

TWELITE を用いた電子工作教材の開発

藪 哲郎
(奈良教育大学教育学部)

Development of Teaching Material for electronics using TWELITE

Tetsuro YABU
(Faculty of Education, Nara University of Education)

要旨：筆者は「電気実験実習」という科目で電子工作を指導している。これまでに電子工作の教材として様々な教材を開発してきた。本稿は「生活の役に立つ電子工作」という観点から、「授業で作ったものが自分の普通の生活に役立つ」という電子工作教材の開発について述べたものである。具体的には TWELITE を用いて 1 bit の情報 (on/off) を無線伝送する装置を開発した。受信機は on を受信したら音と光でそのことを通知する。送信側のセンサとして「光センサ」「超音波センサ」「人感センサ」を用意し、受講生は自分の生活に役立つものを選択して作成する。2022 年前期の授業において実施したところ、受講生 6 人は全員が大きな問題なく、工作物を完成させることができた。

キーワード：トワイライト TWELITE
電子工作 Electronic work
教材 Teaching Materials

1. はじめに

中学校技術科における定番的な実習項目として電子工作がある。電子工作のスキルを身につけるため、奈良教育大学の技術教育専修では必修の「電気実験実習」と選択の「電気設計製作」を用意している。本稿は新規に開発した「電気実験実習」のカリキュラムについて述べる。

電気実験実習において、2019 年度までは「ライントレースカー」と「三角波発振回路」を製作していた(藪ら, 2015)。2020 年度はコロナのため、内容を一新し、全て非対面で「回路シミュレータの実習」「マイコン (Arduino) の実習」「自動照明回路の製作」を行った(藪, 2020)。2021 年度は同じ内容を対面で実施した。

筆者は電子工作の教材は以下の条件が満たされることが望ましいと考える。

- ・生活の役に立つ
- ・毎日使える
- ・使っていて楽しい
- ・難易度が適切である

これまでに開発した電子工作教材を振り返ると、ライントレースカーは楽しいが、毎日使えるものではなく、使うにはコースが必要であり、自宅に持ち帰って楽しむことができない。三角波発生回路はオシロスコープがないと動作が確認できず、生活の役に立つものではない。自動照明回路は LED が 1 個光るだけであり、実用に見えるものではない。これらの教材は「電子工作に関する

技術を身につける」には良いが、上記の 4 つの条件全てを満たすものではなかった。

モノワイヤレス株式会社の無線マイコン TWELITE DIP (以下 TWELITE と表記) は電子工作のための無線モジュールである (モノワイヤレス株式会社, 2018)。2 個ペアで使い、アナログ 4 系統とデジタル 4 系統を双方向に送受信することができる。

筆者は 3 階建ての一戸建てに住んでいる。2 階に居間があり、インターホンの親機が壁に設置されており、1 階の玄関の子機とつながっている。子機の呼び出しボタンを押すと、居間の親機がピンポンと鳴り、カメラが on になる。1 階や 3 階の部屋にいて、この音が聞こえない。その対策として、これまでは Alfred Camera というスマホ用アプリを使っていた。このアプリは 2 台のスマホの片方を送信機、もう片方を受信機として使い、音声と画像を伝送する。送信機を親機の近くに置き、受信機を手元に置くことで、「ピンポン」と鳴る呼び出し音を転送することができる。しかし、この方法は難点がある。送信側が無音であっても、受信機には「シャーッ」というノイズが入ってくる。在宅ワークにおいて、このノイズは気になる。「この時間帯に宅配便の再配達がある」という場合はやむなく使うが、常時使う気にはなれない。

これに対して、筆者が開発した装置は、子機のボタンを押すと親機の画面が on になり、明るくなることを利用する。光センサを用いて画面の明るさを検知し、明るくなったなら、来客があることを送信する。1 階や 3 階に置かれた受信機はブザーを鳴らすと同時に LED を点滅させて来客を知らせる。

