

オンラインによる電気実験実習の実施

藪哲郎

(奈良教育大学 技術教育講座 (電気))

Online Electrical Experiment and Training Classes

Tetsuro YABU

(Department of Technology, Nara University of Education)

要旨:電気実験実習は技術教育専修の3年生の必修科目である。例年は回路シミュレータの実習と電子工作の実習を行っていた。回路シミュレータの実習はWindowsパソコン上で回路シミュレート用ソフトを動作させ、シミュレーションを行う授業であり、オンラインでも可能である。電子工作は、ブレッドボード上に回路を作成したり、ユニバーサル基板上にハンダ付けをして電子回路を作成する。これをオンラインで行うのは困難であると思われたが、教材を新規に開発し、工夫することで、オンラインによる電子工作の授業を実施することができた。受講生7名全員が、自宅や下宿でハンダ付けをして電子回路を作成し、動作させることができた。本論文ではオンラインによる電子工作の授業方法について述べる。

キーワード: オンライン授業 Online lessons

電子工作 Electronic practice

電気実験実習 Electrical experiment and training

1. はじめに

筆者は技術教育専修の学生が3年生前期に受講する「電気実験実習」という必修科目を担当している。中学校技術科の教員となるための電子工作の技術を身につける授業である。2019年度まではおおむね以下の内容で実施していた(藪ら2015)。

- (a) 回路シミュレータの実習 (3コマ)
- (b) 大阪日本橋へ部品を買いに行く (2コマ)
- (c) ライトレースカーの製作 (5コマ)
- (d) 三角波発生回路の製作 (5コマ)

(a) は回路シミュレータを操作して、電気回路学(2年生後期配当)などの授業で学習した回路をシミュレートする。情報館の演習室で実施する。

(b) は(c)(d)を製作するための部品を購入するために、学生を引率して大阪日本橋のパーツショップへ行き、学生が自ら電子部品を購入する。

(c)(d)は電子工作である。どちらの単元も、まずブレッドボード上に作成し、次にユニバーサル基板上にハンダ付けして製作する。

今年度は新型コロナウイルスの感染拡大のため、奈良教育大学は5月の連休までは休講であり、連休明けからはオンライン授業となった。また、7月に入って感染が再拡大したため、可能な限り対面授業を避けるように

という指示が出た。ゆえに(b)は不可能であり、(c)(d)はそのままで実施できず、内容を変更する必要がある。

内容の検討、準備に時間を要したため、本年度の電気実験実習は5/25にスタートした。(a)は内容を増やして例年と同様に実施、(b)は中止、(c)(d)はテーマを変えてオンラインで実施した。

当初、オンラインで電子工作を指導することは不可能だと考えていたが、テーマと内容、実施方法を工夫することで、オンラインでの電子工作は可能であった。本稿ではその内容と実施状況を示す。オンラインの講義システムとしてはMicrosoft Teamsを用いた。

2. 例年のテーマと問題点

(a)の回路シミュレータの実習はTina-TIというフリーの回路シミュレータを用い、例年は情報館の演習室で実施していた。オンラインで行う場合、学生にWindowsパソコンを用意してもらい、Tina-TIをインストールしてもらう必要がある。この問題をクリアできたので、オンラインで実施することができた。

オンラインでの回路シミュレータの指導は初めてであるが、「情報技術演習」という授業で、オンラインによるプログラミングの指導を5月上旬より行っていた。その経験より、画面共有を使えばオンラインによる回路シミュレータの指導は可能との見通しがあった。

例年は練習用回路6個、課題用回路4個の計10個の回路を学生はシミュレータで解析していた。本年度は、

授業回数を増やし（3コマ→5コマ）、回路の個数を増やして、より丁寧に指導した。学生は練習用回路10個、課題用回路6個の計16個を解析した。

例年は「(c) ライントレースカー」と「(d) 三角波発生回路」の2個の電子工作を行っていた。以下の問題点があり、どちらもオンラインでの実施は困難である。

ライントレースカー

- ・走行用コースを学生各自が自宅に用意するのは困難
- ・トラブルシューティングがしづらい電子回路である

三角波発生回路

- ・オシロスコープがないと動作確認もトラブルシューティングもできない

そこで以下の2テーマを新規に作成した。

- (1) Arduino を用いたマイコンの実習
- (2) 自動照明回路の電子工作

新たに開発した「Arduino を用いたマイコンの実習」「自動照明」の教材について、その内容、実施状況について、以下の各章で説明する。

3. Arduino を用いたマイコンの実習

3.1. テーマ選定の理由

かつて電子工作の定番は「ラジオの製作」「アンプの製作」などアナログ回路の製作であり、ハンダ付けて作るものであった。現在の電子工作の定番は「マイコン」あるいは「シングルボードコンピュータ」に「センサ」と「アクチュエータ」を接続した形態である。例えば、室温が上がると自動的に冷房が on になる装置は「温度センサ回路+マイコン+赤外線送信回路」という構成になる。これをフィジカルコンピューティングと呼ぶ。そこで、現在の電子工作の主流であるフィジカルコンピューティングを新規に導入した。また、現在の電子工作は、ハンダ付けではなくブレッドボードで作ることも多い。この単元はブレッドボードを使って実施する。

3.2. コンピュータの選定

フィジカルコンピューティング用のコンピュータとして、次の3つがポピュラーである。

- (1) Arduino (アルデューイノ)
- (2) Raspberry Pi (ラズベリー パイ)
- (3) micro:bit (マイクロビット)

(2) の Raspberry Pi を使うには、Raspbian という OS をインストールする必要がある。Raspbian は Linux の

一種であり、使いこなすための難易度が非常に高い。また、Raspberry Pi は単独では使えず（いったん設定が完了した後は、単独使用も可能）、最低限「ディスプレイ」「キーボード」「マウス」を別途用意して接続する必要がある。学生の人数分用意するのは困難なので、候補から外した。

micro:bit はプログラムをブラウザ上で開発するため、開発環境をインストールする必要がないという長所がある。しかし、プログラミング環境に問題があるため、候補から外した。プログラミング環境は「ブロックプログラミング」と「micro python」の2種類がある。ブロックプログラミングは、簡単なプログラムを組むにはよいが、実用的なプログラムを組むには不向きである。micro python はインタープリタ環境であるため、プログラムを実行してから文法エラーが発覚する。そして、エラーをプログラマーに伝えるためのインターフェースが、25個のLEDしかない。LEDをスクロールするエラー表示は非常に見づらく、実用的とは言い難い。

Arduino は「Arduino 言語」という C 言語風の言語を使って開発する。文法エラーはコンパイル時に発覚して、パソコンのディスプレイに表示されるので、エラーの訂正が容易である。また、micro:bit より Arduino の方が圧倒的にポピュラーである。そこで、今回は Arduino を採用した。

