

TWELITE を用いたお知らせシステム

奈良教育大学 技術教育専修

藪哲郎

1 TWELITE とは

TWELITE は手軽に無線通信を楽しめるモジュールである。2 台の間で双方向の通信が行える。片方が親機、もう片方が子機となる。親機となるか子機となるかは、13 番端子の状態が決まる。

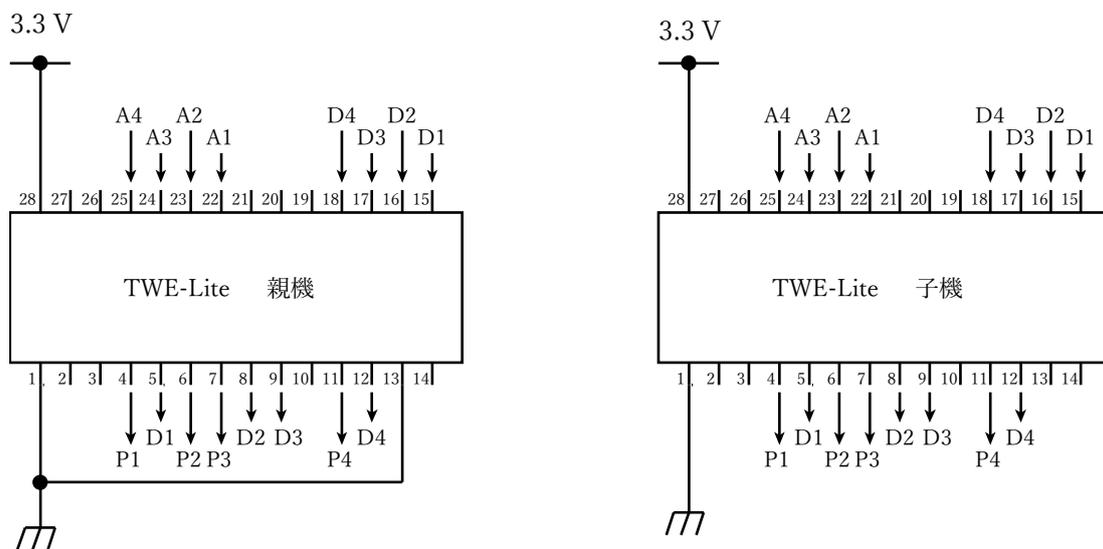


図1 TWELITE の基本的な使い方

基本的な接続を図1に示す。要点を以下にまとめる。

- 電源電圧は2.3V～3.6Vである。5Vをかけると壊れる。通常は3.3Vで用いる。
- 28番ピンを電源に接続し、1番ピンをGndに接続する。
- デジタル入力端子D1～D4（15～18番端子）に入力した信号（0V/3.3V）は、もう一つのTWELITEのデジタル出力端子D1～D4（5, 8, 9, 12番端子）から出力される（0V/3.3V）。
- アナログ入力端子A1～A4（22～26番端子）に入力した電圧は、もう一つのTWELITEのPWM出力端子P1～P4（4, 6, 7, 11番端子）の出力波形のduty比を決める。

- 13 番端子を Gnd に接続すると親機、open にすると子機となる。
- 子機は複数存在できる。親機は全ての子機からの信号を受け取る。
- 入力端子に変化があった場合に、送信が発生する。使わないアナログ入力は 3.3 V の電源線か Gnd に接続する。アナログ入力端子に何も接続しない（フローティング状態）と、値が頻繁に変化するため、大量の通信が発生し、動作が鈍くなる。

