

電気実験実習のカリキュラムの開発

藪 哲郎

(奈良教育大学 技術教育講座 (電気工学))

太田正哉

(大阪府立大学 大学院工学研究科)

Development of contents for the electrical experiments and practices

Tetsuro YABU

(Department of Technology Education, Nara University of Education)

Masaya OHTA

(Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University)

要旨：電気実験実習は本学の技術教育専修の学生用に開講されている実習科目である。そのカリキュラムは藪が本学に着任した2009年に、大阪府立大学の太田の協力を得て新規に作成したものである。電気分野の実験実習は座学で得た知識を確認する内容が一般的であるが、学生は指導書の実習手順を追うことにのみ集中し、知識の確認にまで目が向かない傾向がある。そこで本研究では、一人一人がものづくりを通じて電気の知識と技能を習得するという形態の実験実習教材を開発する。本論文では開発した実験実習テーマを紹介し、2009年から2014年にかけての実施状況について報告する。その結果について考察し、技術科の教員養成のカリキュラムとして、従来のものより適切であることを示す。

キーワード：電気実験 electrical experiments
学生実習 student experiments
電気電子回路の学習 study of electric and electronic circuits

1. はじめに

中学校技術・家庭科（技術分野）は「木材加工、金属加工、機械、電気、情報、栽培」の6つの分野から構成されている。免許法は、中学校技術の免許取得の条件として、各分野において実習を含む1つ以上の科目を履修することを義務づけている。本学の技術教育専修の電気分野においては、講義科目として「電気基礎」「電気回路学」、実習科目として「電気実験実習」「電気設計製作」の計4科目を開講している。このうち「電気基礎」「電気実験実習」は必修科目である。

電気実験実習は、中学校技術科の教師が習得すべき電気分野の知識・技能を一通り身に付けることを目的としている。藪は奈良教育大学に2009年に着任し、太田の協力を得て新規にカリキュラムを作成した。そのカリキュラムを用いて現在まで毎年実施している。

表1に本学で実施されていた2007年度の電気実験実習の実験項目を示す。従来の電気関係の実験実習は、電気に関する知識を確認することを中心とする場合が多い。講義で得た知識を実際の回路で確認することは極めて重要であるが、実習内容が回路の測定や観察に

偏り気味となり、実験指導書の内容を手順通り行うのみの単調な作業となる傾向がある。また、測定や観察を主体とする実験実習は、班を作って役割分担をして実験を行うが、学生は自分が与えられた役割のみに集中しがちである。このような場合、学生は肝心の知識の確認にまで思いが至らず、教育効果が高いとは言えない。

また、測定を主体とする実験では、電子工作の技術向上は期待できない。電子工作の実習を指導することが多い中学校技術科の教員にとっては、測定器の使い方よりも、電子工作の技術向上の方が優先度が高い。

表1 2007年度の電気実験実習の内容

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. 電球抵抗の測定2. 電界と電位の測定3. L, C, Rの測定4. オシロスコープを用いた波形計測5. 小型電動機の分解組立実習6. ダイオードの特性と整流回路7. トランジスタの静特性と基本増幅回路 |
|---|

そこで本研究では、学生一人一人が参加し、楽しく電子工作をしながら、電気の知識と技能を身につける新しいカリキュラムを開発した。学生が興味を持ちやすい身近なテーマを取り入れ、測定実験だけでなく、実際に動くものを作り、その動作原理を理解する上で、電子回路に対する理解が深まる実習教材を開発した。本研究の全ての内容は筆者らが開発したものである。

本論文では、筆者らが開発および実施した電気実験実習のカリキュラムの内容を紹介し、どのような知識・技能が習得できるのかを説明する。また、2009年から2014年にかけての実施状況について報告し、その結果について考察する。なお、電気実験実習のテキストは以下のURLで公開しており、誰でもダウンロードして利用することが可能である。

<http://denkinara-edu.ac.jp/~yabu/edu/denki-jikken/>

2. カリキュラムの概要と習得できる知識・技能

電気実験実習の授業コマ数は原則15コマで、単位数は1単位である。原則として、座学の日は1コマ、実習の日は2コマ連続で実施し、合計15コマ以上の時間を確保する。

テキストは以下の単元からなる。

- (1) 家電製品の測定
- (2) 各種回路素子
- (3) ライントレースカーの製作
- (4) 三角波発生回路の製作
- (5) オシロスコープの使い方

以上の単元の実験・実習を行うことにより、以下の項目を習得する。

- (a) ワットチェッカーを使って家電製品の消費電力、電圧、電流を測定し、力率を計算することが出来る。
- (b) 「1000Wの電気ポットで水2Lを加熱すると何分で沸騰するか」などの初歩的なエネルギー計算をすることができる。
- (c) 抵抗、コンデンサ、ダイオード、トランジスタ、オペアンプなどの各種部品の形状を知っており、パーツショップで適切な部品を購入することができる。
- (d) ブレッドボードを使って回路を組むことができる。
- (e) ユニバーサル基板を使って回路を組むことができる。
- (f) テスタ、オシロスコープの初歩的な使い方を知っている。

(1)～(5)の単元と(a)～(f)の項目の対応関係を表2に示す。

表2 各単元と習得する知識・技能

単元	習得項目
(1)	(a) (b)
(2)	(c)
(3)	(d) (e)
(4)	(d) (e)
(5)	(f)