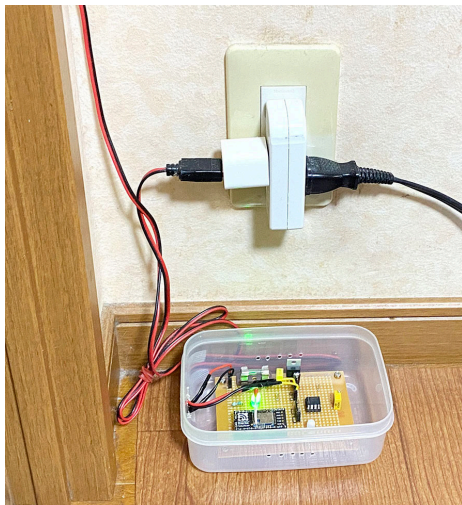
なお、インターホンの子機のボタンが押されたこと

を、親機の画面の明るさを利用して検知するというアイデアは、2021年8月号のトランジスタ技術(雑誌名)の記事(池上, 2021)から学んだ。

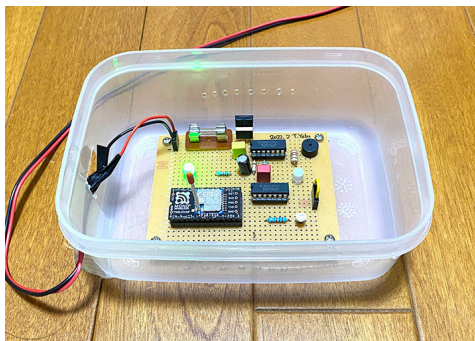
この装置は大変実用的であり、我が家では毎日の生活に不可欠な装置として活躍している。装置の外観を図1に示す。同図 (a) のようにインターホンの親機の画面にセンサを取り付け、明るさを検知する。画面の on/off を送信する装置が同図 (b) である。on が送られてきたとき、ブザーを鳴らし、LED を点滅させる装置が同図 (c) である。送信回路、受信回路のいずれもスマホ用の AC アダプタを利用し、直流 5 V で駆動する。



(a) インターホンの親機に取り付けた光センサ



(b) 送信回路



(c) 受信回路

図1 インターホン中継装置

このインターホン中継装置を元にして、作りやすいようにアレンジした教材を、2022年度前期の「電気実験実習」で実施した。

受講生は自分の生活の役に立つものを作るため、用途によって様々なセンサ(光センサ、超音波センサ、人感センサ)を選ぶことができたようにした。受講生は送信機と受信機の両方を作り、電源用のケーブルも自作する。15週で全て終えるには少し難易度が高いかも知れないと思ったが、受講生6人全員が授業時間内に完成させることができた。本稿では回路図などの詳細と実施状況を報告する。

2. TWELITE を用いたお知らせ装置

2.1. TWELITE とは

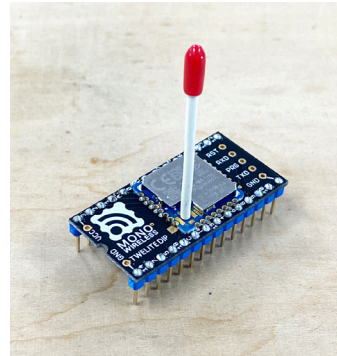


図2 TWELITE

TWELITE を図2に示す。28 pin の無線通信用のモジュールであり、プログラムせずを使うことができる。直流 2.0 V ~ 3.6 V で駆動する。片方を親機、もう片方を子機としてペアで使う。13 番端子を接地すると親機、開放すると子機となる。

TWELITE はデジタル 4 系統、アナログ 4 系統の信号を双方向に送受信することができる。本教材ではデジタル 1 系統のみを使用する。すなわち親機(送信用)から子機(受信用)へ 1 bit の信号(0 か 1 か)を送信する。以下、0 を off, 1 を on と表現する。

2.2. 受信回路

受信回路は on を受け取ったら、LED が点滅し、ブザーを断続的に鳴らす。回路図を図3に示す。

電源はスマホ用の AC アダプタあるいはモバイルバッテリーを用いる。AC アダプタの最大出力は 2 A の製品が多い。5 V × 2 A = 10 W の電力は火災が発生する可能性がある。自宅で常時使用する装置なので、ヒューズを入れる。

3 端子レギュレータ 2940 で 5 V を 3.3 V に降圧する。電圧安定化と発振防止のため、3 端子レギュレータの前後にはコンデンサを入れる。データシートでは入力側のコンデンサは 1 μF, 出力側のコンデンサは 10 μF が