2 動作確認

ブレッドボードに図 2 の回路を組んで動作確認を行う。

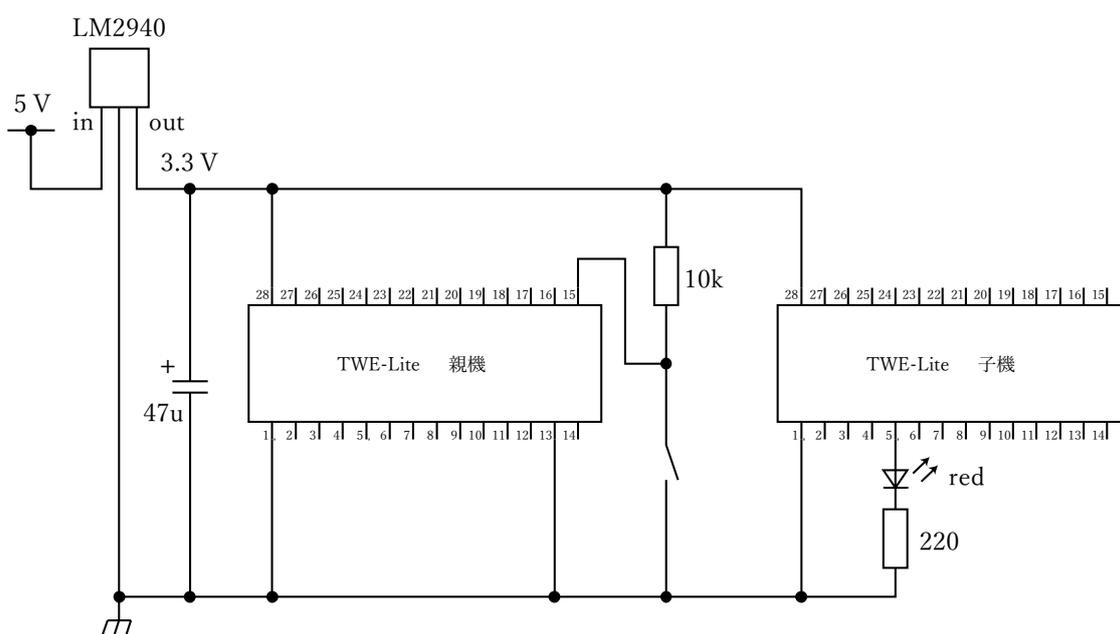


図 2 確認用回路

スイッチを on にすると親機の 15 番端子は 0 V, off にすると 3.3 V になる。これを受けて子機の 5 番端子が 3.3 V または 0 V になり、LED がスイッチの状態に応じて点灯／消灯する。

電解コンデンサは足が長い方が+、LED は足が長い方が+である。

3 応用例

デジタル送受信を 1 系統使う。親機の D1 入力端子（15 番端子）に入力した信号を子機の D1 出力端子（5 番端子）からとりだす。親機（入力側）として「光センサを使う場合」「超音波センサを使う場合」「人感センサを使う場合」の回路図を図 3～図 5 に示す。

送信回路（光センサ）

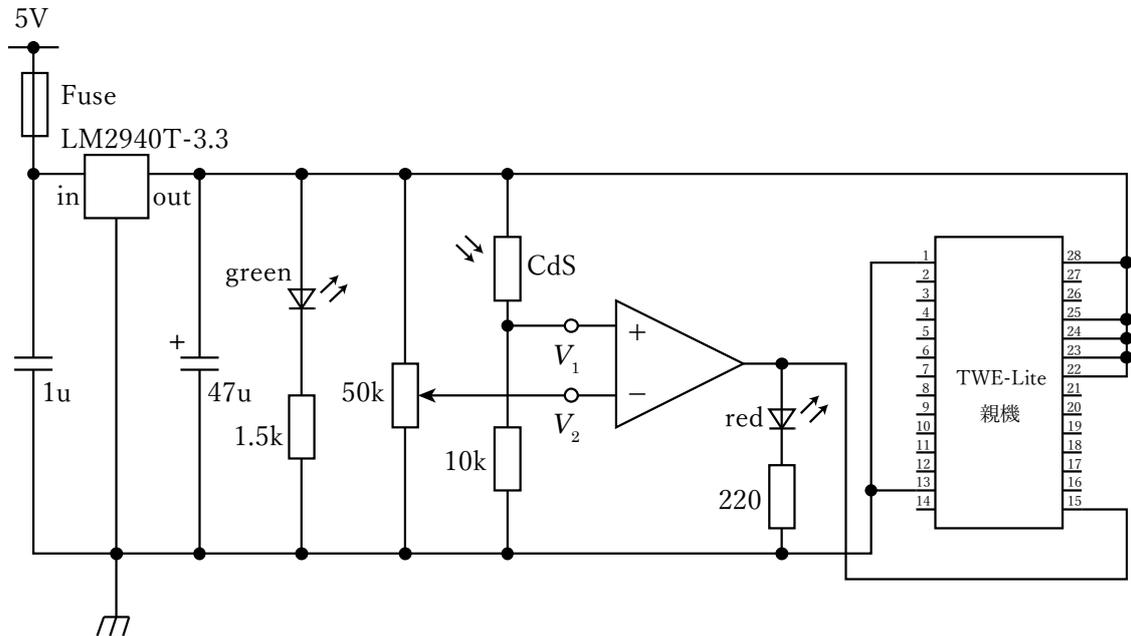


図3 光センサを入力とする回路

LM2940 は 5 V から 3.3 V を作り出すための 3 端子レギュレータである。1 uF と 47 uF のコンデンサは 3 端子レギュレータの発振防止のためにある。特に 47 uF のコンデンサは必須で、これがないと出力が発振（例えば電圧波形が 2 V-4 V の間を往復するノコギリ波となる）することがある。

緑色 LED は電源ランプである。

光の強さによって CdS セルの抵抗値が変化する。暗いと抵抗が大きくなり、明るいとき小さくなる。 V_1 は 3.3 V を「CdS の抵抗値」と「10 k Ω 」で分圧したときに得られる電圧なので、明るいほど大きくなる。CdS によって抵抗値は異なるので、10 k Ω の抵抗は交換可能なように、ソケットに差す。 V_2 は閾値であり、50 k Ω の半固定抵抗のつまみをマイナスドライバで回して調節する。半固定抵抗は電圧 V_2 を精密に調整できるようにするため、多回転式を用いる。

オペアンプはコンパレータとして使用する。入出力フルスイングの単電源用オペアンプを使用する。オペアンプの出力は 0 V か 3.3 V の二者択一である。 $V_1 > V_2$ のとき 3.3 V、そうでないとき 0 V である。その結果を TWELITE の D1（デジタルの 1 番）入力である 15 番端子に入力する。赤色 LED はオペアンプの出力が High か Low かを確認するためである。

回路図では光センサとして CdS セルを使っている。CdS セルは光量によって抵抗値が変わるので、わかりやすく使いやすい。しかし、カドミウムを使っているので、使用は推奨されない。CdS セルを使いたくない場合は、CdS の場所をフォトトランジスタ、あるいは