3. 各単元の詳細

本節では前節で述べた(1)～(5)の各単元における実習内容を説明する。

3.1. 家電製品の測定

本単元は以下の4つの部分に分かれる。

(a) 家庭用電源の測定

(実験内容) コンセントの電圧をテスタとオシロスコープで測定する。なお、この実験は交流100Vを扱い、危険であるため、教員が行い、生徒は結果をメモする。
(習得知識) オシロスコープの波形から振幅と周期が分かる。振幅とテスタでの測定電圧を比較することにより、実効値と振幅の関係を学習する。また、周期から関西では60Hzの交流電気が来ていることを学習する。

(b) 家電製品の消費電力の測定

(実験内容) ワットチェッカーは誰でもが容易に扱える測定器具である。これを用いて、扇風機、掃除機、電気ストーブ、電子レンジ、電気ポット、冷蔵庫、ラジカセ、パソコン、電球など各種家電製品の電圧、電流、電力を測定する。電圧、電流、電力より力率を算出する。

(習得知識) 各種家電製品のエネルギー消費のオーダーを知る。例えば、電気ストーブや電子レンジなどエネルギーを消費する機器は1000Wのオーダーの電力を消費するのに対して、ラジカセやパソコンなどの情報家電は100W以下であることを知る。

また、力率の存在を知る。交流の場合「電力＝電圧×電流×力率」である。例えば、蛍光灯の力率は0.7程度なので、蛍光灯の消費電力が20Wのとき、電流は $20\text{W} \div 100\text{V} = 0.2\text{A}$ ではなく、 $0.2\text{A} \div 0.7 = 0.29\text{A}$ 程度であることを知る。

(c) エネルギー効率の計算

(実験内容) 水1.5Lを電子レンジで9分間加熱する。加熱中ワットチェッカーで電子レンジの消費電力を測定する。加熱前後の水温の差と水の重量から、水が得たエネルギーを算出する。電子レンジが消費した電力の何パーセントが水を温めるのに使われたかを計算

し、エネルギー効率を算出する。電気ポットにおいても同様の実験をする。

(習得知識) 電力 W ($= J/s$) とエネルギー量 Wh (ワットアワー) の関係を理解する。エネルギー量の単位は Wh 以外に J (ジュール), cal (カロリー) がある。 Wh , J , cal の相互変換の方法を学習し、エネルギー計算が出来るようにする。また、電子レンジのエネルギー効率は約 50%、電気ポットのエネルギー効率は約 90% であることを知る。

(d) 電球形蛍光灯の測定

(実験内容) 照度計を用いて、点灯後の電球形蛍光灯の明るさの時間変化を測定する。

(習得知識) 電球形蛍光灯は、点灯直後は最大照度の半分程度であり、明るさが最大値に到達するまで 3～5 分程度かかる。このことより、電球形蛍光灯は階段、廊下、トイレなど、短時間しかつけない場所の照明には不適であることを知る。また、照度計を使う経験をすることで、例えば 1000 ルクスがどの程度の明るさなのかを知る。

以上の実験より、家電製品や電気エネルギーについての理解を深め、簡単なエネルギー計算ができるようにする。

テキストには実験前に解く事前問題と、実験後に解く事後問題が含まれており、より定着度が高まるよう工夫している。

3.2. 各種回路素子

本単元は座学による説明と、大阪日本橋へ行つての実習の 2 つに分かれる。

(a) 座学による説明

単元(3)(4)で扱う抵抗、コンデンサ、CdS セル、リレー、ダイオード、トランジスタ、オペアンプなどの各種部品について、部品を実際に手に取りながら、実用的な知識を身につける。

抵抗についてはカラーコードの読み方を学習し、 $1/2W$, $1/4W$ など定格電力の違いがあることを知る。

コンデンサは大きく 2 つに分けると「極性を持たないもの」と「極性を持つもの」に分類される。「極性を持たないもの」には「セラミックコンデンサ」と「フィルムコンデンサ」があり、「極性を持つもの」は「アルミ電解コンデンサ」と「タンタル電解コンデンサ」がある。特性や形の違い、極性を持つものは + 極と - 極の区別の方法などを学習する。

トランジスタは 2SC1815 などの型番がついている。これらの型番の意味や npn 形と pnp 形の違いなどについて学習する。

オペアンプは 3～4 桁の型番がついており、セカン

ドソース (互換品) が出ていることが多い。例えば 741 という型番のオペアンプはオリジナルが TI 社の $\mu A741$ 、セカンドソースとして NS 社の LM741 がある。741 という番号がついていれば、どちらを購入しても良い。

以上のように、部品を買うときの選び方、注意点、などを学習する。本カリキュラムでは以下に示すように、大阪日本橋で実際に買い物をすることで、教育効果を高める。

(b) 大阪日本橋での学外実習

学外実習として大阪日本橋の電気屋街に行き、単元(3)(4)の製作で使用するパーツを購入する。支払いは校費で行う。

京阪奈の 3 府県におけるパーツショップは、大阪が共立電子シリコンハウス、デジット、マルツパーツ、仙石電商の 4 店、京都がマルツパーツの 1 店、奈良にはない。今は RS コンポーネンツや秋月電子のようにネット通販で部品が買えるが、部品は手に取って見て買いたいことも多い。残念ながら奈良にはパーツショップが 1 軒もないので、大阪日本橋に行く。