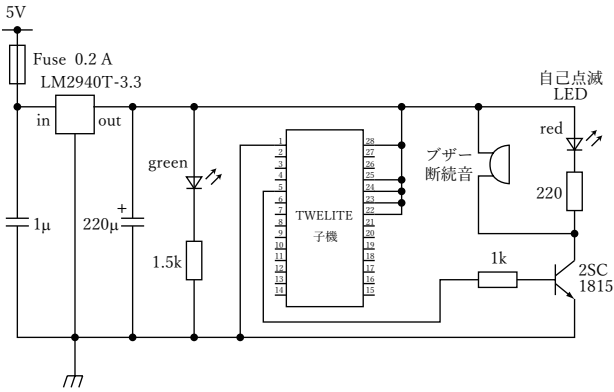


図3 受信回路

指定されている。出力側は 220 μF に増量する。容量が不足しているとブザーの種類によっては、鳴ったときに TWELITE が誤動作する。緑色 LED と 1.5 k の電流制限抵抗は電源確認用である。

on/off は TWELITE の 5 番端子から出力されるので、5 番端子の電圧でトランジスタを on/off する。ブザーは直流電圧をかけると断続音が鳴るブザーを用い、LED は自己点滅 LED を用いる。今回使用したブザーの消費電流は鳴っているとき約 4 mA であり、自己点滅 LED の消費電流は点灯時約 6 mA である。

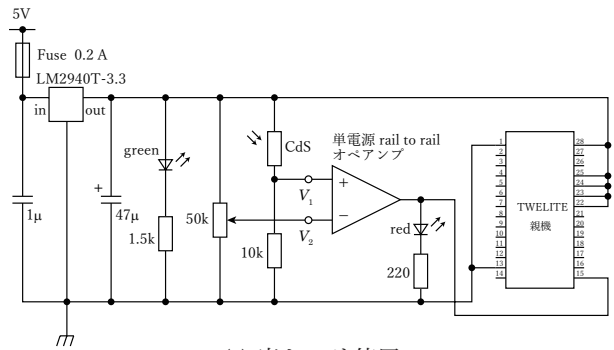
2.3. 送信回路

センサとして光センサ (CdS セル)、超音波センサ、人感センサの3通りを用意した。光センサを用いる場合、インターホンの on/off、照明の on/off などを検知する装置を作れる。超音波センサはアナログ出力の US-016 を用いる。US-016 はセンサと物体までの距離をアナログ電圧で出力する。電源電圧が 3.3 V のとき出力電圧は、30 cm のとき 230 mV、60 cm のとき 470 mV、80 cm のとき 1 V、無限大のとき 3.2 V である。距離が近くなるほど出力電圧は下がる。物体の有無、ドアの開閉、ガレージに車が入っているか否か、などを検知する装置を作れる。人感センサは防犯用あるいはトイレに人が入っているか否かを検知する装置などを作れる。

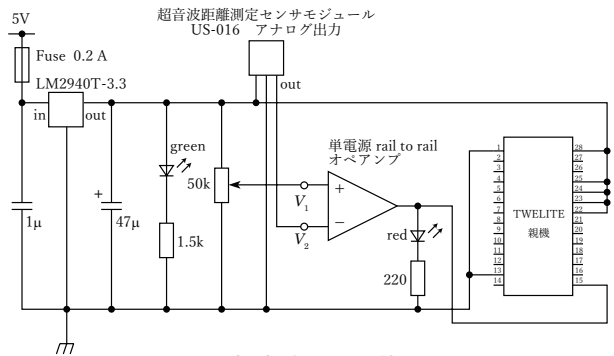
3 種類のセンサを使った回路をそれぞれ図 4 (a) ~ (c) に示す。受講生はどれかを選択し、自分の生活に役立つものを作る。

図 4 (a) の光センサを用いた送信回路について説明する。AC アダプタから 3.3 V を作り出す部分は受信回路と同じである。三端子レギュレータの出力側はデータシートでは 10 μF となっているが、大は小を兼ねるので、余裕を持たせて 47 μF としている。