はフォトダイオードに置換すればよい。フォトトランジスタやフォトダイオードは電流源として働くので、電源---フォトトランジスタ---抵抗---Gnd と接続し、+の部分の電圧を利用する。CdS を使う場合と回路図は同じであるが、単独で存在するときにはテストで特性を測定することはできないので、CdS セルより分かりにくい。

送信回路（超音波センサ）

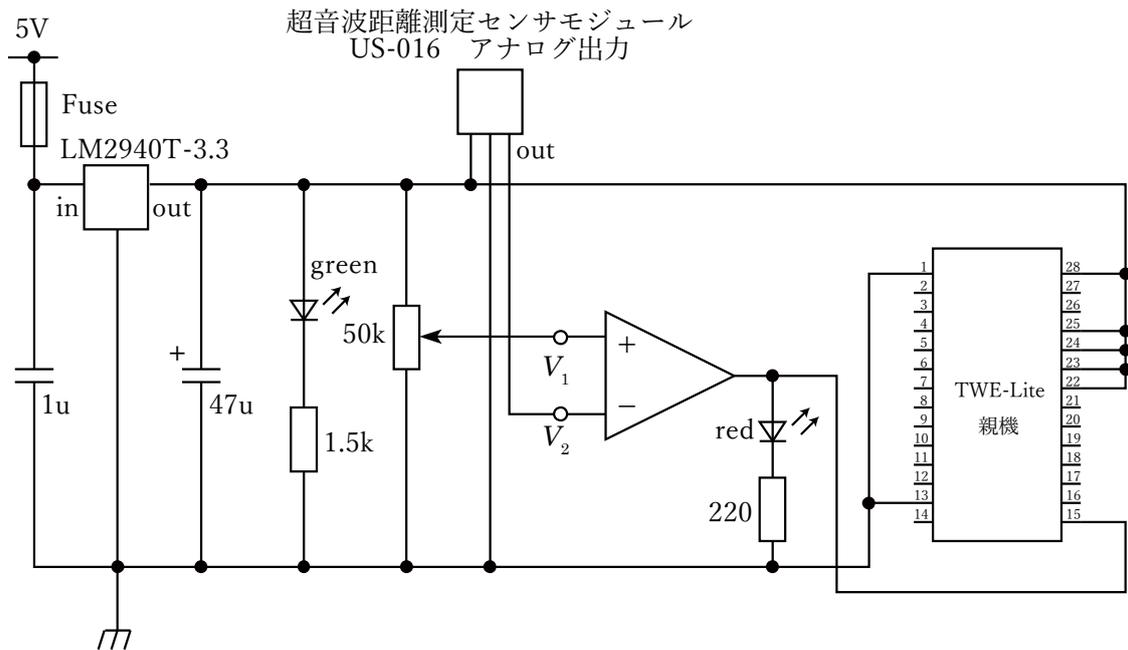


図4 超音波センサを使う場合の回路図

アナログ出力の超音波センサがある。amazon で販売されている US-016 というセンサに電源電圧 3.3 V を与えた場合、物体とセンサの距離が 30 cm~3 m と変化するとき出力が 0.23 V~3.3 V と変化する。 V_1 を調節することで「○ m 以内に近づいたら on (V_2 が □ V 以下になったら on)」という機能を実現できる。しきい値電圧をオペアンプの+入力、超音波センサからの出力をオペアンプの-入力に入れる。光センサのときとは逆である。

送信回路（人感センサ）

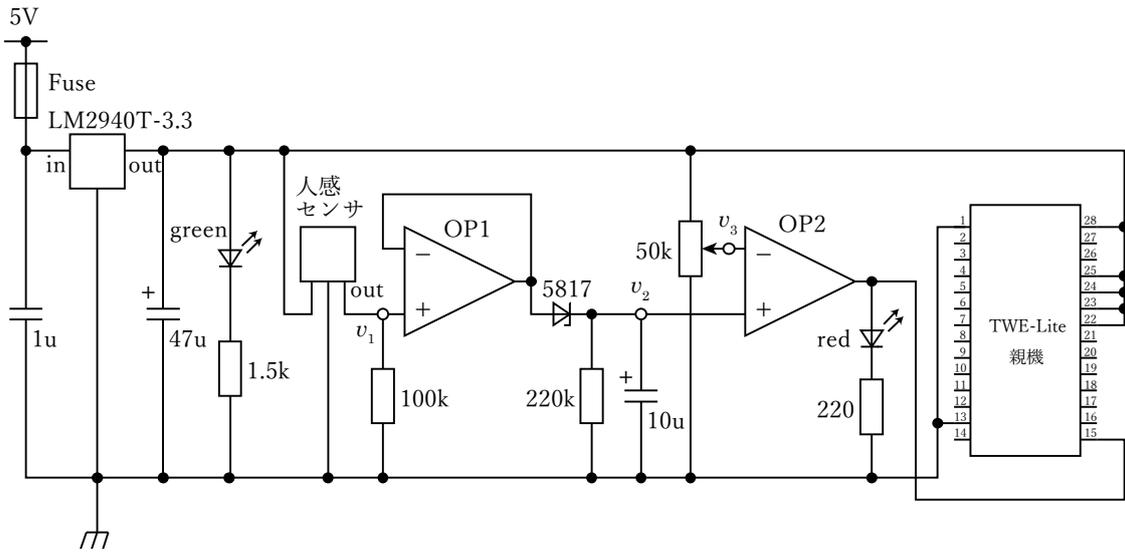


図5 人感センサを使う場合の回路図

オペアンプは入出力フルスイングの単電源用オペアンプを用いる。オペアンプ OP1 はバッファとして用い、OP2 はコンパレータとして用いる。

人感センサの out は 33 kΩ以上の抵抗でプルダウンする必要がある。この回路図では 100 kΩでプルダウンしているが、33 kΩ以上であれば、別の値でも問題ない。

