤外線に間欠的な変化を生じるため、センサ本体の焦電体に誘起される電荷が時間的に変化する。この電荷の変化をインピーダンス変換回路で電圧信号として取得する。センサ単体で得られる交流信号は約 1 mV_{pp} であった。計測部は図 3(c)に示すように両電源を用いる。焦電型赤外線センサで得られる交流信号の増幅は 2 段のオペアンプによって実現する。なお電圧信号の増幅率 G は正相増幅器を 2 段で用いているため、以下のような式になる。

$$G = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

iii) 音圧レベル

人間の行動により発生する音を検知する場合は、音圧レベルが利用できるが前述と同様にしきい値以上の音圧が入力された際後段の回路で一定の動作が生じるようオペアンプで増幅するものとした。用いたセンサはコンデンサマイク (Panasonic 社製 WM-61A) である。使用する測定回路を図 4 に示す。なお電圧信号の増幅率 G は正相増幅器を 1 段で用いているため、以下のような式になる。

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

ii) および iii) では入力信号は高域通過回路を用いて直流成分を除去し、信号の増幅も回路を複雑にしないように配慮した。ii) については同じ正相増幅回路を 2 段で、iii) については 1 段で制御入力信号を増幅するものとした。

3.1.2 タイマ回路

タイマ回路では、入室時に一定期間 LED 照明を動作させるための制御電圧信号 V_{C1} と LED 照明自体を明滅させるための制御電圧信号 V_{C2} を作る。回路図を図 5 に示す。信号 V_{C1} 、 V_{C2} はタイマ IC (b), (c) により作られる。タイマ IC (b) はトリガ端子 (2, ピン番号) に加

表 3: タイマ IC の時間制御。上部はワンショットタイマ回路の動作時間 (T_H) であり、下部は発振信号の High 時間 (T_H) と Low 時間 (T_L) を示している。

R_1 [M Ω]	R_2 [M Ω]	C [μ F]	T_H [s]	T_L [s]
9.4		20	206.5	
9.4		10	103.3	
4.7		10	51.6	
2.4		10	26.4	
2.4		5	13.2	
9.4	18.8	1	31.0	13.0
18.8	9.4	1	31.0	6.5
4.7	4.7	1	10.3	3.3
2.4	2.4	1	5.3	1.7

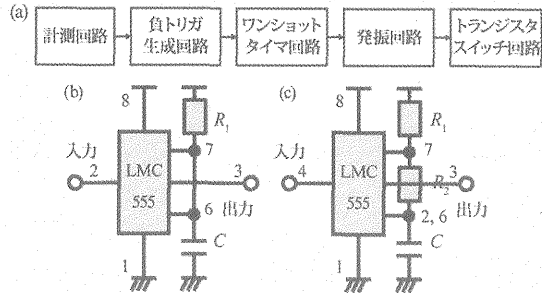


図 5: タイマ回路。番号は IC のピンの番号を示している。(a) 計測回路から LED を含むトランジスタスイッチ回路までのブロック線図。(b) ワンショットタイマ回路。(c) 発振回路。(a) 出力持続時間 $\ln 3 R_1 C$ 。(b) パルス周期 $\ln 2 (R_1 + 2R_2) C$ 。High 出力時間 $\ln 2 (R_1 + R_2) C$ 。Low 出力時間 $\ln 2 R_2 C$ 。

えられた負トリガ信号により出力端子 (3) に一定期間オン信号 (振幅が V_{CC} 程度の電圧信号 V_{C1}) を出力する。この信号はタイマ IC (c) のリセット信号 (発振動作を開始する信号) となる。タイマ IC (c) はトリガ信号がリセット端子 (4) に入力されると、外部接続された電気抵抗とコンデンサで決まる周期で出力端子に方形波 V_{C2} を出力する。表 3 にタイマ IC (b), (c) で使用される典型的な電気抵抗とコンデンサの値を示す。抵抗 R_1 、 R_2 、コンデンサ C は種類を限定した電子部品を直列接続、並列接続することにより複数の解を産出できるように設計する。このため、部品点数増加を抑えながら多様な解が産出できる。これらは生徒がブレッドボード上で部品の抜き差しを行うことで知覚的に計時概念の獲得を促し、出力端子の電圧変化による知覚的現象 (計測時間) と形式的操作 (数式により導出される時間) との関係から電気を用いたものづくり意識を育むことが期待でき、理科への転移も促すことができる。