3.3. キットの選定

Arduino を使ってフィジカルコンピューティングの学習をするには、以下のものが必要である。

- ・ Arduino
- ・ブレッドボードとブレッドボードワイヤー
- ・各種センサと各種アクチュエータと各種抵抗

上記の部品を個別に揃えると5000円は軽く超えるが、Amazon を見ると「Arduino, ブレッドボード, ありとあらゆるセンサやモータなどを入れたキット」が3000円~4000円程度で販売されている。純正品の Arduino 単体の価格が3000円弱であるから、個別に揃えるのに比べると、キットを買う方が圧倒的にコストパフォーマンスが高い。

3種類のキットを購入し、内容を比較したところ、S社のキットが以下の点で優れていたため、これを受講生の人数分購入した。

- ・部品ケースが大きく余裕がある
- ・付属テキストがわかりやすい

S社のキットを図1に示す。キットにはPDFファイルのテキストが付属している。第1課~第28課まであり、28個のサンプル回路が収録されている。1課ごとに、回路図、実体配線図、プログラムなどが示され、5ページ程度の説明がついている。このキットには多種多様なセンサやアクチュエータが入っているので、オリジナル

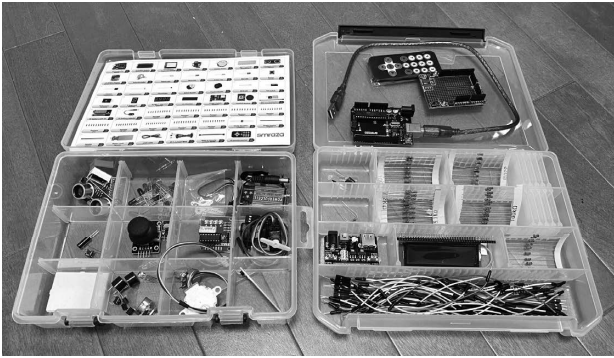


図1 S社のキット（ただし右側の部品ケースは独自に購入）

の学習用回路を開発することも可能である。今回は付属テキストから以下の3つの回路を選択した。

第1課 LEDの点滅

第5課 スイッチとLED

第18課 ボリュームとサーボモータ

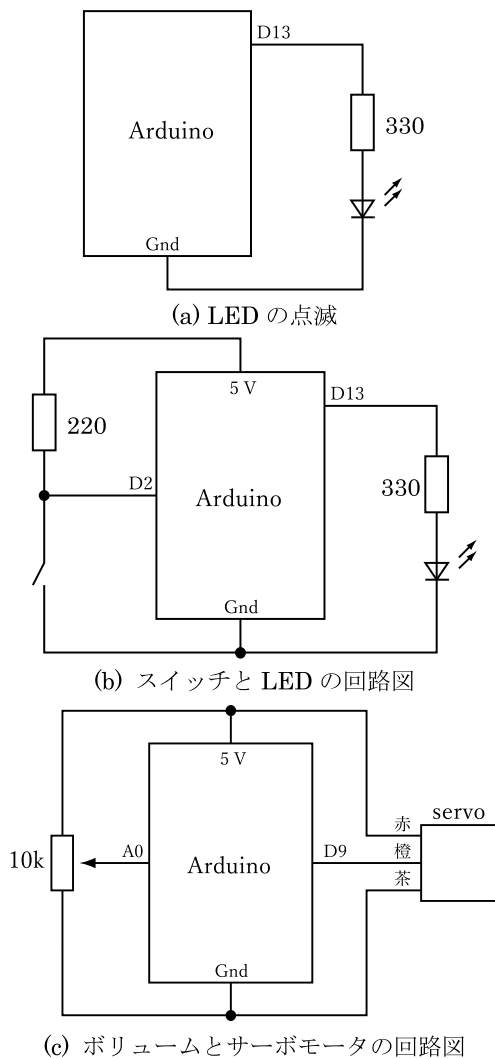


図2 Arduinoの実習で学習する3つの回路

それぞれの回路図を図2(a)～(c)に示す。この3つを選択することで、フィジカルコンピューティングの基本を全て習得することができる。3つの単元の内容と習得できる項目を以下に示す。

- LEDの点滅……フィジカルコンピューティングに入門するとき、初めて組む回路は「Lチカ（LEDをチカチカさせる）」と決まっている。デジタル出力をon/offする方法を学ぶ。
- スイッチとLED……スイッチを押すとLEDが消灯し、離すと点灯する回路である。「入力に応じて出力を変化させる」という制御システムの基本とデジタル入力の方法を学ぶ。
- ボリュームとサーボモータ……ボリュームを回すと、その角度に対応してサーボモータが回転する回路である。つまみを回すと0V～5Vのアナログ電圧が発生する。それをArduinoのアナログ入力で読み取る。サーボモータは、「電源」と「パルス波を入力する」の2つの入力端子を持ち、パルス波のon時間（ms）で角度を指定する。通常は0度～180度である。アナログ入力とPWM出力（疑似アナログ出力）の方法を学ぶ。

以上で、「デジタル入力」「デジタル出力」「アナログ入力」「PWM出力（疑似アナログ出力）」の方法を学ぶことができ、フィジカルコンピューティングの基礎が全て身につく。

奈良教育大学では教務課に依頼すると、教材を学生の自宅に送付することができる。各学生の自宅に以下のものを郵送する。

- ・ S社のキット
- ・ ラジオペンチ（Engineer PR-46）
- ・ テスタ（AstroAI MT132A）
- ・ パーツケース（Engineer KP-03）

ラジオペンチは、部品の足が曲がったときに、まっすぐに直すのに使う。テスタは電子工作に必須の測定器である。「電圧を測る」「抵抗を測る」のに使用する。電気は目に見えないため、回路が思い通りに動作しないとき、テスタが必要である。

amazonでテスタを探したところ、AstroAI MT132Aという機種は3000円弱にもかかわらず、上記の基本測定機能に加えて、コンデンサの容量とダイオードの順方向電圧も測定することができる。学生の人数分だけ購入した。

テスタにデフォルトで付属しているプローブは、先端に導体棒が付いている。ブレッドボードで使うにはこれは不便である。片方が「バナナプラグ」、もう片方が「みの虫クリップ」のケーブルを自作し、それも併せて学生の自宅へ送付した。テスタに自作のプローブをつけた状態を図3に示す。ブレッドボードワイヤーを掴むには、みの虫クリップが必要である。