本学外実習では日本橋における上記の 4 店舗を全てまわる。幸い、上記の 4 店舗は半径 100m 以内に全てある。また、技術科の工作においては模型用のパーツを利用することも多い。1 階から 5 階まで全て模型店であるジョーシンキッズランド (昔は上新電機の本店) にも寄り、模型用のパーツについても一通り見て回る。

日本橋にあるパーツショップの中で一番大きい店舗である共立電子シリコンハウスで生徒自身が買い物をする。これにより、パーツショップでの部品の探し方、選び方を学習する。

3.3. ライントレースカーの製作

白い模造紙の上に描いた黒いラインをトレースして進むライントレースカーを製作する。実機を図 1 に示し、回路図を図 2 に示す。このライントレースカーはセンサーが白地を感知したときに右モータが回転し、黒地を感知したときは左モータが回転する。この繰り返しにより、車はラインの境界に沿ってジグザグ運動をしながら進む。

電子工作の世界では 2000 年頃に 1 つの革命があった。ブレッドボードという便利な機材が普及し始めた。現在の電子工作では、最初にブレッドボードで回路を組んで動作確認をした後、ユニバーサル基板上に組むというのが標準的な方法である。場合によっては、ブレッドボードに差した部品の足の部分に接着剤を流し込んで固定し、それを最終的な形態とすることもある。

本単元においても、最初にブレッドボードに回路を組み、動作確認をした後、ユニバーサル基板上に組む。

本単元では理論として以下の(a)～(d)を学び、実装技

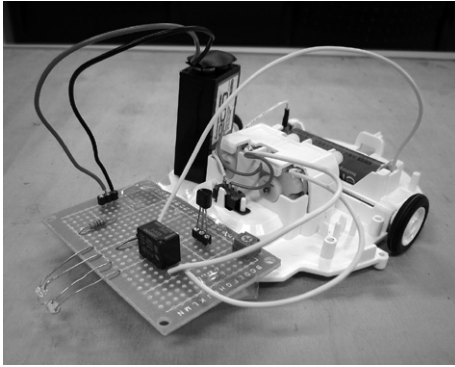


図1 ライトレースカーの外観

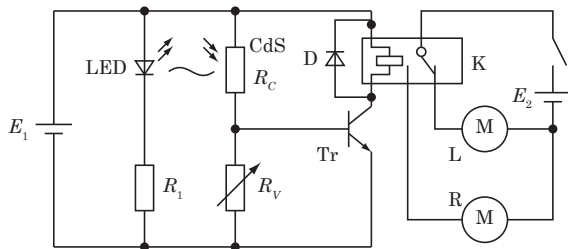


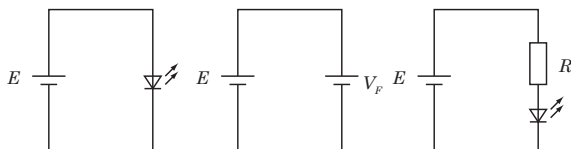
図2 ライトレースカーの回路図

術として(あ)～(え)を学ぶ。

- (a) LEDを点灯させる回路の組み方
- (b) 明るさによって抵抗が変化するCdSセルという部品の使い方
- (c) トランジスタをスイッチとして使う回路の組み方
- (d) リレーという部品の使い方

- (あ)ブレッドボードを使って回路を組む。
- (い)ユニバーサル基板の上にどのように部品を配置して配線するかを紙のレイアウト図に書く。
- (う)レイアウト図に従ってユニバーサル基板上に部品や配線を実装し、半田付けして完成させる。
- (え)市販品であるタミヤの壁づたいメカ工作セットをライトレースカーに流用する。

それぞれの項目について説明する。



(a)してはいけない (b)その等価回路 (c)正しい接続
接続

図3 LEDの点灯回路

- (a) LEDは日本人がノーベル賞を取ったこともあり、今話題の光源である。しかし、LEDを点灯させる回路は豆電球より難しい。図3(a)のようにLEDは電源

に直接接続してはいけない。その等価回路は図3(b)のようになり、LEDの順方向電圧を V_F とすると、 $E > V_F$ のとき回路をショートさせたのと同じになり、LEDは焼損する。図3(c)のように電流制限用の抵抗を直列に接続する必要がある。このLEDの基本回路と、適切な抵抗 R の値の計算法を学ぶ。

なお、LEDを点灯させるには電源電圧がLEDの順方向電圧 V_F より大きくなくてはならない。白色ダイオードの V_F は3V程度であるから、1.5Vの乾電池なら3個必要である。本実験では9V電池を用いる。

(b) CdSセルは明るさによって抵抗値が変化するので、光センサーとして大変分かりやすい部品である。カドミウムを使っているので、RoHS指令に違反することになり、使用頻度が減りつつあるが、まだ現在は流通している。抵抗値を測定し、受光量によって抵抗値が変化することを学習する。

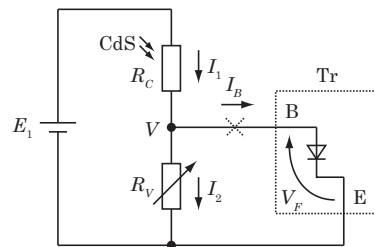


図4 ベース電流の求め方

(c) トランジスタは大変ポピュラーな部品である。これをスイッチとして使う方法を学習する。ベース電流に関する部分の等価回路を図4に示す。ベース電流 I_B は以下の方法で求まる。