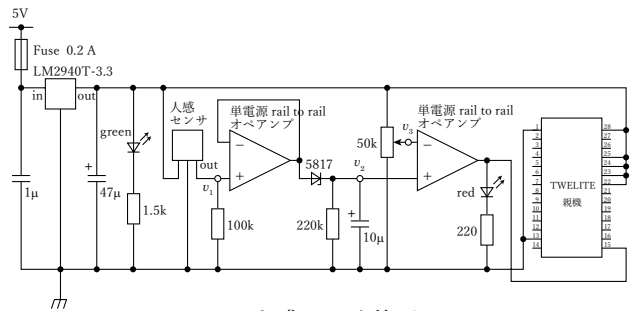
オペアンプはコンパレータとして用いる。入力電圧は 0 V ~ 3.3 V の範囲であり、0 V 近くの値や 3.3 V 近くの値もあり得るので、単電源の入出力 rail to rail オペアンプを用いる。「CdS セルと 10 k の抵抗で分圧して得た電圧」と「50 k の半固定抵抗で作成した閾値電圧」を



(a) 光センサ使用



(b) 超音波センサ使用



(c) 人感センサ使用

図4 送信回路

比較する。CdS セルは明るくなると抵抗値が減少するので、明るくなると V_1 は上昇し、コンパレータが on になる。 V_2 は精密に調整する必要があるので、半固定抵抗は多回転形を用いる。オペアンプの出力を TWELITE の 15 番端子に入力すると同時に、on のときは赤色 LED を点灯させる。オペアンプは赤色 LED を光らせるために十分な電流出力を持つものを用いる。電流出力が不足していると、赤色 LED が暗くなり、TWELITE に入力する電圧が小さくなる。

今回は光センサとして扱いやすい CdS セルを用いた。CdS は明るさによって抵抗が変化し、明るくなるほど抵抗が小さくなる素子である。大変扱いやすい素子だが、カドミウムを使うので、生産停止になりつつある部品である。今後は CdS の代わりに AMS302T などのフォトトランジスタで置き換えることが望ましい。ただし、フォトトランジスタは向きがあるので、向きを間違えないように注意する必要がある。

図 4 (b) はアナログ出力を持つ超音波センサ US-016 を使用した回路である。通常は超音波センサはマイコンを使ってデジタル信号で制御するが、ここでは制御用回路が内蔵されており、アナログ電圧が出力されるモジュールを使用する。アナログ電圧を閾値電圧と比較する回路は図 4 (a) の光センサ用の回路と同じである。

人感センサを使用した回路を図 4 (c) に示す。人感センサとしては、ポピュラーな Panasonic の napion を用いる。napion の出力は図 5 (a) のような波形なので、同図 (b) のような形に整形する。napion の出力電流は最大 100 μ A なので、100 k Ω の抵抗で受ける。3.3 V \div 100 k Ω = 33 μ A であり、100 μ A 以下になっている。それをバッファに通した後、ダイオード、コンデンサ、抵抗で平滑化し、同図 (b) のような波形に整形する。ダイオードによる電圧低下を最小限にするため、ダイオードは順方向電圧が低いショットキー・バリア・ダイオードを用いる。220 k Ω と 10 μ F のコンデンサの時定数は 2.2 秒である。閾値電圧を調整することで、人が去った後の on の時間を調節することができる。

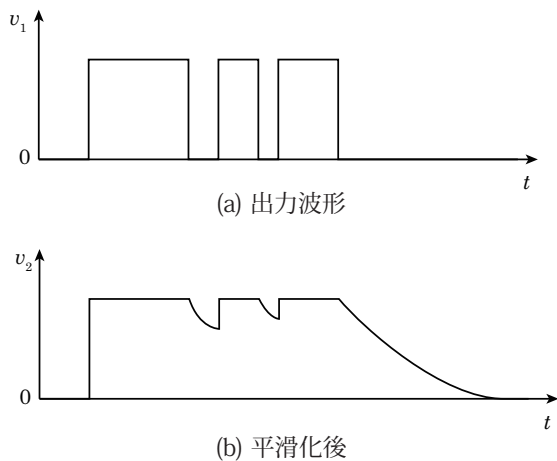


図 5 人感センサの出力波形の処理

2. 4. 電源ケーブル

最近ではスマホ、モバイルバッテリーの充電のため、だれもが数個は AC アダプタを持っている時代になった。車の車内にも USB Type-A のコンセントが多数ある。すなわち、あらゆるところで直流 5 V が供給される時代になった。これに伴い、電子工作も直流 5 V で動かすものが多くなっている。本実験では、図 6 に示す電源ケーブルを各受講生が自作する。片方が USB Type-A 端子、もう片方はブレッドボード用の固いワイヤーをハンダ付けしている。図 6 のケーブルを用いてスマホ用 AC アダプタやモバイルバッテリーから 5 V を取り出す。送信用と受信用の 2 個を製作する。