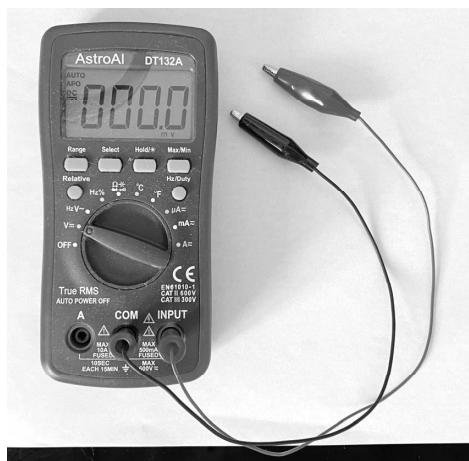


図3 自作のプロブを接続したテスタ

パーツケースは、S社のキットに付属している部品ケースでは全ての部品を収納するには不十分なので、入りきらない部品を収納するのに用いる。

3.4. 授業実施に必要な事前準備

本テーマを実施するには、学生のパソコンに以下のものをインストールすることが必要である。これに1コマ使用する。

- ・ Arduino UNO 用ドライバ
- ・ Arduino IDE

3.5. 提出物

学生は3個の課題を実行した結果の動画をスマホで撮影し、Teamsの課題提出サイトにアップロードする。また、そのときに使用したプログラムをWordに貼り付けてアップロードする。

4. 自動照明

4.1. 回路の説明

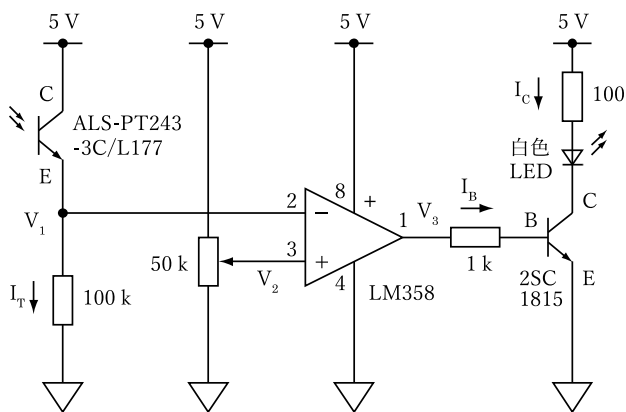
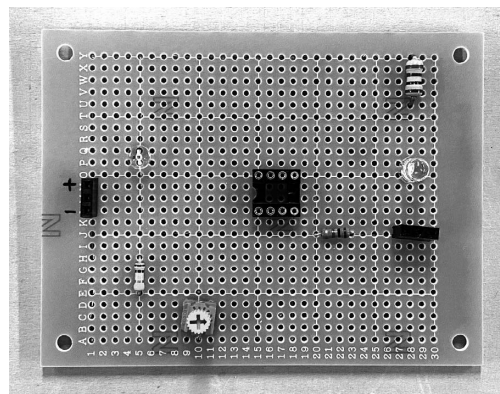
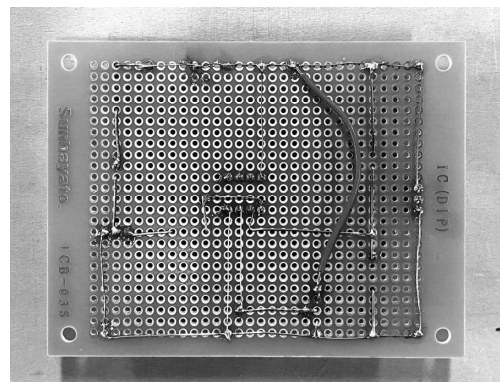


図4 自動照明の回路図



(a) 表面 (オペアンプとトランジスタは未装着)



(b) 裏面

図5 自動照明の試作品

明るいときにLEDが消灯し、暗くなるとLEDが点灯する回路である。回路図を図4に示し、試作した回路を図5(a)(b)に示す。この回路の特長は、以下の通りである。

- (1) 動作が明快であり、コンデンサ以外の主要な電子部品を網羅している。
- (2) トラブルシューティングが容易である。

使用部品を以下に示す。

- ・ オペアンプ (LM358)
- ・ トランジスタ (2SC1815)
- ・ 抵抗 (100, 1k, 50k, 100k)
- ・ 半固定抵抗 (50k)
- ・ フォトトランジスタ (ALS-PT243)
- ・ LED (白色)
- ・ ソケット (8pin × 1, 3pin × 2)

動作原理は以下の通りである。フォトトランジスタは明るさによって電流が決まる電流源である。 $V_1 = I_T \times 100\text{ k}$ なので、電圧 V_1 は明るいとき高くなり、暗いとき低くなる。フォトトランジスタとしてALS-PT243を使い、予備実験を行ったところ、抵抗の値として100kΩを使うと、明るいとき3V以上、暗いとき1V以下になった。

V_2 は半固定抵抗を調整することにより、0V~5Vの値に設定することができる。半固定抵抗は通常、調整

にマイナスドライバが必要だが、指で回転可能なものを選定することにより、マイナスドライバを不要とした。

テストで「明るいとき」と「暗いとき」の電圧 V_1 を測定し、 V_2 をその間の値に設定する。

前の課で用いた Arduino は常時 5 V を出力する端子があるので、直流 5 V 電源として Arduino を用いる。 V_1 の最小値は 0 V なので、オペアンプとして単電源オペアンプ（入力として 0 V を許容するオペアンプ）を用いる必要がある。安価な LM358（100 円程度）を採用した。オペアンプはコンパレータとして使用する。明るいとき $V_1 > V_2$ となり、出力 V_3 は 0 V となる。暗いとき $V_1 < V_2$ となり、出力 V_3 は 3.5 V 程度になる。電源電圧は 5 V であるが、high のときの出力は 5 V ではなく、3.5 V 程度である。

トランジスタはスイッチとして使用する。 $V_3 = 3.5$ V のとき、C-E 間は導通状態となり、 $V_3 = 0$ V のとき、C-E 間は絶縁状態となる。

LED（白色）の順方向電圧は 3 V 程度である。電流は LED の定格である 20 mA を流すと仮定すると、LED の電流制限用抵抗の値は $(5\text{ V} - 3\text{ V})/20\text{ mA} = 100\ \Omega$ である。

LED はここでは 1 個であるが、並列接続して複数個に増やすことが可能である。ただし、トランジスタ 2SC1815 は最大コレクタ電流が 150 mA なので、コレクタ電流が 150 mA を超えるときは、最大コレクタ電流がより大きなトランジスタを用いる必要がある。

電源端子、オペアンプ、トランジスタはソケットを用いて接続する。このソケットを用いることが本単元の一番重要な工夫である。以下に示す非常に大きなメリットがある。

- (1) オペアンプ、トランジスタをハンダごてで熱しすぎて壊すリスクがない。
- (2) オペアンプやトランジスタを装着しない状態で、ソケットにブレッドボードワイヤーを差し、テストで電圧や抵抗をチェックすることで、配線ミスを発見することができる。すなわち、トラブルシューティングが非常に容易になる。