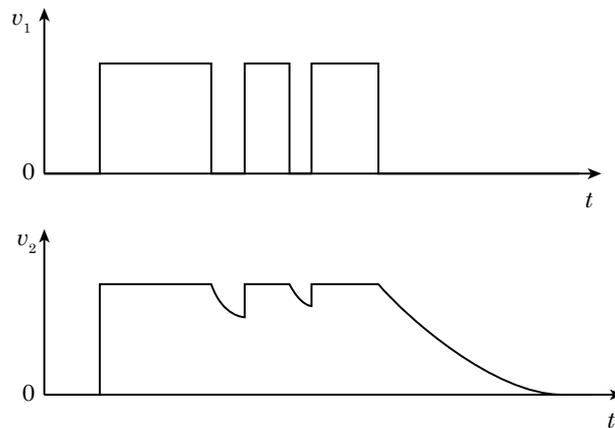


図6 波形の平滑化

人感センサの出力 v_1 は図6のように不連続なパルス波である。これを 5817 (ショットキーバリアダイオード)、220 kΩの抵抗、10 µF のコンデンサで平滑化し、 v_2 のような波形を得る。ショットキーバリアダイオードは 5817 でなくてもよい。普通のダイオードは順方向電圧が 0.7 V 程度なのに対して、ショットキーバリアダイオードは順方向電圧が 0.3 V 程度である。電圧降下を小さくするため、ショットキーバリアダイオードを用いる。220

kΩの抵抗と 10 uF のコンデンサの時定数 CR によって、減衰の度合いが決まる。時定数は $CR = 220 \text{ k} \times 10 \mu = 2.2$ 秒である。OP2 はコンパレータとして働いており、出力は $v_2 > v_3$ のとき 3.3 V、そうでないとき 0 V である。50 kΩの半固定抵抗を調節することによって v_3 を変更し、人が去った後の on の時間を調節する。 v_3 は 0.3 V~2.5 V 程度の値に設定する。大きな値に設定するほど、人が去った後の on 時間は短くなる。

受信回路

子機は親機から送られた来た 0/1 の信号を受けて、1 が来たら光と音の両方で知らせる。最もシンプルな受信回路を図 7 に示す。

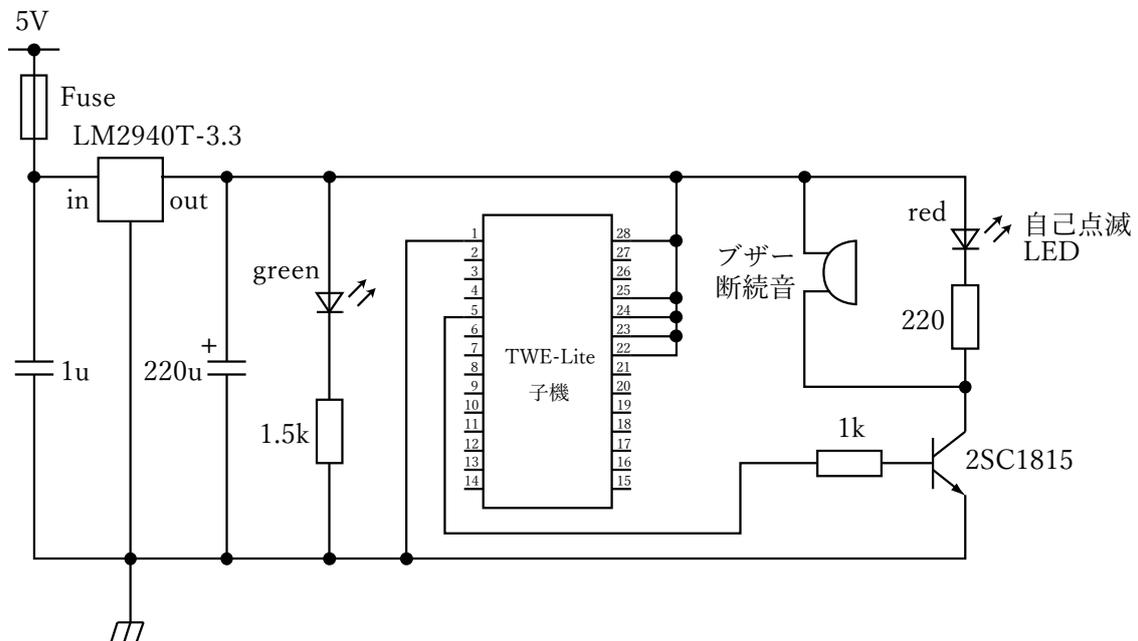


図 7 シンプルな受信機

ブザーは電流をある程度（製品にもよるが、最大で 20 mA 程度）消費するので、3 端子レギュレータの出力側のコンデンサの容量を大きくしている。47 uF ではブザーが鳴ると不安定な状態となることがある。