まず「×印の部分で線を切断した場合」を考える。このときの V は、電源電圧 E_1 を R_C と R_V で分圧して得られる。

次にトランジスタのベースーエミッタ間はダイオードと等価である。その順方向電圧を V_F とする。 $V < V_F$ の場合、×印の部分で接続しても $I_B = 0$ である。 $V > V_F$ の場合、×印の部分で接続すると、場所 V の電圧は V_F に固定されるので、 $I_1 = (E_1 - V_F) / R_C$ 、 $I_2 = V_F / R_V$ 、 $I_B = I_1 - I_2$ である。

CdSの抵抗値 R_C は受光面への光の入射量によって決まる。 R_V の値を調節して、暗いとき $I_B = 0$ 、明るいときトランジスタがonになるために十分な I_B が流れるようにする。すなわち、CdSセルの受光量によって、トランジスタをon/offし、トランジスタがonのときリレーがonになる。この仕組みを学習する。

- (d) リレーは1次回路に電流を流す／流さない、に応じて2次回路のスイッチを切り替える素子である。スイッチの切り替えに電磁石を用いるので、1次回路は

インダクタンスを含んだ素子である。インダクタンス L における電流 i と電圧 v は、 $v = L \frac{di}{dt}$ の関係がある。トランジスタが off になり、電流が急に 0 になると、リレーの両端に一瞬高電圧が発生する。これがトランジスタにかかる、トランジスタが破壊される可能性がある。これを防止するため、環流ダイオード D を接続して、トランジスタが破壊されるのを防ぐ。環流ダイオードを含めたりレーの使い方を学ぶ。

(あ) ブレッドボード上に図5の回路を組み、CdS セルを手で押さえるとLEDが点灯し、手を離すとLEDが消灯することを確認する。これにより、ブレッドボードの使い方を学習する。

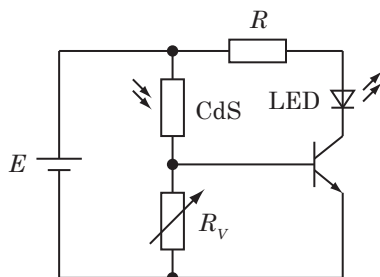


図5 ブレッドボード上に組む回路

(い) ユニバーサル基板上に回路を組む場合、最初にレイアウト図を書く。このとき、配線を楽にするために、できるだけ交差が少ないように部品を配置する必要がある。図6のようなユニバーサル基板の穴配置を書いた用紙の上に鉛筆で試行錯誤しながらレイアウト図を書く。

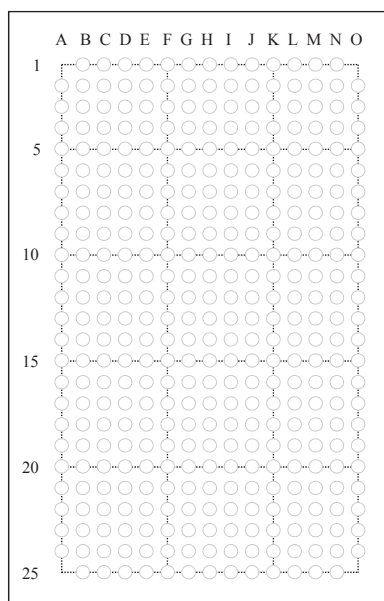


図6 レイアウト図を書くための用紙

(う) 前項で描いたレイアウト図に従って、部品を半田付けして完成させる。電源とモータはビニル電線を

用いて配線する。抵抗やリレーは半田ごてによる加熱で壊れることはまずないが、トランジスタなど半導体は壊れやすい部品である。2009年度は受講生全員が、加熱のしすぎでトランジスタを壊した。そこで、トランジスタは図7に示すように、一列ソケットに差す。

図8に作成した回路基板の表と裏を示す。

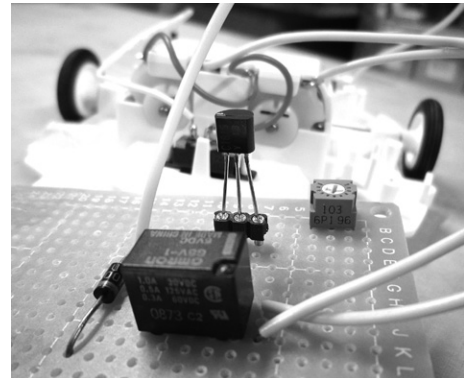
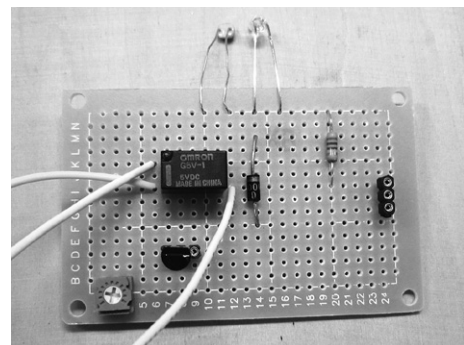
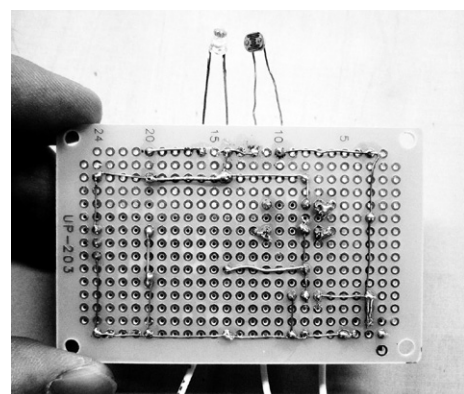