図 4 の回路を、まずブレッドボード上に作成し、次にハンダ付けをして作成する。

4.2. 学生に郵送する機材

学生に郵送した機材一式を以下に示す（部品を除く）。

- ・ハンダごて
- ・ハンダ
- ・ニッパー
- ・マイナスドライバ
- ・工作マット
- ・こて台
- ・ハンダ吸い取り線（幅 10 mm）
- ・錫メッキ線（ 0.38 mm^2 ）
- ・洗濯ばさみ
- ・保護めがね

マイナスドライバはハンダ付けのときに部品の足や錫

メッキ線を押さえつけるために使用する。このテクニックは大阪市大の辻岡先生の記事から学んだ（辻岡 2014）。

洗濯ばさみは錫メッキ線をユニバーサル基板に固定するために用いる。筆者オリジナルのアイデアである。

工作マットを除いたものを図 6 に示す。これらの機材を「100 円ショップで購入した 300 円の箱」に入れて郵送する。



(a) 個々の機材



(b) 箱に入れた状態

図 6 学生に郵送した機材（工作マットを除く）

本実習を実施するには、学生が工作している手元を教員が確認できるようにする必要がある。学生はノートパソコンの画面に教師の指導画面を映し、自分の手元はスマホで撮影する。

Teams は 1 人が複数のデバイスでログインすることができる。自分の ID で 2 つのデバイスでログインしているとき、1 つのデバイスのカメラを off、もう一つを on にすると、on にしたカメラの映像が送信される。スマホのカメラを on にする。

自分の手元をスマホで撮影するには、スマホを固定する道具が必要である。机の縁を利用して固定するスタン

ドは 200 円程度で 100 円ショップに売っており、台座付きのスタンドは 1000 円弱で amazon で購入可能である。しかし、受講生は技術科の学生である。工夫して作れる能力があると判断し、各自自作してもらうことにした。製作例として、図 7 に示すように、段ボールとセロテープで作成した見本を学生に示し、各自で用意してもらった。図 7 の簡易スタンドは、切り込みを入れてスマホを固定し、四角柱自体は床にセロテープで貼り付けている。



図 7 スマホスタンドの見本

ハンダ付け作業に必要なものとして、セロテープは各自で用意してもらう。ソケットなどを仮止めするのに用いる。

4.3. 教員の装備

Arduino 実習と自動照明において、教師の基板やブレッドボードを学生に提示するために書画カメラを使用する。書画カメラにアプリが付属しており、そのアプリを起動すると、書画カメラの映像をウィンドウ内に表示する。そのウィンドウをパソコンのメイン画面に表示し、画面全体を共有する。これにより、1920 × 1080 の高解像度の画像を送信する。パソコンにはディスプレイを 2 個接続する。サブ画面に Teams のウィンドウを写し、学生の指導に用いる。図 8 に教師の設備を示す。

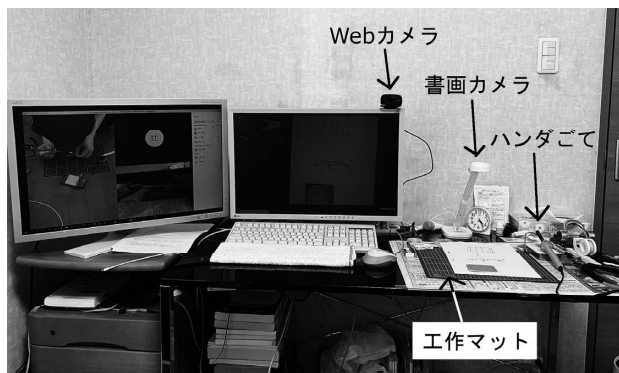


図 8 教師の指導設備

個別指導をするとき、指導する学生（以下、当該学生と呼ぶ）の手元をスマホで映させる。教員がこれを見るときに 3 つの方法がある。

- (a) 当該学生をピン留めする。
- (b) 当該学生にスポットライトをあてる
- (c) 当該学生のスマホの画面共有をしてもらう

(b) の機能は前期終了後、発見した。上記の 3 つの方法を用いる場合、教師が見る画面の解像度はほぼ同じである。「個別指導してもらう学生」の立場から見ると、(a) (b) は学生は特に操作は不要なのに対して、(c) はスマホの操作が必要なので、少し面倒である。「当該学生以外の学生」の立場から見ると、(a) は教師の画面が大きく表示されているのに対して、(b)(c) は「個別指導されている学生」の画面が大きく表示される。個別指導を受けてない学生は自分の工作に集中しているので、何が映っているかは関係ないと思われる。

4.4. 提出物

学生は提出用の Word ファイルをアップロードする。Word ファイルには回路のチェック時に測定した電圧や抵抗値を記入する欄や、ハンダ付けして作成した基板の表と裏の写真を貼り付ける場所がある。併せて、作成した回路の光センサに指をあてたり離したりすると、LED が点いたり消えたりする様子を撮影した動画もアップロードする。

5. 実施

5.1. スケジュール

受講者数は技術科の 3 年生 6 名と、理科の 4 年生 1 名の計 7 名である。実施状況を表 1 に示す。個別指導や補習を含めて、合計 19.5 コマの授業を実施した。

表 1 実施状況

日付	コマ数	実施内容
5/25	1	回路シミュレータ 1 回目 Tina-TI のインストール
6/1	1	回路シミュレータ 2 回目 回路解析
6/8	1	回路シミュレータ 3 回目 回路解析
6/15	1	回路シミュレータ 4 回目 回路解析
6/22	1	回路シミュレータ 5 回目 回路解析
6/29	1	回路シミュレータ 質問を受け付ける回
7/13	1	Arduino 1 回目 開発環境のインストールと L チカ
7/20	1	Arduino 2 回目 スイッチと LED
7/27	1	Arduino 3 回目 ボリュームとサーボモータ

8/3	2	自動照明 ブレッドボードに作成
8/10	1	ハンダ付けの説明と練習
8/17	1	8/10のハンダ付けの練習に不参加だった学生1人のハンダ付けの補習
8/17	2.5	自動照明 ユニバーサル基板に作成 個別指導 2人完成
8/21	2.5	自動照明 個別指導 3人完成
8/24	1.5	自動照明 個別指導 2人完成

5.2. 回路シミュレータ実習

例年は情報館で以下のように実施していた。

- (1) 教師が使い方を実演し、学生はサブディスプレイで見学する。
- (2) 学生は例題を解く。エラーが発生して自力で解決できない場合は、手を上げて教師の個別指導を受ける。
- (3) 学生は課題を解く。問題が発生したときは、手を上げると教師はヒントを与える。

今年はそれぞれ以下のように対応した。(1)は教師の画面を画面共有して実演する。(2)(3)のときは個別指導する学生の画面を共有し、場合によっては学生に制御を要求し、教師が学生のパソコンを操作することで、トラブルを解決した。