3.1.3 トランジスタスイッチおよび充電回路

3.1.2 で作られた入力信号は電流制限抵抗を通じてバイポーラトランジスタやダーリントントランジスタのベースに加えられ、コレクタ電流を変調する。電源-コレクタ間には図 6 に示すような充電回路が挿入され、LED はゆるやかに点滅・消灯動作を行う。

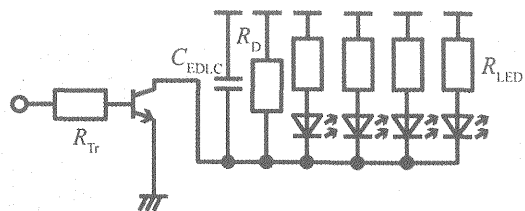


図 6: トランジスタスイッチ回路。LED として白色 LED を仮定したとき、 R_{Tr} 、 C_{EDLC} 、 R_D 、 R_{LED} はそれぞれ $1.0 \text{ k}\Omega$ 、 0.22 F 、 $1.0 \text{ k}\Omega$ 、 $1.0 \text{ k}\Omega$ とした。

3.2 電源回路

電源回路の製作においては 5 V 相当の電圧電源が用意できればよいが、通常技術教育の教科書では生徒が製作した製作品の家庭内での使用による事故防止のために AC アダプタではなくアルカリ乾電池が用いられている。本研究では上記の 2 通りの選択肢を検討する。

i) アルカリ乾電池

アルカリ乾電池を用いる方法としては公称電圧 1.5 V の電池を直列接続したものを合成電圧が 5.0 V 未満の場合は昇圧回路を通じて 5.0 V に昇圧し安定化する場合と合成電圧が 6.0 V 以上の場合 5.0 V に降圧し安定化する場合がある。これらについては昇圧する場合は、昇圧制御素子として HT7750A を用いた場合、乾電池 2 本を用いることによって負荷電流が 200 mA 程度まで端子電圧を 4.9 V 程度まで維持できる¹²⁾。一方、降圧する場合は降圧素子として LM2940 を用いることによって入力電圧が 5.5 V 以下に下がるまで出力電圧が 5.0 V を維持しながら 1.0 A の負荷電流を維持できる¹³⁾。

ii) AC アダプタ

AC アダプタ(秋月電子通商製スイッチング電源 AD-D50P100)の場合は電源電圧 5.0 V、負荷電流 1.0 A の場合、負荷電流を 1.0 A としたときも電源電圧は 5.0 + 0.02 V であった。

制御部を含む白色 LED 照明に必要な直流電圧は 3.0 V を超える電圧が必要になるため 5.0 V の電圧電源が必要である。そこで 5.0 V の安定化電源を取得するために 9.0 V のアルカリ乾電池を図 7 の電圧変換回路に示すように三端子レギュレータを用いて降圧した。しかし乾電池を用いた場合、使用により消耗するため製造および廃棄の費用が高く環境負荷が大きい。そこでスイッチング電源(AC アダプタ)も選択できる。図 7 に示すように AC アダプタや乾電池電源に電圧安定化回路-負荷回路と直列にポリスイッチ、並列に保

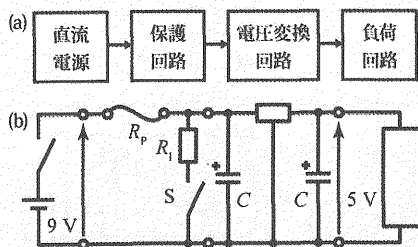


図 7: 電源回路と保護回路。(a) ブロック線図。(b) 回路図。保護回路のスイッチ S を閉じると負荷回路とは関係なく、 V_{CC}/R_1 の電流が流れ、これがポリスイッチ R_p のトリップ電流に達することで保護回路の動作確認をすることができる。C、 R_p 、 R_1 は電圧変換回路-負荷回路の設計電流値が 50 mA の場合、それぞれ 100 μ F、トリップ電流が 100 mA 相当、10 Ω とする。