TWELITE の 5 番端子から 0 V か 3.3 V が出力される。3.3 V が出力された場合に、ブザーを鳴らし、LED を点滅させる。

この回路では LED とブザーの音は同期しない。同期させるには、方形波発振回路を組んで、その出力でトランジスタを on/off する。ここでは回路をシンプルにすることを優先して、断続音が鳴るブザーと自己点滅 LED を使用する。

4 部品に関する知識

三端子レギュレータ

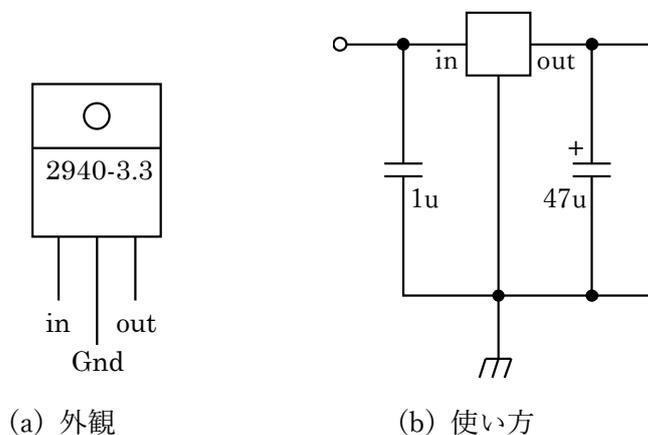


図8 三端子レギュレータ

図8 (a) のような外観をしている。3本の足があり、ほとんどの製品は左端が入力、中央がGnd、右端が出力である。3.3V, 5Vのような電圧を得るために用いる。通常は入力電圧として、出力電圧より1V以上高い電圧を入れる。入力側と出力側にコンデンサを入れる。コンデンサの値はデータシートに載っている値を用いる。データシートに示されている値より大きな値を使うのは問題ない。

ダイオード

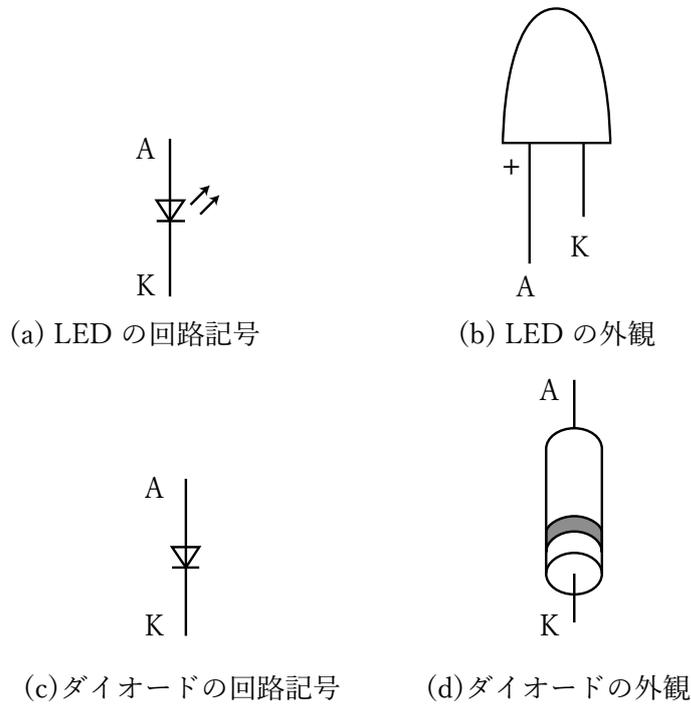


図9 ダイオードの回路記号と外観

図9(a)はLEDの回路記号である。端子に名前がついており、Aはアノード、Kはカソードの略である。その外観が同図(b)である。足が長い方を電源の+側に接続する。図9(c)がダイオードの回路記号である。その外観が同図(d)である。回路記号の矢印の矢の先端が、帯の部分に対応する。

電解コンデンサ

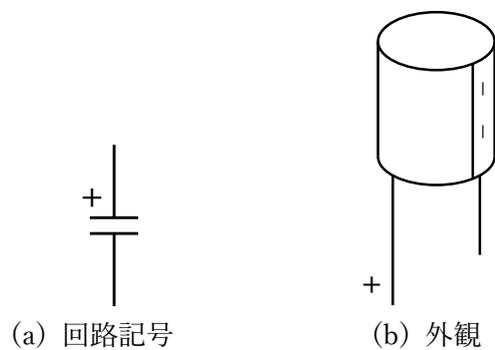


図10 電解コンデンサ

図10(a)が電解コンデンサの回路記号、同図(b)がその外観である。コンデンサは極

性を持つものと、持たないものがある。電解コンデンサは極性を持ち、+側の端子の電圧が、常に-側の端子の電圧より高くなくてはならない。直流電源を安定化させるために用いる。逆接続すると、発熱し、場合によっては破裂するので危険である。