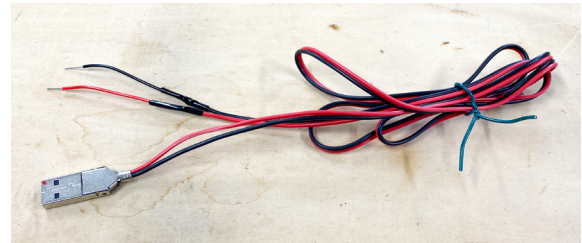


図 6 電源ケーブル

3. 実施結果

3. 1. 実施計画

この教材を 2022 年度前期の「電気実験実習」という科目で実施する。本年度初めて実施するので、どの作業に何コマ必要かは確定できない。また個人差がある。だいたいを目安として表 1 のように見積もりをたてた。

表 1 実施計画

step	コマ数	内 容
1	1	オリエンテーション ハンダ付けの練習
2	1	ブレッドボードを用いた TWELITE の動作チェック
3	1	ブレッドボードを用いた受信回路の 製作
4	3 ~ 5	ユニバーサル基板を用いた受信回路 の製作とトラブルシューティング ケースの加工と取り付け 電源ケーブルの製作
5	1	送信回路のレイアウト図の作成
6	5 ~ 7	ユニバーサル基板を用いた送信回路 の製作とトラブルシューティング ケースの加工と取り付け 電源ケーブルの製作

2022 年度前期の電気実験実習の受講生は 3 回生 6 名である。

本授業は個人が自分専用のものを作るので、個人差がある。step 1 ~ step 2 は一斉授業を行うが、その後は、完成した者から次のステップに進む。

step 1 のハンダ付けの練習は、小型のユニバーサル基板を用いて、以下のことを行う

- (1) ランドにハンダを盛るだけの練習を行う
- (2) スズメッキ線を口の字型に張る
- (3) 抵抗、コンデンサなどを取り付け、部品の足やスズメッキ線を使って配線を行う。

3.2. ブレッドボードを用いた TWELITE の動作チェック

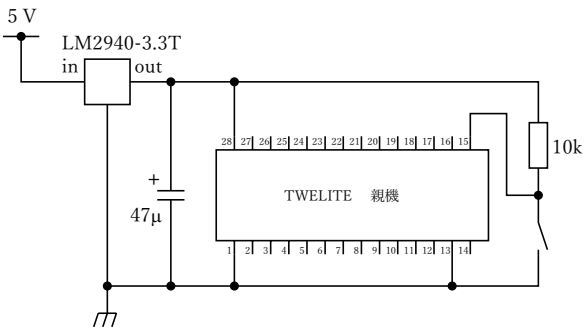
step2 はブレッドボードを用いて TWELITE で 1bit の信号を送れることをチェックする回路を作る。

図 7 に TWELITE の動作チェック用の送信回路と受信回路を示す。送信回路の TWELITE の 15 番端子に on/off を入力すると、その値が受信回路の TWELITE の 5 番端子から出力される。

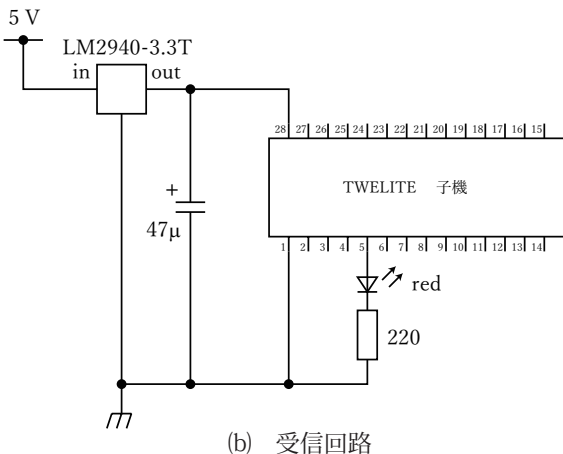
受講生が一人の場合は同一ブレッドボードの上に送信回路と受信回路の両方を組めば良いが、複数の学生がいる場合は、混信が起こる。今回は全員に受信回路を作らせ、送信回路は教師が用意した回路を使用した。送信回路を作る練習は省略した。