図7 トランジスタの取り付け方法



(a) 表面



(b) 裏面

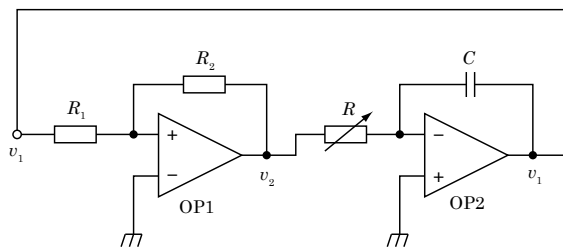
図8 ライトレースカーの基板

(え) 「壁づたいメカ工作セット⁽¹⁾」は株式会社タミヤ(模型で有名な会社である)の製品である。この製品は本来、触覚のようなスイッチの on/off に対応して左右のモータのどちらかを動作させ、壁に沿って進むものである。ライトレースカーとして多種多様な教材が販売されているが、どの製品も左右のモータを独立に前進/停止/後進させる仕組みを持っている。ライ

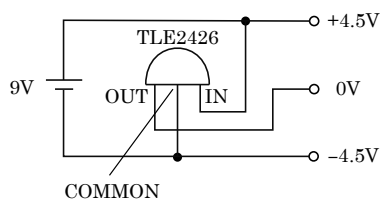
ントレースカーを自作する場合、そのような機構を持った移動体が必要である。タミヤの壁づたいメカ工作セットは最も安価（実売価格約1500円）でそれを実現する製品である。この製品のボディとモータに自作の回路を組み合わせる。このように市販の機材を流用する。学生は何でも一から自分で作るのではなく、市販品をうまく利用することを学ぶ。

3.4. 三角波発生回路の製作

三角波はPWM波形を発生させるために使うなど、様々な用途がある。本単元では三角波を発生させる回路として大変ポピュラーであるオペアンプを2個用いた回路を製作する。図9(a)(b)に回路図を示す。この回路をまずブレッドボード上に組み、次にユニバーサル基板上に組む。



(a) 信号処理部



(b) 電源部

図9 三角波発生回路の回路図

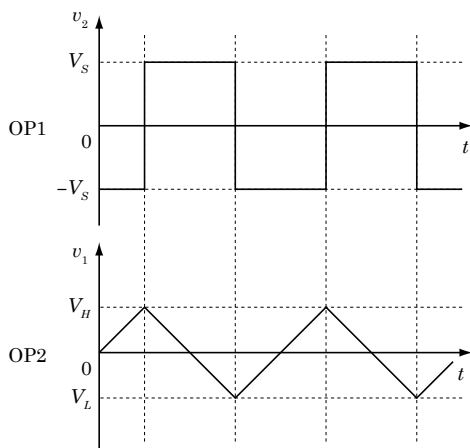


図10 三角波発生回路の波形

図9(a)の回路図中の v_1 , v_2 の波形を図10に示す。 v_1 から三角波が得られ、 v_2 から方形波が得られる。 V_S は

オペアンプが飽和したときの電圧、 V_H と V_L はそれぞれ $V_H = (R_1/R_2) \times V_S$, $V_L = -(R_1/R_2) \times V_S$ である。可変抵抗 R の値を変更すると周期が変わる。ラジカセのAux端子に接続すると、音として聞くことができる。

本単元では理論として以下の(a)を学び、実装技術として(あ)(い)を学ぶ。

(a) オペアンプの使い方

(あ) 分圧用ICの使い方とオペアンプの駆動方法

(い) 可変抵抗の取り付け方法

それぞれの項目について説明する。

(a) オペアンプはアナログ回路の設計において、最も重要で有用な素子である。オペアンプは以下の2つの使い方がある。

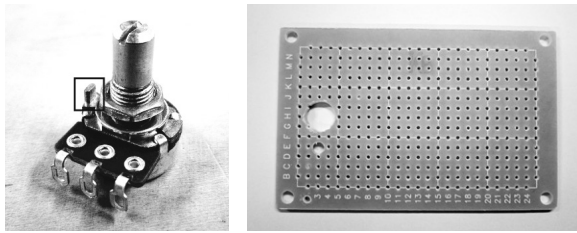
- 負帰還を利用して信号の増幅、加算、積分、微分などを行う。
- コンパレータ（電圧比較器）として用いる。

図9(a)の回路においてOP1はコンパレータとして用い、OP2は積分器として用いている。図9(a)の三角波発生回路は、オペアンプの2つの基本的な使用法を含むため、教育的効果が高い。

(あ) オペアンプを含む回路図は図9(a)のように、通常は電源関係の配線は省略される。通常はオペアンプは \pm 電源で駆動する。図9(b)に \pm 電源を得る部分の回路を示す。 $+4.5V$ の端子と $-4.5V$ の端子をオペアンプの電源端子に接続する。このようなオペアンプに対する電源の与え方を学ぶ。

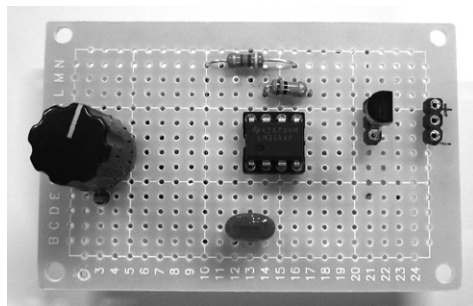
オペアンプは通常は3端子を持つ \pm 電源で駆動する。多出力の直流安定化電源は10万円程度と高価である。本実験では安価に \pm 電源を実現する方法として、充電式の9V電池と分圧用ICであるTL2426を用いて図9(b)のように $\pm 4.5V$ の両電源を実現する。費用は1000円弱である。