+側の端子が長くなっており、-側の端子にマイナス記号が書かれている。

トランジスタ

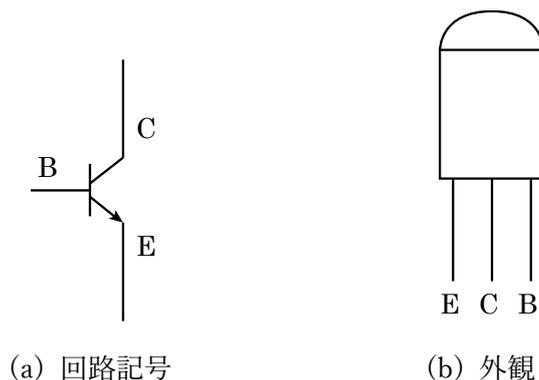


図 11 npn 形トランジスタ

図 11 (a) は npn 形トランジスタの回路記号である。3つの端子があり、ベース (B)、コレクタ (C)、エミッタ (E) と名前がついている。外観が同図 (b) である。今回使用する 2SC1815 というトランジスタの場合、平らな面を正面にして ECB (エクボと覚える) の順番に端子が並んでいる。2SC1815 は、日本において電子工作の定番として使われるトランジスタであり、2SC のように JIS で規定された型番を持つトランジスタは、ほとんどの場合「エクボ」の順番で並んでいるが、常にそうとは限らない。たとえば、アメリカでポピュラーな 2N2222 というトランジスタは、平らな面を正面に見て、EBC の順番に並んでいる。トランジスタを使用するときは、その都度データシートを見て確認することが必要である。

人感センサ

3 個の端子を持つ素子である。図 12 に端子配置を示す。アナログ出力の温度センサなど、電源用の端子が 2 個、出力用端子が 1 個の計 3 個の端子を持つ素子は多い。

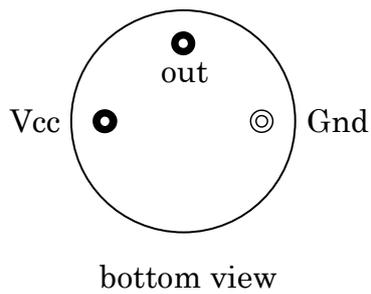


図 12 人感センサの端子配置

ブザー

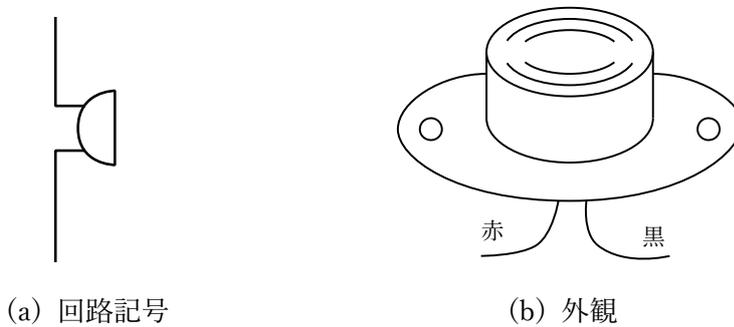


図 13 ブザー

図 13 (a) にブザーの回路記号、同図 (b) にその外観を示す。ブザーには直流電圧をかけると鳴るものと、交流電圧をかける必要があるものに分かれる。直流電圧をかけると鳴るものは、連続音と断続音の製品がある。今回のブザーは断続音の製品である。赤色の線を電源のプラス側、黒色の線を Gnd 側に接続する。

IC の端子番号

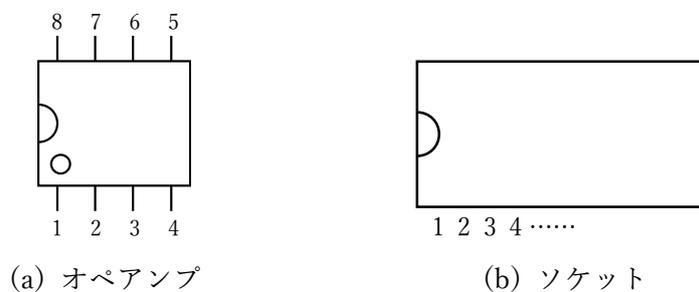


図 14 IC とソケット

図 14 (a) はオペアンプを上から見た図である。8 個の足があり、番号がついている。1

番ピンのところに丸印が入っており、1 番ピン側に半円形の切れ込みが入っている。番号は図のように反時計回りについている。オペアンプなどを差すソケットも同図 (b) のように 1 番ピン側に切れ込みが入っている。ソケットをはんだ付けするときは、向きに注意する。オペアンプをはんだ付けするとき、方向を間違えて付けると、電源を入れた瞬間に非常に熱くなって大変なことになるが、ソケットを間違えてはんだ付けしても、差し込むオペアンプの向きに気をつければ、動作に支障はない。ただし、いったん外した後に、誤って取り付けてしまうリスクはある。

オペアンプ

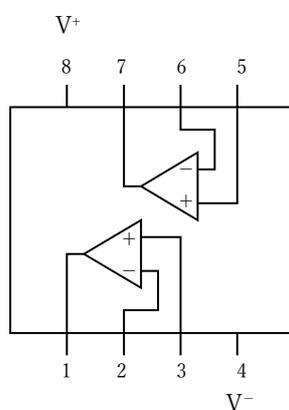


図 15 オペアンプ

図 15 にオペアンプの内部接続図を示す。通常、オペアンプは 8 本足の IC である。8 番ピンが + 電源端子、4 番ピンが - 電源端子である。残りの 6 本足がオペアンプの入力と出力に使われる。1 番と 7 番が出力であり、出力の隣が「- 入力」である。オペアンプを逆差しすると (8 番ピンを Gnd, 4 番ピンを電源に接続する)、非常に熱くなり、壊れる。いったん熱くなったオペアンプは、冷えた後に動作しても、何日か後に壊れていることがあるので、即座にゴミ箱行きにするのが無難である。