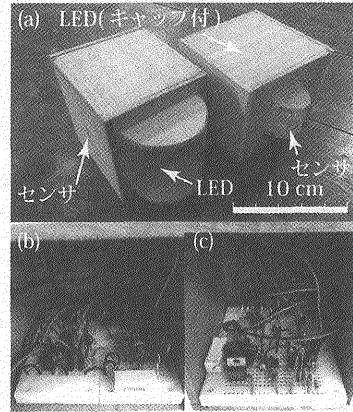


図 8: 製作例。(a) 照度センサを用いた製作例(左)と焦電型赤外線センサを用いた製作例(右)。(b) (a)の照度センサを用いた製作例の回路。(c) (a)の焦電型赤外線センサを用いた製作例の回路。(b)、(c)いずれも電源は AC アダプタを用いている。

守点検用スイッチと電流制限抵抗(スイッチかジャンパ線、抵抗いずれも許容電力を満たすもの)、電解コンデンサを挿入することで保守点検の学習ならびに安定した電気的特性の確保が可能となる。例として電圧安定化回路-負荷回路が 50 mA の電流を定常的に必要とする場合は定常的に 100 mA 以上の電流が流れることはないため、定常的に 100 mA 以上の電流が流れたときに高抵抗状態に移移するポリスイッチ(たとえば、レイケム・サーキット・プロテクション社製 RXEF005)を選定させるものとする。なお、過渡的に大電流が流れる場合もありうるが、ポリスイッチは時間応答性がよくないため過渡的な負荷電流については反応しない。また、設計時に実際に流れている電流を測定するためには電流計を挿入する必要があるが、内部抵抗が無視できないため、10 Ω の電流制限抵抗を挿入することで抵抗両端に加わる電圧値を抵抗値で除することで間接的に電流値を算出することができる。機器の保守点検についての学習では、スイッチを入れることで回路に不具合が生じたときも過大な電流が流れないように機器が動作することを確認できる。

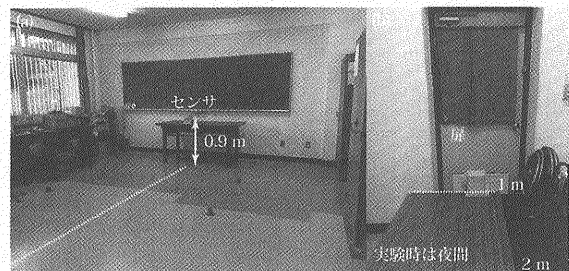


図 9: 検証に用いた実験室。(a) 人の動きおよび環境音の計測に関し電気実習室 (b) 照度の計測に関し若者居室の入り口付近。

表 4: 電流制限抵抗と環境光の対応表.

R_i [k Ω]	I_{LED} [μ A]	CdS [k Ω]	設置点
10	233	37.4	1 m
27	89.1	80.9	
51	47.7	155	
68	36.1	216	2 m
82	30.0	265	
100	24.7	289	3 m

3.3 筐体部の製作

筐体部は材料と加工に関する技術についての学習として木材加工により環境刺激の入力用の開口部とLEDの取り出し口としての複数の開口部があるものを作製する. 特に焦電型赤外線センサ(フレネルレンズ部が必要)を用いた生徒とそれ以外の生徒とで加工内容が変わらないようにするため, 図 8 に示すようにレンズ部とLEDカバー部を作製させる.