(い) 可変抵抗はアンプのボリュームなど電子工作でよく使われる部品である。図11(a)の四角で囲んだ部分が示すように、突起が1つある。可変抵抗を使う場合、図11(b)のように回転軸用の穴と、突起用の穴をあける。突起用の穴に可変抵抗の突起を差し込むことで、可変抵抗本体が回転するのを防ぐ。通常の電子工作では、ケースに穴を開けて可変抵抗を固定するが、ここではケースの加工は省略して、ユニバーサル基板上に直接穴を開けて、可変抵抗を固定する。このような可変抵抗の工作法を学ぶ。

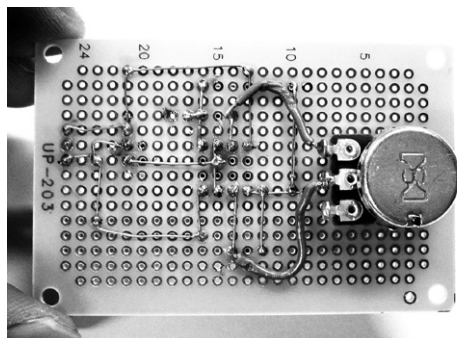


(a) 可変抵抗 (b) 取り付け用の穴
図11 可変抵抗と取り付け用の穴

図12に作成した基板の表裏を示す。



(a) 表面



(b) 裏面

図12 三角波発生回路の基板

「ライントレースカー」と「三角波発生回路」の2つの回路で電子工作で使用する主要な部品はほぼ全てカバーする。また、トランジスタのスイッチング素子としての利用法をはじめとして重要な回路パターンが多数含まれている。最小限の回路で最大限の知識・技能が身につくよう構成されている。

3.5. オシロスコープの使い方

電子工作をする場合、テストと並んでオシロスコープは不可欠な測定器である。本単位では製作した三角波発生回路の出力波形を描き、テキスト末尾に記載されている問いに答えることで、オシロスコープの基本的な使い方を身につける。既製品の発振器の波形を観測するのではなく、自分が作製した回路を測定することで、学生のモチベーションを高める。また、テキストは、単に「測定せよ」では学生が戸惑う可能性があ

るので、小問に順番に答えるという形式により、ステップを踏んでオシロスコープの使い方が身につくよう配慮している。

4. 成績の評価方法

成績は「レポート」と「製作物の出来」によって評価する。

「家電製品の測定」「ライントレースカーの製作」「三角波発生回路の製作」「オシロスコープ」の4つの単位においてレポートを課す。

「家電製品の測定」においては、測定値の記録、測定値に基づく理論計算などをレポートとして提出させる。工学部で課される一般的な実験レポートに準ずるものである。ただし、以下の工夫をしている。一般的な工学系の実験レポートでは「考察」を書くことを課す。しかし、測定を主体とした学生実験は、研究とは異なり、既知の理論を確認するものであるから、「新たな発見をした」というタイプの考察を書くことは原理的に困難である。学生は「何を考察して良いのか分からない」と戸惑うことが多い。本単位では、考察を書くことは要求せず、事前問題、テキスト中に記載された指示に従った計算、事後問題を解くことにより、自然に実験結果を考察できるよう配慮している。

「ライントレースカーの製作」と「三角波発生回路の製作」においては、「このレポートを見れば、独力で製作することができる」という製作マニュアルを作成させる。電子工作雑誌の製作記事を1本執筆するのと同様の作業を課す。図や写真を豊富に採り入れて、できるだけ分かりやすく記述し、実際に作成するときのノウハウ、注意点なども記述させる。

「オシロスコープ」については、テキストの末尾に記述している三角波発生回路を測定する課題に対する答えをレポートとして提出させる。

「ライントレースカーの製作」と「三角波発生回路の製作」は製作物がある。製作した回路について「作成に要した時間（動作しなかったときのトラブルシューティングの時間を含む）」「回路の美しさ」の2つの項目について評価を行う。

各単元の配点は年度によって若干異なるが、おおむね家電製品30%、ライントレースカー30%（レポート20%、製作した回路10%）、三角波発生回路30%（レポート20%、製作した回路10%）、オシロスコープ10%である。

5. 実施状況と考察

5.1. 年度による移り変わり

2009年に薮が奈良教育大学に着任してから計5回、本カリキュラムによる電気実験実習を実施している。

テキストについては、分かりにくい部分を書き直すなど、毎年、細かい改訂を行っているが、全体の内容や単元の配列は2009年度のときから変わっていない。ただし、2009年度のみ各種回路素子の座学部分は行わなかった。

各年度でどの単元に何コマ費やしたかを表3に示す。年度によって、少しばらつきはあるが、おおむね15コマでこのカリキュラムを消化している。

表3 各年度の実施状況

	2009	2010	2011	2012	2014
オリエンテーション	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
家電製品の実験	2.5	2.5	2.5	2.5	2
各種回路素子		2	1	1	1
日本橋見学	1	1	1	1	1
ライトレースカー	理論説明	1	1	1	1
	実習・製作	4	5	4	7
三角波発生回路	理論説明	1	1	1	1
	実習・製作	2	2	2	3
オシロスコープ	2	1	1	1	1
その他	2		1		1
合計コマ数	16	16	15	18	16