例題は教師が手助けするが、課題は原則として学生に自力で解かせる。シミュレートの結果として得られたグラフをWordに貼り付けて提出(アップロード)させる。

最初に回路シミュレータであるTina-TIを各学生のWindowsパソコンにインストールする必要がある。これに5/25の1コマを使用した。全員成功した。問題が発生した場合は、学生のパソコンの画面を画面共有し、教員が操作するなどして解決した。

6/1, 6/8, 6/15, 6/22の4コマを使って「例題(10個)を順次解く」「課題を解く(6個)」を実施した。6/29は課題を解くときにエラーが発生し解決できないなど、質問がある人のみが接続する日にした。

回路シミュレータのトラブルは、「接続されているように見えるが実は接続されていない」「配線が二重に描かれており、見かけとは異なった配線状況にある」などである。この現象が起こったとき、シミュレータ使用経験の浅い学生が自力で解決するのは困難であり、教師が手助けする必要がある。学生の画面を共有し、学生のパソコンの制御を取得し、教師が学生のパソコンを操作してトラブルを解決した。

去年までは、例題を解くとき、1つの回路を入力する一連の作業を教師が最初から最後まで実演し、その後学生に例題を解かせていた。この方法ではトラブルが頻発することが予想されたので、今年度は、教師が回路の

一部分を入力するたびに、学生にも同じ作業をさせ、「ここまでできた人は手を挙げて下さい」と確認し、少しずつ進めた。これにより、エラー発生などのトラブルを最小限に抑えた。Teamsの「手を挙げる」機能が非常に役に立った。

トラブルが発生した学生の個別指導は、先述したように「画面共有」と「制御を渡す」を用いて教師が学生のパソコンを直接操作して解決する。例年は教師が学生のパソコンの前へ行き、学生のパソコンを操作していた。Teamsを使ったオンライン授業は、対面に比べると少し能率が落ちるが、十分に実用的な速度で指導できた。

5.3. Arduinoの実習

7/6に教務課に依頼して、以下のものを学生宅に郵送した。

- ・S社のキット
- ・ラジオペンチ
- ・テスタ(自作のプロープ付き)
- ・パーツケース(キットの部品の収納と「自動照明」で使用する部品を収納)
- ・自動照明で使用する部品

最初の1コマ(7/13)は、Arduinoをパソコンに接続し、以下のことを実施した。

- (1) ドライバをインストールする
- (2) Arduino IDE(開発環境)をインストールする
- (3) Arduino基板上のLEDをチカチカさせる
- (4) ブレッドボードを用いてLチカする

(1)はWindows10の場合、Arduinoを接続すると自動的にインストールされる。(2)はzipファイルをダウンロードして解凍する。(3)はインストールした開発環境の上で、図9に示すプログラムを入力し、コンパイルして実行する。(4)は「書画カメラで教師のArduinoとブレッドボードを映し、配線の見本を見せる」という方法で実施した。

```
void setup(){
    pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite(13, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(13, LOW);
    delay(500);
}
```

図9 Lチカのプログラム

2名が授業時間内に完了しなかった。2日～3日の猶予を与えて、自力でトライしてもらい、できない場合は補習することにした。2名とも自力で解決した。

7/20は2つめの課題（スイッチを押すとLEDが消え、離すとLEDが点灯する）を実施した。書画カメラを用いて、「Arduino, ブレッドボード, A4の紙」を写し、配線の様子を示したり、太いボールペンで紙に手書きして説明した。画面全体を共有し、開発環境のエディタを表示してプログラムを表示することもした。

教師が書画カメラにブレッドボードを映し、配線の方法を指導している様子を図10に示す。

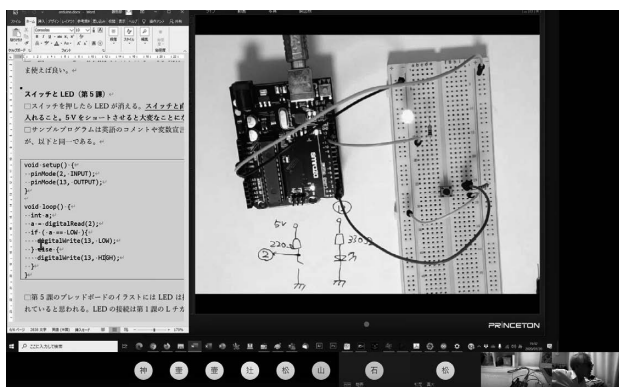


図10 Arduinoの授業の様子

配線が少し進むたびに、できた人は「手を挙げる」を押してもらい、全員ができたことを確認しながら進んだ。回路が動作しない学生は、スマホでブレッドボードの指示した箇所を映してもらい、操作を指示した。個々のワイヤーは色が付いており、ブレッドボードの穴には番号がついているので、例えば「オレンジ色のワイヤーを抜いて2番に差す」などのように指示をした。

授業中、学生が誤った接続をし、ワイヤーに手に近づけるとスイッチが入る、という不思議な現象が起こった。その現象の解明からフローティング状態の端子についての勉強に発展し、思わぬハプニングから発展的な勉強ができた。7/20の1コマで全員が回路を動作させることに成功した。

7/27はボリュームを回すとその回転角度に従って、サーボモーターが回転する回路を作成した。7/20と同様の手順を進め、動作しない学生は、ブレッドボードをスマホで撮影してもらい、個別指導することで、動作させることができた。

図11に学生のスマホで回路を映してもらい、教師が回路を確認している様子を示す。

オンラインでの指導は対面に比べるとかなり能率が落ちる。対面ならブレッドボードの回路全体が教師の視野に入るが、オンラインの場合、ブレッドボードの問題がある箇所を写してもらうのに、「もう少し右」など指示する必要がある、時間を要した。また、学生が手でスマ

ホを持ってブレッドボードを映すとき、「ピントがなかなか合わない」「画面が揺れて見づらい」という問題もあった。

配線を変更する場合、対面だと教師が直接配線をいじることができるが、オンラインの場合、「オレンジ色の線を2番端子に差す」などと指示する必要がある、対面よりレスポンスが悪い。対面より時間を要したが、「問題が解決できない」ということはなかった。

5.4. 自動照明

8/3に2コマ使用して、ブレッドボード上に回路を作成した。Arduinoを5Vの電源として利用する。スモールステップで完成させた。全員が完成させて動作させることができた。抵抗のカラーコードについても取り上げ、読み方や覚え方を教授した。