4. 評価結果および授業設計への展開

評価は図 1 に示すような部屋の扉を開けた際の動作による環境変化を実際に, ないしは間接的に再現して行うものとした. 本教材では, 取り扱いの習熟が難しいオシロスコープ等を用いなくても人体や人体を介した環境変化に応じて出力が変化することが確認できる. これを二次元の反応分布としてグラフ化(環境変化が十分増幅できたか否か)できるため, 電圧や電流等の物理概念が十分育っていない生徒においても反応分布の取得という言語活動を通じて計測・制御の概念の理解が促される. 回路の製作では予め図 2(a), 3(a), 4(a), 5(a), 7(a)に示したようなブロック線図の作成を促し, 制御信号の流れを視覚化させた上で実際の製作作業を

進めさせる. 環境変化の背景としての照度, 音圧レベルは MASTECH 製のデジタルマルチメータ MS8229 の照度測定機能, 音圧レベル測定機能を参考値として用いた. また機器のばらつきを減らすため, 4 台の同型機から機器ばらつきとして同程度の値を示すもののうちの 1 台を使用して以下の実験を行った.

4.1 単一刺激を制御入力とした場合

計測部で測定した信号はワンショットタイマ回路に対し $1/3 V_{CC}$ を下回る電圧レベルの負トリガ信号に変換して入力される. 授業設計においては, 電圧概念が必ずしも定着していないことを鑑み, 大きさを持った電気信号(1 mV_{pp} の交流信号)が図 3(a)に示すようブロック線図と対応する具体的な回路(同図(b))を通じて増幅され次段の回路を動作させるものとして各増幅回路のパラメータを変更させ設計を行わせる. なお, 図 2(a)については必ずしも増幅はしていないが, パラメータの変更により信号の大きさは変化する. 設計については, 増幅度によって信号が検出できる範囲が変わることから図 12, 13, 15 のような反応分布のグラフ化を通して検出範囲を視覚化させる.

4.1.1 照度の変化による回路の応答

本実験では扉等の開扉動作による無電灯室内の照度変化を捉える必要がある. 室内照明がついていない場合の室内(寝室と同程度の照度 2 lx 程度)の照度が部屋の扉を開けた際に廊下の明るさ(扉から 0.5 m, 高さが 0.8 m の点で 30 lx 程度)により変化する. 照明機器の設置場所として扉から 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m, 高さ 0.8 m としたとき, 機器が照度変化に応答するかを検証した. デジタルマルチメータの照度計機能では誤差が大きかったため, 参考値として暗抵抗が 0.5 M Ω の CdS セルの電気抵抗の実測値を示す. 暗所下で開扉時の扉か

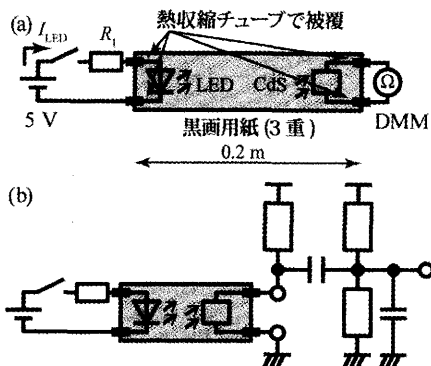


図 10: 開扉動作による照度センサの応答を擬似的に生成する回路. LED および CdS の導線部は電気的特性を維持するために黒画面紙と接触しないように熱収縮チューブで絶縁している. (a) 開扉動作による照度変化の検証用回路. (b) 照度変化再現実験回路. 波形生成回路の出力端子はタイマーICに接続し, 内蔵された比較器により動作の達成を確認する.

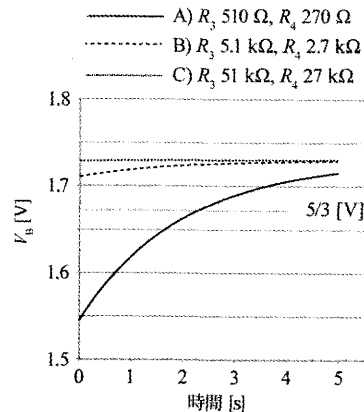


図 11: 開扉動作による照度変化の結果生じる電圧 V_b の過渡応答のシミュレーション. 固定抵抗の値を変化することで, 次段の負トリガ電位(5/3 V, $V_{CC} = 5.0$ V)を条件 C 51 k Ω , 27 k Ω のみ割り込むことが確認できる.