学生は初めてブレッドボードを扱う。まず LED と抵抗を直列接続して電源に接続し、LED を点灯させるだけの回路を組む。次に図 7 (b) の回路をブレッドボード上に作成し、1 bit を受信することを確認する。

最終的には各受講生が図 6 の電源ケーブルを送信回路用と受信回路用に計 2 個製作するが、step 2 の実施時点では未作成の状態なので、電源ケーブルは教員が用意する。1 コマで 6 名全員が受信回路をブレッドボード上に作成し、TWELITE の動作を確認することができた。



(a) 送信回路



(b) 受信回路

図 7 TWELITE の動作チェック用回路

3.3. 受信回路の製作

送信回路と受信回路を比べると、受信回路の方がシンプルである。そこで、まず受講生は受信回路を作成する。

step3 としてブレッドボード上に受信回路を作成する。ただし、ブザーは省略する。全員 1 コマで step3 をクリアした。

step4 はユニバーサル基板に部品を配置し、ハンダ付けをして完成させる。ユニバーサル基板はサンハヤトの ICB-93S を使用した。ユニバーサル基板に回路を実装する場合、最初にする作業は回路図である図 3 からレイアウト図 (実体配線図) を作ることである。回路図はどこどこが接続されるかを表す図であり、レイアウト図はそれとは形状が異なる。学生はレイアウト図を作成するのは初めてなので、受信回路については、教師がレイアウト図を用意する。これを図 8 に示す。赤色は基板の裏側の配線を示す。

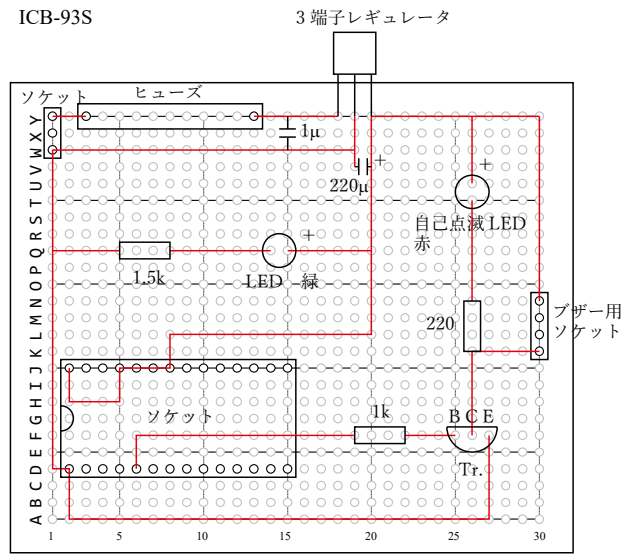


図 8 受信回路のレイアウト図

受講生がユニバーサル基板上に回路を作成し、トラブルシューティングをして、回路を正常に動作させるまでに、3~4 コマが必要であった。ハンダ付けが完了したら、受講生は指導書に書かれたチェック項目に従って、回路が正しく配線されていることを確認する。

本電子工作の特長は、ピンソケットを用いることにより、回路のチェックを容易にしていることである。電源電圧を供給する部分、ブザーを接続する部分にピンソケットを用いる。TWELITE を差す部分もソケットを用いる。それにより、抵抗や電圧の測定を容易にする。ピンソケットを図 9 に示す。