8/3に教務課に依頼して、4.2節で述べた機材の送付を行った。

スマホスタンドは4.2節で述べたように、各自作成するよう指示した。

8/10にハンダ付けの練習を行った。ハンダ付けを伴う電子工作をオンラインで行うには、以下の問題が予想される。

- (a) はんだごての消し忘れにより、火事がおこる
- (b) 火傷を負う

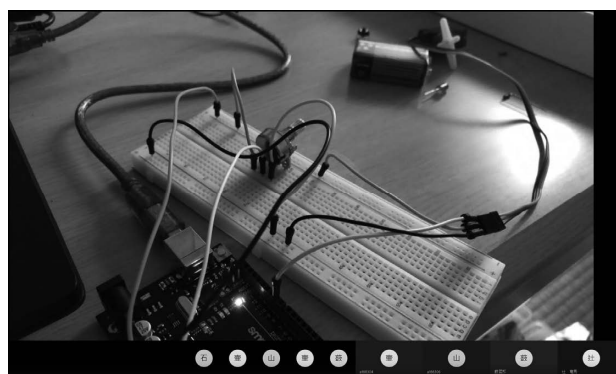


図11 学生の回路をスマホで映してもらって確認

(a) を回避するために、授業開始時にハンダごての電源を入れてもらい、授業終了時にハンダごてのコードを抜いてもらうことにした。授業時間外はハンダごてを使わないことにした。

(b) については、ある程度リスクは不可避である。ハンダ付け作業において、火傷はある程度の確率で発生する。水ぶくれができるようなⅡ度以上だと医者に行く必要があるが、コロナ禍では医者に行きづらい。筆者の経験では、Ⅱ度以上になるケースは少ないが、ゼロではない。そこで、ハンダ付けの説明をする前に、

- ・大学において、対面での指導を行うことも可能である
- ・大学なら保健センターがあるので、火傷時はそこへ行けば治療してもらえる
- ・火傷のリスクを考慮して本日はパスしたい人はパスしてもよいので、この説明が終わるまでに考えておいてほしい

と説明し、約40分のハンダ付けの説明の後、「ハンダ付けを伴う仕事を学生の自宅（下宿）で行うか、学校で行うか」を選択してもらった。全員がオンラインでのハンダ付けを選択した。

ハンダ付けが初めてであるという学生が2人いた。

練習用ユニバーサル基板に、ジャンク部品や錫メッキ線を用いてハンダ付けの練習を行った。まず、ランドにハンダを盛る練習をした。次に錫メッキ線を口（ろ）の字型に張り巡らす。次に、抵抗などの部品を口の字の上辺と下辺を橋渡しするようにハンダ付けする。部品の足を利用して配線することも学ぶ。以上により、錫メッキ線と電子部品のハンダ付けと配線方法をマスターした。ある学生の練習結果を図12に示す。

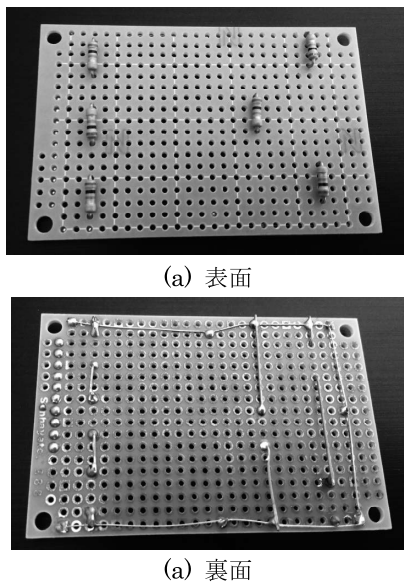


図12 学生のハンダ付けの練習結果

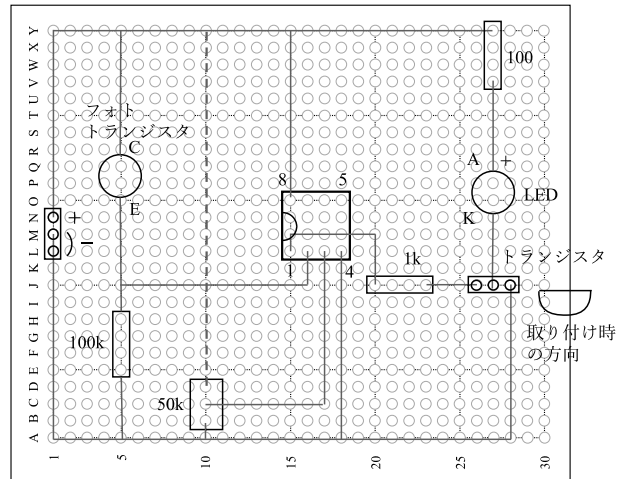
8/10の授業の後半（ハンダ付けの練習）から参加できない学生が1名いたため、その学生に対しては8/17の午前中に1コマ使ってハンダ付けの補習を行った。

8/17にユニバーサル基板に回路を形成する実習を2.5コマかけて行った。ユニバーサル基板は、どのように配線しようが自由である。例年実施している「ライトレーサ」「三角波発生回路」の実習においては、回路図からレイアウト図を作成する作業は、学生自身が行っている。今年度は、以下の理由により、教師側から図13(a)(b)に示すレイアウト図のサンプルを提示した。

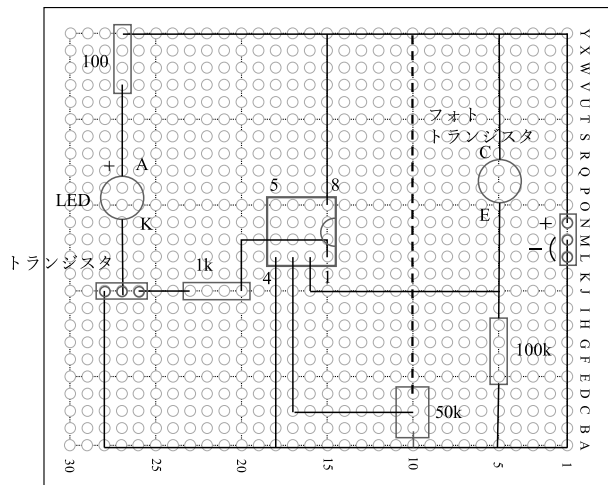
- ・レイアウト図を作成したり、それをチェックする時間

を節約することができる。

- ・学生ごとに別のレイアウトだと、トラブルシューティングが困難になる。
- ・学生が書いたレイアウト図に誤りがあり、それを見逃してしまった場合、トラブルシューティングが非常に厄介になる。



(a) 表面



(b) 裏面

図13 提示したレイアウト図(本紀要論文はグレースケールで印刷される。灰色で表されている部分は本来は赤色であり、裏面に存在するため見えないことを意味する)