ら 1 m, 2 m, 3 m の点での電気抵抗はそれぞれ 0.5 MΩ であったものが開扉動作により、それぞれ 0.04 MΩ, 0.2 MΩ, 0.3 MΩ に低下した. 図 2 に示した回路では扉から 1 m, 2 m および 3 m の点のいずれでも LED 照明の点滅が確認できた.

以上の部分を生徒自らがグループ内で課題解決を図る. 技術科において 2 lx 程度の照度の実験暗室をグループ毎に準備することは難しいため, 図 10 に示すようにセンサ部を黒画用紙で作製した筒に封入し, この中を暗室環境に見立てて視覚化する. この筒の端に白色 LED を導入し, CdS セルに向かって弱い光を準備し, 環境変化に対する電子回路の応答を考えさせる. 黒画用紙 1 枚では環境光の影響を受けるため黒画用紙を 3 重とした. 加えて LED や CdS の導線が画用紙に接触することで端子間の電気的特性が悪化するため, 画用紙が接触する部分は熱収縮チューブで被覆した. 表 4 は図 10 の回路を用いた際に得られる白色 LED (OptoSupply 社製 OSWT3166B) による光照射時の照度センサの電気抵抗を示す. なお, 照度センサへの光の照射は CdS セルの電気抵抗が暗所下に放置された状況を再現するために 10 MΩ となった際を基準に行った. 扉の近く(1 m 付近で高さが 0.8 m), 奥(2 m ないし 3 m 付近で高さが 0.8 m)での照度は CdS セルの電気抵抗値が 0.04 MΩ, 0.2 MΩ, 0.3 MΩ 程度であったことから 5 V 電源を用いる場合は, それぞれ 10 kΩ, 68 kΩ, 100 kΩ の電流制限抵抗で各場所での開扉動作による照度の変化を再現可能である. 生徒への指導については寝室や廊下については照明基準¹⁴⁾により照度の参考値が知られていることを示し(深夜の寝室や廊下は 2 lx で廊下は使用時で 50 lx), これを踏まえ具体的な状況をイメージさせ抵抗の組み合わせにより照度変化に対する応答が異なることから最適な抵抗の組み合わせ

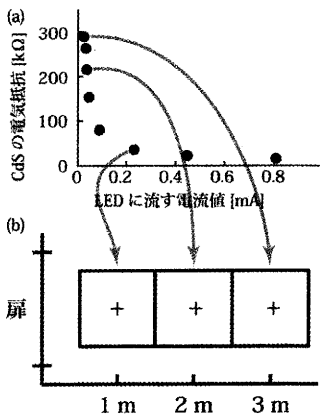


図 12: 照度センサの反応分布 (R_3, R_4 : 51 kΩ, 27 kΩ). (a) 反応分布を再現するために産出される照度と照度を実現するために必要な電流値の関係. (b) 照度センサの反応分布. 照度変化による応答(電圧変化)がしきい値を超えた点を+で示す.

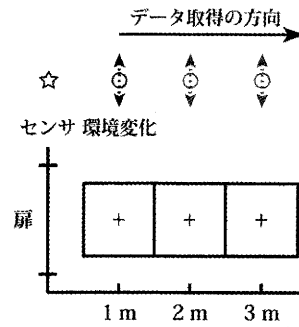


図 13: 焦電型赤外線センサの反応分布. 演算増幅器による増幅率は約 63 倍である. 照度変化による応答(電圧変化)がしきい値を超えた点を+で示す. なお, グラフの上の図はグラフデータ取得時の位置関係を示している. 本来動きの位置を固定するべきだが, センサ位置を変えることで代替できることを示している.

せを選ばせる. 例を以下に示す.