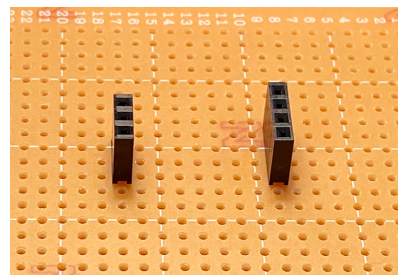


図 9 ピンソケット

デジタルマルチメータを用いて、以下の手順で確認を行うことにより、回路のミス特定し、問題点を修正する。

チェック手順

1. ヒューズを取り付け、TWELITE を取り付けない状態で、テスタで以下の抵抗値が指示された値であることを確認する。
 - (a) 電源の+端子と-端子がショートしていない (0 Ω でない)
 - (b) 3 端子レギュレータの出力端子とアースがショートしていない (0 Ω でない)
 - (c) TWELITE の 5 番端子とトランジスタの B (ベース) の間が 1 kΩ
 - (d) 以下の端子間が導通している (抵抗値はほぼ 0 Ω)
 - ・ 3 端子レギュレータの出力端子とブザーの+側端子
 - ・ 3 端子レギュレータの出力端子と緑色 LED の+側端子
 - ・ Gnd 端子とトランジスタの E (エミッタ)
2. 電源を接続して以下をチェックする
 - (a) 緑色 LED が点灯しないときは、その原因を調査する (3 端子レギュレータの入力端子は 5 V か? 3 端子レギュレータの出力端子は 3.3 V か? 緑色 LED と 1.5 kΩ の抵抗は直列に接続されているか?)。
 - (b) テスタを直流電圧測定モードにして、以下に示す点の電圧が指示された値であることを確認する。
 - ・ 3 端子レギュレータの入力端子は 5 V
 - ・ 3 端子レギュレータの出力端子は 3.3 V
 - ・ TWELITE の 1 番端子は 0 V
 - ・ TWELITE の 28, 25, 24, 23, 22 番端子は 3.3 V

受講生一人一人にデジタルマルチメータを 1 台配布しているので、学生は自分で回路をチェックする。学生がチェックをして、正常時とは異なる抵抗値や電圧が得られたとき、どこに原因があるのかを特定するのは、学生にとっては難易度が高かった。多くの場合、教師が不良箇所を助言した。

回路が正常に動作したなら、学生は各自が用意したケースを加工し、受信回路を取り付け、図 6 に示す電源ケーブルを作成する。

全員が百円ショップなどで購入したタッパに回路を取り付けた。図 10 に受講生が製作した受信回路の例を示す。図のようにブザーはタッパのフタの上面にネジとナットで取り付けた。ブザーの足と電源ケーブルが基板のソケットに刺さる部分は、ブレッドボード用の固いワイヤを使用した。

基板は高さ 1 cm の金属製スペーサで固定する。ケースには電源ケーブルを通す穴もあける。ケースの加工は

ボール盤による穴開けと、やすりで削ることによるプラスチックの加工である。ケースの加工とケースへの回路の固定に、1 コマ程度必要であった。

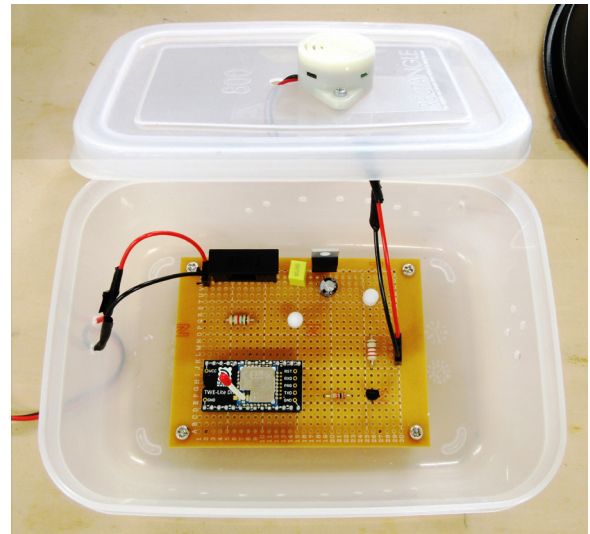


図 10 受講生が製作した受信回路の例

3.4. 送信回路の製作

送信回路は受講生ごとに図 4 の中から好きなものを選択し、作成する。光センサを使った者が 3 名、人感センサを使った者が 2 名、超音波センサを使った者が 1 名であった。

step 5 で送信回路のレイアウト図を受講生が自力で作成する。各自レイアウト図を作成し、教員のチェックを受けたら、step 6 の製作に取りかかる。送信回路をブレッドボード上に実装するのは省略した。step 5 のレイアウト図の作成は、どの受講生にとっても難易度が高かったようである。1 ~ 2 コマが必要であった。

step 6 は受信回路と同様にハンダ付けをして完成させ、トラブルシューティングを行う。回路が正常に動作したなら、ケースを加工し、送信回路を固定する。step 6 には 4 ~ 7 コマ必要であった。そのうち、ケースの加工とケースへの回路の固定に 1 コマ必要であった。回路