半固定抵抗

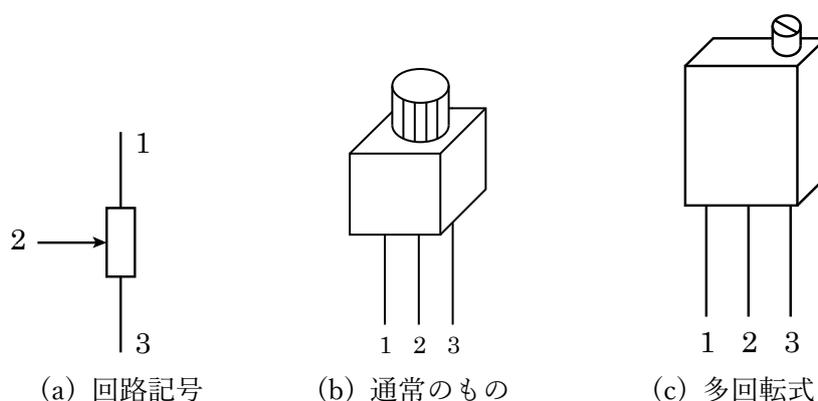


図 16 半固定抵抗

図 16 (a) に半固定抵抗の回路記号を示し同図 (b)(c) に外観を示す。通常の半固定抵抗は小型のマイナスインドクタで必要があるが、同図 (b) は手で回せるタイプの製品であり、便利である。つまみを回すことにより 1-2 間と 2-3 間の抵抗値が変化する。その合計は一定である。今回は分圧することにより任意の電圧を取り出すのに用いる。(c) は多回転式であり、光センサ、超音波センサのときに用いる。

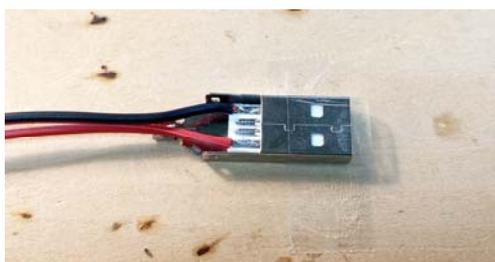
5 製作

電源ケーブル

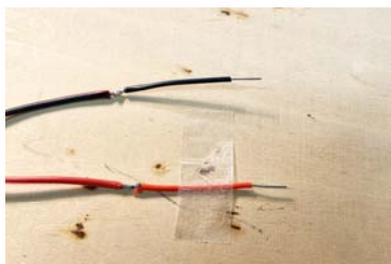
直流 5 V を得る方法として、AC アダプタを用いる。図 17 のように USB 端子のオスにおいて、プラスチックの部分を下側にしたとき、右端が電源端子、左端が Gnd である。



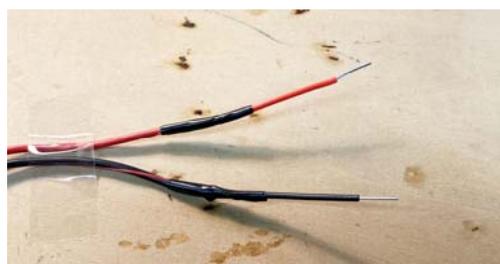
図 17 USB 端子を正面から見たときの電極配置



(a) USB コネクタ側



(b) ブレッドボード用ワイヤをハンダ付け



(c) 絶縁テープを巻いて絶縁

図 18 製作例

製作例を図 18 に示す。USB コネクタ側において、電源端子は外側の 2 個の端子である。内側の 2 個の端子は信号線なので、本電子工作では使わない。プラスマイナスを逆にしないように注意する。作成後、AC アダプタに接続して、テスタで測って +5 V であることを確認する。逆にはんだ付けした場合、-5 V になる。

内側の端子と外側の端子が接触しないように注意すること。もし接触していた場合、PC の USB 端子など信号線も使用する機器に挿した場合、信号線と電源線がショートすることになり、機器の USB 端子が故障する恐れがある。