- A) R_3, R_4 : 510 Ω, 270 Ω
- B) R_3, R_4 : 5.1 kΩ, 2.7 kΩ
- C) R_3, R_4 : 51 kΩ, 27 kΩ

いずれの条件でも接続点での電位は 約 $0.346 V_{CC}$ となり, $0.346 V_{CC} > 1/3 V_{CC} = 1.667$ [V]でありタイマ IC のトリガ端子の動作電圧よりわずかに高くなるように設定していることを生徒に示す. このため本来的には前段の CdS セルの電気抵抗が照度変化により変化することにより図 2(b), (c)に示すように積層セラミックコンデンサに加わる電圧が減少するため, コンデンサからの放電電流によって接続点での電位は一時的に低下させられる. しかし, 実際的にはももとの分圧抵抗 (R_3, R_4)が小さい場合は, そもそも抵抗分圧回路中を電流が流れているため, 付加的に加わる放電電流によって接続点での電位は十分変化しないため次段の 555 タイマが動作する程度に十分大きな負トリガパルスは生成されない. PSpice により条件 A, B, C に対してコンデンサの初期電圧を 2.318 V として出力端子である V_o の過渡応答をシミュレーションによって示した結果を図 11 に示す. 条件 C のみが十分な電位変化を示すことがわかる. この条件で反応分布を求めた結果を図 12 に示す.

4.1.2 人体の動きによる回路の応答

R_1, R_2, R_3, R_4 をそれぞれ 100 kΩ, 1.0 MΩ, 100 kΩ, 0.47 MΩ とした. 結果的に電圧信号の増幅率は $(1+10) \times (1+4.7) = 62.7$ であり, センサのインピーダンス変換器としての電界効果トランジスタ(FET)のソースから得られる電圧信号は約 63 倍に増幅される. 結果として図 13 に示すような反応分布(室温 16.5 °C, 湿度 35 %RH)が得られる. 生徒の部屋程度の奥行きであれば十分反応が得られることが確認できる. センサの反

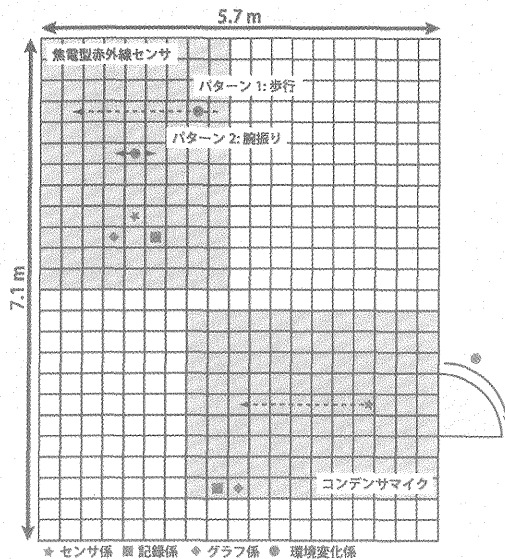


図 14: 反応分布取得における役割分担例. 左上は人体の動きによる反応分布の探索での例を示したものであり, 右下扉付近は開扉音による反応分布の探索での例を示したものである. また灰色の領域は生徒の部屋(6 畳部屋 2.7 m×3.6 m を想定している). 人体動作について壁側に向かって領域を設定することで他の生徒の計測活動の影響を回避できる. 4 種類の係: センサ係, 記録係, グラフ係, 環境変化係を設定し, 回路の変数を変える毎に係を入れ替わる.

応は歩行以外にも腕振り程度の比較的小面積の発熱体の移動でも反応分布が計測でき, 生徒の発想や利用方法により様々な反応分布の取得方法が実践できる.

以上の部分を生徒自らがグループ内で課題解決を図る. 6 畳の子どもの部屋であれば 3.6 m×2.7 m の領域に発熱体が移動した際に動作するように信号の増幅率(ここでは図 3(b)の R_2 , R_4 の抵抗値)を選択させる. 以下に例を示す. フレネルレンズとセンサの位置関係により多少ばらつくが, 以下の A と C の間で明瞭に検出できる奥行きに違いが生じることが確認できた.