フォトトランジスタは向きを誤らないように、あらかじめ、C（コレクタ）端子（電源の+端子側に接続する）に赤マジックで印をつけたものを学生に送付した。

ハンダ付けを伴う自動照明回路の製作は

1. ソケット3個をハンダ付けする。セロテープで固定して作業する。
2. 電源ラインの錫メッキ線とアースラインの錫メッキ線を張り巡らす。

3. 50 kΩ の半固定抵抗、フォトトランジスタ、100 kΩ の抵抗をハンダ付けする。

までは、スモールステップで指導を行い、その後は、各自自由に製作してもらった。図 14 に錫メッキ線のハンダ付け時に洗濯ばさみを使う方法を指導している様子を示す。

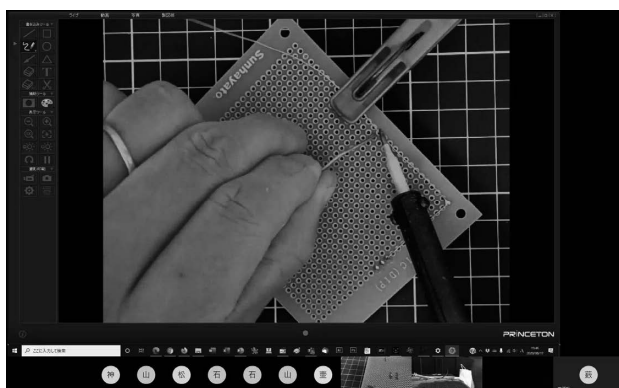


図 14 錫メッキ線のハンダ付け方法の指導の様子

8/17 は 7 名の受講生のうち、インターンシップ中を除く 6 名がハンダ付けのオンライン授業に参加した（インターンシップの学生は 8/24 から開始した）。ネットワークの調子が悪い学生が 1 名おり、その学生は途中で中止し、8/21 から再開することになった。

回路が完成した者から以下の手順のチェックを私の指示に従って行う。

1. オペアンプとトランジスタは装着しない。
2. 電源の「+端子」と「-端子」の間の抵抗を測定する。0 Ω に近い場合はショートしているので、回路を見直す。
3. 「電源の-端子」と「トランジスタの E 端子」の間の抵抗を測定する。0 Ω に近い値でないときは、回路を見直す
4. Arduino の 5 V 端子を「電源の+端子」、Gnd 端子を「-端子」に接続する。
5. テスタの COM 端子を「トランジスタの E 端子（電源の-端子に接続されている）」に接続する。
6. IC ソケットの電圧が以下の通りであることを確認する
 - 4 (0 V) 8 (5 V)
 - (暗いとき 1 V 以下、明るいとき 3 V 以上)
 - (半固定抵抗を回して明るいときと暗いときの中間の値に設定する)
7. オペアンプを取り付ける。向きに注意。逆に接続するとオペアンプが異常発熱し、壊れる。
8. トランジスタの B 端子（1 kΩ の抵抗と接続されている端子）の電圧は以下の通りであることを確認する

暗いとき 0 V

明るいとき 3.5 V 程度

9. トランジスタを取り付ける。

途中、正しくない値が得られた場合は、製作した回路をスマホで映してもらい、教師が観察し、問題点を指摘し、修正を指導する。

図 15 に教師が測定箇所を指示している様子を示す。

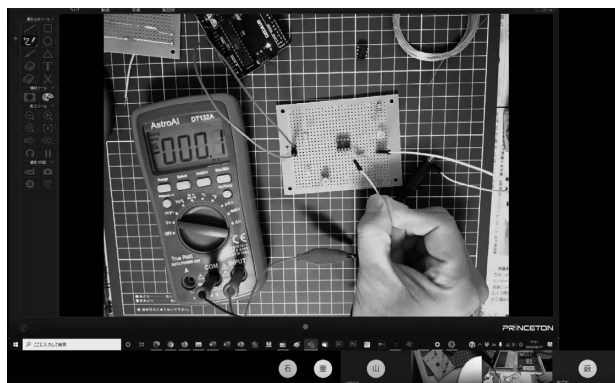


図 15 教師が測定箇所を指示している様子

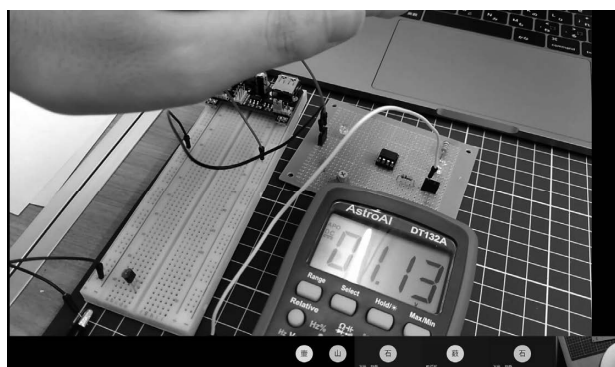


図 16 学生が自分の回路のチェックしている様子

図 16 は学生が回路をチェックするのを指導している場面である。学生に測定箇所を指示し、スマホで回路やテスタの値を映してもらい、測定値を見て、回路が正常に動作しているか否かを判断している。

個人ごとに進度が異なるので、回路が完成した学生から順番に、回路のチェックをし、トラブルが発生した場合は、トラブルシューティングを行う。ここからは、個別指導となる。同時に個別指導できるのは 1 人なので、ある学生の指導中に、他の学生が完成した場合は、待ってもらうことになる。

回路のチェックは最短でも 15 分程度はかかる。トラブルが起こったときは、解決するのに最低でも 30 分は必要である。

8/17 に 2 名が回路を完成させ、正常動作させることができた。1 名はトラブルなく正常動作し、もう 1 名はトラブルシューティングが必要であった。この日にもう

1名が回路を完成させていたが、時間がなかったため、回路のチェックとトラブルシューティングは8/21の午前中に行った。30分程度で配線ミスを修正して回路を正常動作させることができた。

図17に完成した学生の基板の裏面の例を示す。

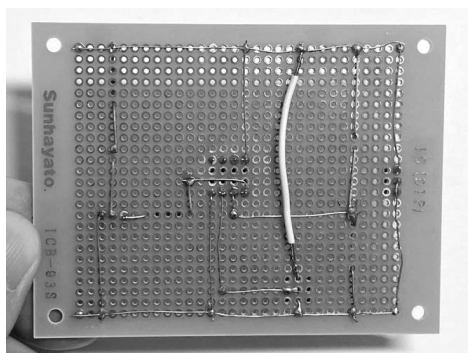


図17 完成した学生の基板の裏面

完成して正常動作した学生は終了とし、残りの4名の学生は参加可能な日に指導することにした。

8/21に2名の学生が参加した。製作実習と個別指導を行い、2名とも正常動作させることができた。

8/24に2名の学生が参加した。このうち1名はインターンから戻ってきた学生であり、この日から工作を開始した。製作実習と個別指導を行い、2名とも正常動作させることができた。

最終的に全員が回路を完成させ、正常動作させることができた。

トラブルなしで、ミスなく回路を完成させた学生は7名中4名であった。「電子工作で一番大事なことは間違えないこと。間違えるとやり直すのに時間がかかる。急がば回れ」と授業中に言ったのが良かったのかもしれない。