表3の中で「その他」と書かれた項目の内容について説明する。2009年度はアナログテスタのキットを製作する実習に2コマ使った。しかし、完成したアナログテスタはテスト棒を取り替えることができないという使い勝手が悪い製品であった。キットの価格は4000円程度するので、同じ4000円を支出するなら、テスト棒が交換可能な市販製品を購入した方が良いと判断し、2010年度以降は廃止した。2011年度はデモを交えてPICマイコンの使い方、プログラミング方法について講義を行った。2014年度は中学校技術科用の市販の電子工作教材をいくつか取り上げ、実物と回路図を示し、その動作原理を講義した。

2013年度に電気実験実習が実施されていないのは以下の理由による。2012年度の改組により、技術教育専修のカリキュラムが改訂され、電気系科目の配当時期が表4のように変更された。オペアンプ、トランジスタ、ダイオードは「電気回路学」で学習する。座学で学習した後、実習するという形態が望ましいので、2012年入学者以降は、電気実験実習は3年生前期に配当することにした。

表4 技術教育専修の電気系科目の配当年次

	2011 年入学者 以前	2012 年入学者 以降
2 年生 前期	電気基礎	電気基礎
2 年生 後期	電気実験実習	電気回路学
3 年生 前期	電気回路学 電気設計製作	電気実験実習
3 年生 後期		電気設計製作

表5 年度ごとの受講者数とアンケートの結果

年度	2009	2010	2011	2012	2014
受講者数	5	4	6	5	6
回答者数	5	3	6	5	5
どの程度満足したか？	3.6 (3.34)	3.67 (3.30)	3.33 (3.29)	3.80 (3.32)	3.40 (3.33)
新しい知識や考え方が得られたか？	3.6 (3.4)	3.67 (3.40)	3.67 (3.35)	3.60 (3.38)	3.40 (3.37)

表5に各年度の受講者数、教務アンケートの結果を示す。アンケートは4段階評価で、括弧内の数値は本学の全教科の平均値である。

受講生は、2010年度と2014年度に科目履修生が各1名含まれているが、それ以外は技術教育専修の学生である。アンケートの結果については後ほど考察する。

5.2. 各テーマにおける受講生の様子

家電製品の測定については、身近な電気製品の電力を題材にしたテーマであり、受講生は興味を持って取り組んだ様子であった。特に電気ポットの効率が約90%であるのに対して電子レンジの効率が約50%にとどまることは、受講生に深く印象付けられた様子であった。

各種回路素子の実習では日本橋に行って部品を購入した。部品を購入するときは、様々な選択肢の中から適切なものを選択せねばならない。例えば抵抗を購入する場合、許容電力（1/2W, 1/4W, 1/8W など）と精度（通常のカーボン抵抗か高精度の金属皮膜抵抗か）を考慮して選ぶ必要がある。受講生はどの部品においても多くの選択肢があることに驚き、迷うことになった。受講生は、分からないときは店員や教員の助言を受けながら選定をすすめた。

ライトレースカーの製作においては、ライトレースカーという実際に動くものを作る実習であることから、受講生のモチベーションは高かった。最初に「これを作ってもらいます」と言って完成品が動作する様子を見せると、受講生は強い興味を示した。そして電子工作は楽しいらしく、どの受講生も半田付けを伴う回路製作に熱中した。そしてトラブルシューティング作業の後に、完成した自分のライトレースカーが、実際に動作してコースを一周したときは、どの受講生も大変嬉しそうであった。

一方、紙上の回路図を実際の回路とするために、ユニバーサル基板上のレイアウト図を考える作業は、どの受講生も非常に難しく感じており、四苦八苦していた。1時間以上の時間が必要であった。

三角波発生回路の製作においては、回路図からレイアウト図を書く作業、回路の製作作業ともに、2回目の経験であるため、ライトレースカーのときに比べるとスムーズに進んだ。なお、この単位では可変抵抗を取り付ける穴を2つあけるために、ボール盤を使う

作業が必要である。受講生は技術教育専修の学生であり、既に木工の実習などでボール盤の使い方に慣れていたため、使い方を指導する必要はなかった。

ラントレースカーと三角波発生回路はユニバーサル基板上に、自分で配線をして回路を組む。配線忘れ、配線ミス、半田付け不良など、1箇所でも不良箇所があると、電子回路は動かないので、回路が一発で動くことは少ない。不良箇所を特定するトラブルシューティング作業が不可欠である。まず配線が間違っていないかを目視確認し、それで誤りが発見できない場合は、テスタ、オシロスコープを使って、回路をチェックする。技術科の学生にとっては慣れない作業であるため、ほとんどの場合は教員が全面的に協力する必要があった。

5.3. 考察

最初に前節の受講生の様子から得られた知見について述べる。

家電製品の測定においては、身近な家電製品の消費電力を測定することで、電力を実感させることができたと考えられる。またエネルギー効率を計算することにより、教科書にある数式が机上の理論ではなく、生活に役立つものであることを発見するきっかけを作った。

電子部品の購入体験では、単なる記号程度にしか認識していなかった電子部品は、実際には形、色、大きさ、特性、価格などさまざまな属性があることを実感を持って知り、その選定には教科書で学んだ知識では済まないことを体験を通じて自然と理解し、実装に関する知識に受講生自らが目を向けざるを得ない状況を作り出すことができた。