- A) R_1, R_2, R_3, R_4 : 10 k Ω , 0.47 M Ω , 10 k Ω , 0.47 M Ω ($G = 32.5$)
- B) R_1, R_2, R_3, R_4 : 10 k Ω , 1.0 M Ω , 10 k Ω , 0.47 M Ω ($G = 62.7$)
- C) R_1, R_2, R_3, R_4 : 10 k Ω , 1.0 M Ω , 10 k Ω , 1.0 M Ω ($G = 121$)

実験にあたっては図 14 に示すように発熱体としての移動者や記録係等に役割分担を促し, 記録した反応分布を言語活動の成果(グラフ)として産出させる.

4.1.3 開扉音による回路の応答

R_1, R_2 をそれぞれ 10 k Ω , 470 k Ω とした. よって検出信号の振幅は $1+47 = 48$ であるため 48 倍に増幅される. なお実験室の室温, 湿度, 環境音の音圧レベルはそれぞれ 12.0 $^{\circ}\text{C}$, 28 %RH, 38.6 dB であった (ただし

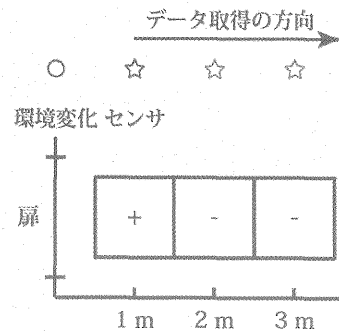


図 15: コンデンサマイクの反応分布(R_1 10 k Ω , R_2 220 k Ω). 室内は常時 38.6 dB の環境音(計測器による指示値)が発生している. 環境変化による応答(電圧変化)がしきい値を超えた点を+, 超えなかった点を-で示す. なお, グラフの上の図はグラフデータ取得時の位置関係を示している.

計測器の計測保証外であり参考値として示す). 開扉音(音源から 1.0 m で測定した音圧レベルは 10 回平均で 75 dB)により発生した環境音の変化によって本実験を行った 5.7 m×7.1 m の実習室内の全域で反応することが確かめられた.

以上の部分を生徒自らがグループ内で課題解決を図る. 前項と同様に, 子ども部屋として例えば 6 畳の部屋であれば 3.6 m×2.7 m の領域内にセンサを動かし, それぞれの位置において扉の開閉操作により出力信号が得られるように信号の増幅率(ここでは R_2 の抵抗値)を選択させる. ここでも実験にあたってはセンサの移動係, 扉の開閉係, 記録係等の役割分担を促し, 記録した分布を言語活動の成果として産出させる. 以下の例でも条件 A と D とでは検出できる範囲が明瞭に異なることを確認できているのに加えて, 歩行や暖房機器の動作音程度の外乱では反応しないことを確認した. 図 15 は条件 B を適用した結果であるが, 手前 1 m 付近までは開扉音に反応するが, 3 m 付近では顕著に反応が見られなかった.

- A) R_1, R_2 : 10 k Ω , 100 k Ω ($G = 11$)
- B) R_1, R_2 : 10 k Ω , 220 k Ω ($G = 23$)
- C) R_1, R_2 : 10 k Ω , 330 k Ω ($G = 34$)
- D) R_1, R_2 : 10 k Ω , 470 k Ω ($G = 48$)

4.2 複数刺激を入力とした場合

前節よりも発展的なテーマに取り組む余地がある場合は, 情報に関する技術の内容を先取りし, ロジック IC (NAND ロジック等を用いる) による制御入力の論理積を学習させた上で下記の課題を提示し解決を図らせる. 本節の内容に踏み込むことが難しい学級の場合は教諭が天下りの的に生徒の成果物を修正するものとする.