LM358はコンパレータとして使うので、その出力は0Vか3.5V程度かの二者択一である。ところが、1.1Vのような中間の電圧が発生するという不思議な現象が起こった学生がいた。フォトトランジスタに手を近づけていくと、中間の電圧が発生した。その原因は、授業期間中には解明できず、前期終了後、その現象が起こった学生に回路を大学へ持参してもらい、測定することで解明した。オシロで観察すると、 $V_1 \cong V_2$ のとき、オペアンプの出力は数ms程度の期間でon/offを繰り返すパルス状の波形であった。デジタルテスタを直流モードにしてそのような電圧を測定すると、平均値を表示するようである。結果として、中間の値の電圧が出力された、というのが真相であった。

5.5. オンラインによる電子工作についての考察

当初、ハンダ付けを含む電子工作をオンラインで指導することは困難であると考えていた。しかし、以下の工

夫により、オンラインによる電子工作は実現可能であった。

- ・回路を工夫し、適切な場所にソケットを配置することで、誤りが容易に判明するようにした。
- ・レイアウト図を指導書に掲載した。
- ・学生は回路撮影用のスマホと、教師の指示をうけるためのノートパソコン（あるいはタブレット）の2つのデバイスでログインする。

しかし、トラブルシューティングは以下の理由により、対面に比べると、より多くの時間が必要であり、能率は落ちた。

(a) 対面の場合、教師が学生の回路全体を見渡すことができるが、オンラインの場合、スマホのカメラを通して確認するので視野が狭い。学生に対して「もう少し右を映して」などと指示する必要がある。

(b) 対面の場合、教師は学生の回路を直接触ることができ、配線を変更できる。テスタやオシロスコープを使って測定することもできる。オンラインでは全てを学生に指示し、学生のスマホ画面や学生の口頭による応答から知る必要がある。

(c) 対面の場合、回路を教師が指差して、「この線をここに接続し直す」などと指示することができるが、オンラインでは場所を指示するのに「LEDのプラス側の線」などと口頭で言うか、紙に図を書いて説明する必要がある。図18に接続のミス进行を紙に書いて指示している様子を示す。

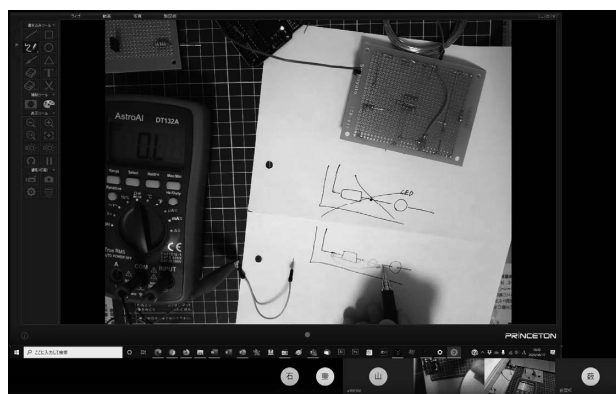


図18 トラブルの解消法を紙に書いて指導している様子

オンラインの場合、テスタを操作して電圧や抵抗を測定する作業は、学生が自力で行わねばならない。学生は必然的に測定器を使わざるを得ない状況になり、例年より測定器の使い方に習熟した。例年は難易度が高い作業を教師が手助けをすることもあったが、今年度は学生は全て自力で行う必要があった。学生は緊張感を持って授業に臨むことになり、対面で実施するよりも、教育効果

が高かったかも知れない。

テスタを使って電圧を測定するとき、ある学生が直流モードではなく、交流モードに設定していたことがあった。当然、電圧の測定値は0Vとなり「不可解だ」ということになる。揺れたりする見づらいカメラ越しだったので、教師が気がつくのに少し時間がかかった。対面だとすぐに気がついた可能性が高いので、カメラ越しでは観察力が落ちるのかも知れない。

前節で述べたように、回路が完成後は個別指導となり、同時に1人しか指導できない。そして、1人につき15分～60分程度が必要であった。待ち時間が生じた学生は、後日にするか、「あと15分後に戻ってきて下さい」のような指示を出す必要がある。オンラインの場合、能率が落ちるので、学生の待ち時間は、対面に比べると長くなった。ただし、一人ずつしか個別指導できないのは対面でも同じである。対面の場合、「後日来て下さい」は学生側の負担が大きいので、終了時刻が遅くなくても当日中に終わらせることになるが、オンラインの場合、通学の必要がないので、学生と時間調整して、お互いの空き時間に指導することが可能である。

8/17の授業の録画を見返してみると、5名の受講生に対して、ほとんど途切れることなく「説明」「指導」「質問に対する受け答え」を行っている。「ユニバーサル基板を使った電子工作を初めて行う学生」に対する指導は、5名程度が同時に指導可能な人数の目安であると思われる。受講生が多い場合は、電子回路製作に習熟したTAを配置し、Teamsのチャンネルを複数用意し、同時に2個以上の個別指導ができるようにする必要がある。

同時指導可能な人数は、受講生の中に電子工作が得意な学生がいるか否かによっても左右される。今回非常に優秀な学生が1人いた。その学生は私が気がつくよりも先に、他の学生の配線ミスを指摘することが何回もあり、大変助けられた。

今回は学生の回路を映すのにスマホを利用した。予算が十分にある場合は、各学生のパソコンに書画カメラを取り付けるのが望ましい。

5.6. 学生の提出物の提出状況

受講生7名全員が全ての単元の提出物を提出（アップロード）した。全員、単位を取得した。

6. おわりに

今回の方法を用いると7名の受講生を指導して、オンラインの電子工作は可能であることが分かった。今回は全員が完成できることを第一目標としたので、作成しやすい回路を開発し、指導においては、教師が少しずつ進めて模範を示し、「手を上げる」機能を使って、「ここまでできた人は手を上げて下さい」のように確認して、少しずつ進めた。

次年度以降もオンライン授業となる場合は、挑戦目標として以下が考えられる。

- ・ブレッドボードであれば、部品や配線のレイアウトを考えるのは、学生にさせる
- ・ユニバーサル基板であれば、レイアウト図を学生に書かせる

今回作成したテキストは全て私の以下のWebサイトで公開している。

<http://denki.nara-edu.ac.jp/~yabu/edu/denki-jikken/index.html>

興味がある方は、自由に改造し、利用していただきたい。今後も、オンラインで実施可能な電子工作の教材を開発し、公開してゆきたい。

参考文献

- 藪哲郎, 太田正哉 (2015), 「電気実験実習のカリキュラムの開発」, 奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要, 第1号, pp. 235-244.
- 辻岡哲夫 (2014), 「はんだ付けの基礎2」, 月刊FBニュース, 2014年6月号, http://www.fbnews.jp/201406/rensai/jh1nrr_digital_02_01.html (アクセス 2020/11/23)