ラントレースカーや三角波発生回路の実習では、最初に完成品を見せることで強いモチベーションを持たせることができた。また一人一人が取り組むというスタイルの教材であるため、受講生は熱心に取り組んだ。回路製作においては、「抽象的な記号類と線で描かれた回路図」を「大きさのある部品を導線で結んだ実体」に変換する必要がある。この2つは見かけは非常に異なったものである。回路図は部品のどこどこを接続すればよいかを表している事に気づかせ、回路図に対する理解を自然に深めることができたと考えられる。また、教科書にある回路図は実物の概念図に過ぎず、そこには大量の情報が省略されていること（著者らが知る限りどの教科書にもこの点を指摘、指導する記述がない）を知るきっかけを与えた。さらに、動かない回路を動作させるにはテスタやオシロスコープなどの測定器が不可欠であり、測定器がどんなに役立つものであるかを身をもって理解させることができたと考えられる。

次に従来の実験実習教材と本教材を比較する。

従来の電気分野の実験実習は知識を確認するテーマが多い。これらの実習では座学で学習した理論や式の

解説を読み、実験指導書にある手順にそって回路各所の電圧や電流を測定する。学生には自ら理論を確認したいというモチベーションはなく、指導書にもそれを持たせようとする工夫はない。指導書作成者自身には確認したいという欲求があると思われるが、学生も同じ感覚であるとの楽観的な誤解があり、学生の目線に立てていない。実験に使用する回路は事前に組み立てられたものを使用し、学生自身が作る必要はない。実験では指定の箇所に測定器のプロブをあて、測定値を読み取り記録する作業を繰り返す。実験は数人の班で行い、各自は実験パラメータを変更する係、測定する係、測定値を記録する係、それをグラフ化して理論グラフと異なる値を検知したら測定者に知らせる係など、一人一人が個別の作業を行うため、実験に主体的に取り組むのが困難である。学生は自分が担当する作業に集中し、本来の目的である知識の確認にまで目が向かないことが多い。また、実験の目標は理論値と同じ測定値が得られることであり、新しい発見や驚きがない。

それに対して、本教材は一人一人が楽しくものづくりを行うことで、主体性と強いモチベーションを持たせている。製作の過程で、座学で学習した知識に自然と目が向き、同時に実装に関する知識と技能を身に付けることができる。また与えられた回路を指示通り測定するのではなく、自分が作った回路を動かすために測定器を使うことで、測定器の必要性和使用方法を理解させる。このように本教材は従来の教材に比べ、受講生がより主体的に実習に取り組めるよう工夫されていると言える。

また技術科教員養成においては、最終的に彼らの授業を受講する中学生に対する影響を考慮する必要がある。「楽しい」や「面白い」という感覚を教員が身につけ、アピールできなければ、その授業を受ける生徒達のモチベーションは高まらない。その観点からも楽しくものづくりを行う本教材は従来の教材よりも教員養成課程にある学生に適している。

最後に表5の教務アンケートの結果と成績について考察する。このアンケートによると「授業に対する満足度」と「新しい知識が得られたか」において、年度によって多少のばらつきがあるが、全教科の平均値と同等かそれ以上の値が得られている。受講生が少ないため1人の回答者の評価が1ランク異なっただけで0.2程度変動するので、年度ごとのばらつきは有意な差とは言えず、毎年安定して比較的高い評価が得られていると考えられる。

成績に関しては、2014年度のみ放棄した学生が1名いたが、それ以外の受講生は、全員がC以上（70点以上）の成績をとっており、著しく達成度が低い受講生はいなかった。

アンケートの結果と成績は、本実習カリキュラムが

意図する教育内容を受講生はおおむね習得していることを示している。

以上より、本研究で提案したカリキュラムは、従来のものより適切であり、実施においても大きな問題はないことが分かった。

アンケートについては、個別の単元に対する詳細なアンケートは実施しなかったため、開発したテーマ毎の定量的な効果は測定できていない。また、従来スタイルの実験実習は藪が着任する前に行われていたため、それとの比較もできなかった。

6. おわりに

本研究では、受講生一人一人が主体的に参加し、ものづくりを通して電気の知識と技能を習得できる、独自の実験実習教材を開発した。開発および実施した電気実験実習のカリキュラムの内容を紹介し、どのような知識・技能が習得できるのかを説明した。2009年から2014年にかけての実施状況について報告し、考察を加えた。そして、従来型の実験実習より本カリキュラムの方が適切であることを示した。アンケートの結果と成績より本カリキュラムの教育内容を受講生はおおむね習得していることを示した。

今後は単元ごとの定着度を測定するアンケートを行い、期待した効果が得られていない部分については、改訂を行いたい。

このカリキュラムに追加したいものとしては「回路シミュレータの使い方の実習」と「マイコンの実習」がある。いずれの項目も約3コマ程度の時間が必要であるので、計15コマで実施している現在のカリキュラムに加えるのは難しい。

そこで、回路シミュレータについては、表4で示した3年生後期の電気設計製作で実施している。マイコンについては、今後の課題である。

今後数年間はこのカリキュラムを継続する予定である。

参考文献

- (1) 壁づたいメカ基本工作セット <http://www.tamiya.com/japan/products/70195ladybug/>
(2014.11.12 アクセス)