前節で実現した回路では, 環境音を検出し加工(増

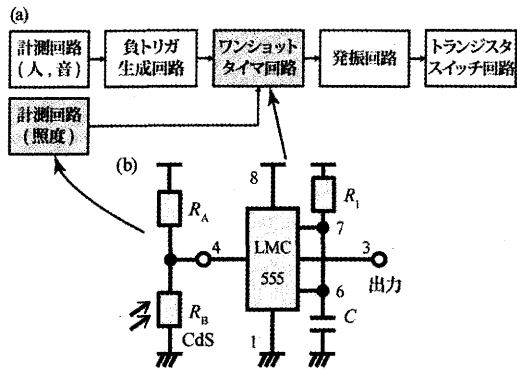


図 16: 照度センサ付きワンショットタイマ。(a) 全体の回路図。対象のタイマ回路に相当する部分を灰色で示す。(b) 対象のタイマ回路の回路図。 R_A : 47 k Ω , R_B (CdS セル 暗抵抗 0.5 M Ω)。

幅)を加えて制御へ導いており生徒のわかる学力ができる学力へつながるよう配慮がなされている。しかしながら実際の生活での応用を考えた際必ずしも最適ではない。つまり生徒の入室には対応できるが、それ以外の用途、たとえば生徒の活動状況に依存して反応する回路を製作した場合は複数の制御入力を考慮した反応を実現する必要がある。たとえば、生徒が就寝中目が覚めた際に足下を照らしてくれる実用照明としての応用である。この場合、明るいときに常に動作するような回路となっていれば適当ではないため、環境光の制御入力と人体の動作による環境音の変化の2種類の信号を同時に取得して制御を行う必要がある。同様の内容は環境音の変化だけではなく、人体の動作としても実現する必要がある。

複数の制御入力による動作を実現できる回路を図16に示す。タイマ IC の4番ピンはリセット信号が接続されるため、タイマ IC による発振回路の動作制御においても4番ピンを利用している。ワンショットタイマのこの部分に47 k Ω と0.5 M Ω の照度センサを直列接続し暗所下のみでタイマ IC が動作するよう制御できる。このような就寝中の回路の動作を目的とした場合は制御入力の増幅率は十分小さい必要がある。4.1項で得る反応分布も必ずしも部屋の全域を満たすだけでなくグループに戻った際にグループ内の生徒の利用目的に合致した反応分布を取得しておく必要がある。たとえば、本目的であれば夜間の布団を動かしたときの動作音や手をかざす動作だけに反応できる回路のための増幅率も求めておく必要がある。

5. おわりに

本研究では中学校技術・家庭科技術分野における情報に関する技術において学習されるプログラムによる計測・制御の概念を獲得する際、その概念の獲得が領域固有の知識の吸収とはならず、生活に関する課題を解決できるような知識・技能を獲得できるようなエネ

ルギー変換に関する技術の製作品教材を開発した。本教材の製作にあたってはセンサで計測した制御信号を増幅したり、単パルス化する回路を工夫し、具体的に制御に必要な信号が取得できる条件を反応分布の取得を通して学習できるため、生徒に計測回路の意味を深く考えさせることができる。

参考文献

- 1) 文部科学省: 中学校学習指導要領 (2010).
- 2) 文部科学省: 中学校学習指導要領解説 (2008).
- 3) 豊福晋平: 中学生を対象とした情報通信機器の利用状況等の調査に関する分析考察, 日本教育工学会研究報告集 (2009) 109-116.
- 4) 文部科学省: 第4期科学技術基本計画 (2011).
- 5) 技術・家庭 技術分野, 教育図書 (2012).
- 6) 新しい技術・家庭 技術分野, 東京書籍 (2012).
- 7) 技術・家庭 技術分野, 開隆堂 (2011).
- 8) 小林翔兵, 伊東明彦: 大学生の電圧概念に関する調査, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要 (2013) 209-216.
- 9) 住田正樹: 家庭教育論, 放送大学教育振興会 (2012).
- 10) 稲田結美: 理科学習に対する女子の意識と態度の改善に関する実践的研究-中学校理科「電流」単元を事例として-, 理科教育学研究, 54 (2013) 149-158.
- 11) 小林万甫子, 松岡守, 山本尚登: ファッションロボット教材の開発, 第32回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集 (2014) 45-46.
- 12) HOLTEK: HT77XXA PFM Step-up DC/DC convertor (2007).
- 13) Texus Instruments: LM2940/LM2940C 1A Low Dropout Regulator (2007).
- 14) 照明学会編: 照明工学, オーム社 (2012).