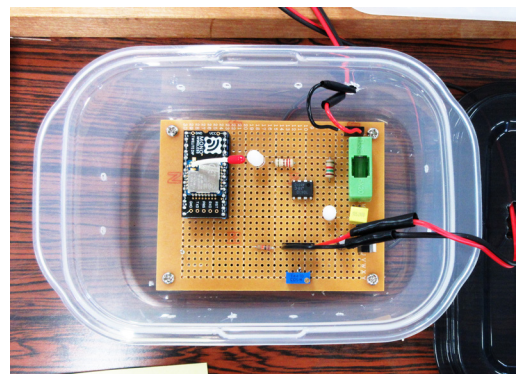


図 11 受講生が製作した送信回路の例

の複雑さは人感センサを使った回路が他の2つの回路に比べて少し複雑だが、人感センサを使った学生の製作時間が他と比べて著しく長いという事はなかった。

受講生が製作した回路の例を図11に示す。受信回路とは全く異なったレイアウトであり、製作した受講生の個性が表れている。

3.5. 実施状況のまとめ

受講生6名全員が送信と受信の両方の回路を作成し、トラブルシューティングをし、正常に動作させることができた。最も早い学生はstep1～step6の全てを合わせて11コマ、遅い学生は14コマ必要であった。完成した学生は、他の学生のトラブルシューティングを手伝うなどしてもらった。

ただし、トラブルシューティングを学生が自力で完了することは困難であり、ほとんどの場合、教師の助言が必要であった。受講生が6名と少人数なので、全員に対して適宜対応が可能であったが、2名以上から同時に助言を求められるケースもあり、そのときは1人に待ってもらわなければならない。受講生がこれ以上増える場合は、何らかの対策が必要である。

成績評価は製作物のでき80%、レポート20%で評価する。レポートは作るときの注意点やノウハウ、苦労した点などを記述させる。全員がレポートを提出し、合格した。

完成した回路は各自が自宅に持ち帰るが、TWELITEは高価(1個約2500円)であり、ソケットから外して再利用可能なので、取り外してから持ち帰らせた。各自が自宅で使う場合は、amazonなどでTWELITEを2個購入する必要がある。

本年度の実施において大きな問題はなかったため、次年度以降も継続する予定である。

電子工作で一番重要なのはトラブルシューティングである。電子工作が一発で動作することは少ない。そのときにテストなどを使って原因を究明するのが電子工作の最も楽しい部分であるのだが、初めて電子工作をする学生にとっては、自力で解決できないことも多く、教員が指導する必要がある。次年度は以下の対策をし、できるだけ受講生が自力でトラブルシューティングできるようにしたい。

- (1) 受講生に回路の動作原理をより深く理解させる。これにより、受講生は、トラブルシューティングを指導書に従って機械的にするのではなく、「なぜこうするのか」の考え方を理解して行う。
- (2) 回路のチェック方法、トラブルシューティングの方法の記述を充実させる。

4. おわりに

生活の役に立つ楽しい電子工作の教材を開発した。

2022年度前期の電気実験実習で実施したところ、大きなトラブルなく、全員が回路を完成させることができた。次年度以降も継続する予定である。

本稿で紹介した電子工作の教材は以下のサイトで公開している。

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

回路に関する詳しい説明は以下のサイトで公開している。

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

上記のサイトには、受信回路として、「ブザーやLEDのon/off」を「自作の発振回路で制御する」場合の回路も公開している。

興味がある方は、本装置を自作して生活の役に立てて頂けたら幸いである。また、自分の授業で使ってみよう方は、ダウンロードして使って頂けたら幸いである。

参考文献

- 池上恵理(2021),「電子ペーパー搭載,ESP32-PICO-D4制御!ポケット・マイコン・ボードM5Stack CoreInk～LINEと連携「玄関チャイムお知らせ君」の製作～」,トランジスタ技術,2021年8月号,pp.190-193.
- モノワイヤレス株式会社(2018),「TWELITE DIP無線マイコンデータシート」,<https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-Lite-DIP/MW-PDS-TWELITEDIP-JP.pdf>アクセス2023.1.7
- 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紀要第1号,pp.235-244.
- 藪哲郎(2021),「オンラインによる電気実験実習の実施」,奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要,第7号,pp.79-90.