受信回路

レイアウトの例を図 19 に示す。

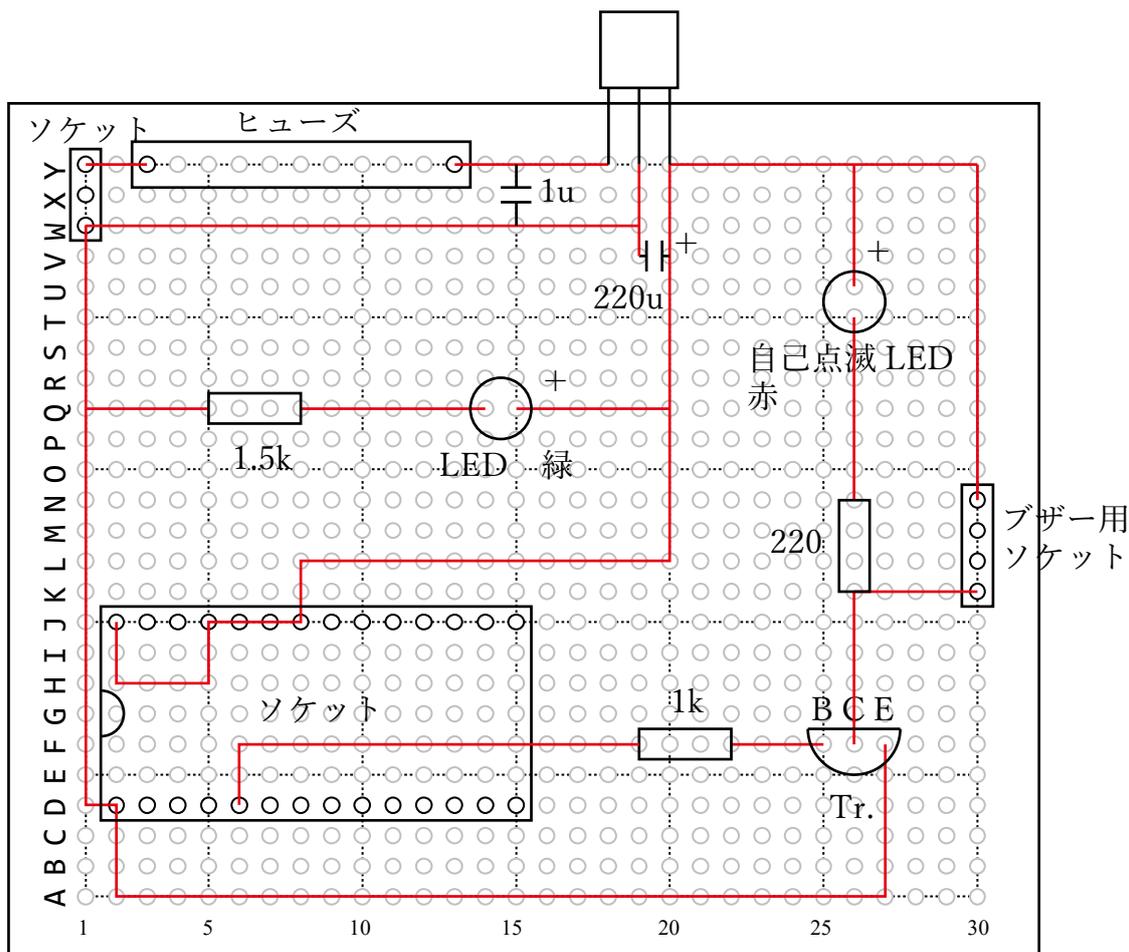


図 19 受信回路のレイアウトの例

抵抗とコンデンサは向きに気にせずはんだ付けしてよいが、それ以外の部品は向きを持つので、はんだ付けときに逆にはんだ付けしてしまわないよう、注意する。

ハンダ付けの手順

- ランドと部品の足を温め、暖まってからハンダをあてる。ただし、コテ先の熱が伝わりにくいときは、ハンダを流し込み、ハンダを利用して熱を伝える。
- 離す順序はハンダ→コテ先
- 部品の足はハンダ付けが終わってから切断するとよい¹。

¹ ニッパーで切るときにストレスをかけてしまい、クラックが入る恐れがある。それが経年変化により接触不良を引き起こすので、ハンダ付け前に切断しておくべきであるという意見がある。長期間使うものは、先に足を切っておく方がよいかもしれない。

ハンダ付け時の注意事項

- 半導体部品（LED、ダイオード、トランジスタ）は熱に弱いので、ハンダ付けするときに必要以上に加熱し続けない。10秒以上は避けた方が無難である。
- ダンゴになる、あるいは先が尖るときはコテ先の温度が高すぎるか低すぎるかのどちらかである。コテ先をスポンジでこすってキレイにすることで、熱の伝わり方が良くなり解消するかもしれない。
- コテ先を切れにするスポンジは十分に水を含ませておく。

配線のノウハウ

- 配線は錫メッキ線だけでなく、部品の足も利用する。
- 部品を差し込んだ穴は、そこが他の部品との接続点でない場合は、ハンダ付けしない（図20参照）。失敗したときに部品の取り外しが困難になる。
- 錫メッキ線の配線時、仮固定のために洗濯ばさみをつかうと便利
- ソケットを仮留めするときはセロテープを使う
- 錫メッキ線や部品の足を押さえたいときは小さなマイナスイボを使う
- ビニール線をハンダ付けするとき、あらかじめハンダメッキをしてから、ハンダ付けするとききれいにつく（図21参照）。

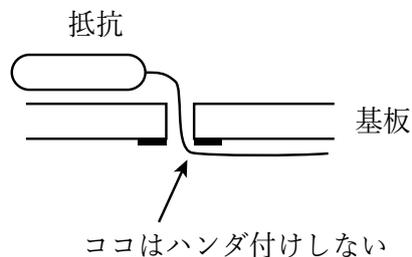


図20 ハンダ付けをしない場所



図21 ハンダメッキしたビニール線

確認作業

ヒューズを取り付け、以下の確認作業を行う。

1. オペアンプと TWELITE を取り付けない状態で、テスタで抵抗を測定する。

(a) 電源の+端子と-端子がショートしていない (0 Ωならショートしている)

(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

(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. 電源を接続する

(a) 緑色 LED が点灯しないときは、その原因を調査 (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、「アース」と「以下に示す測定点」の間の電圧を測定する。

- ・ 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

送信回路

送信回路のレイアウト図は自力で書く。図 22～図 24 は参考例である。

人感センサ使用

ICB-93S

3 端子レギュレータ

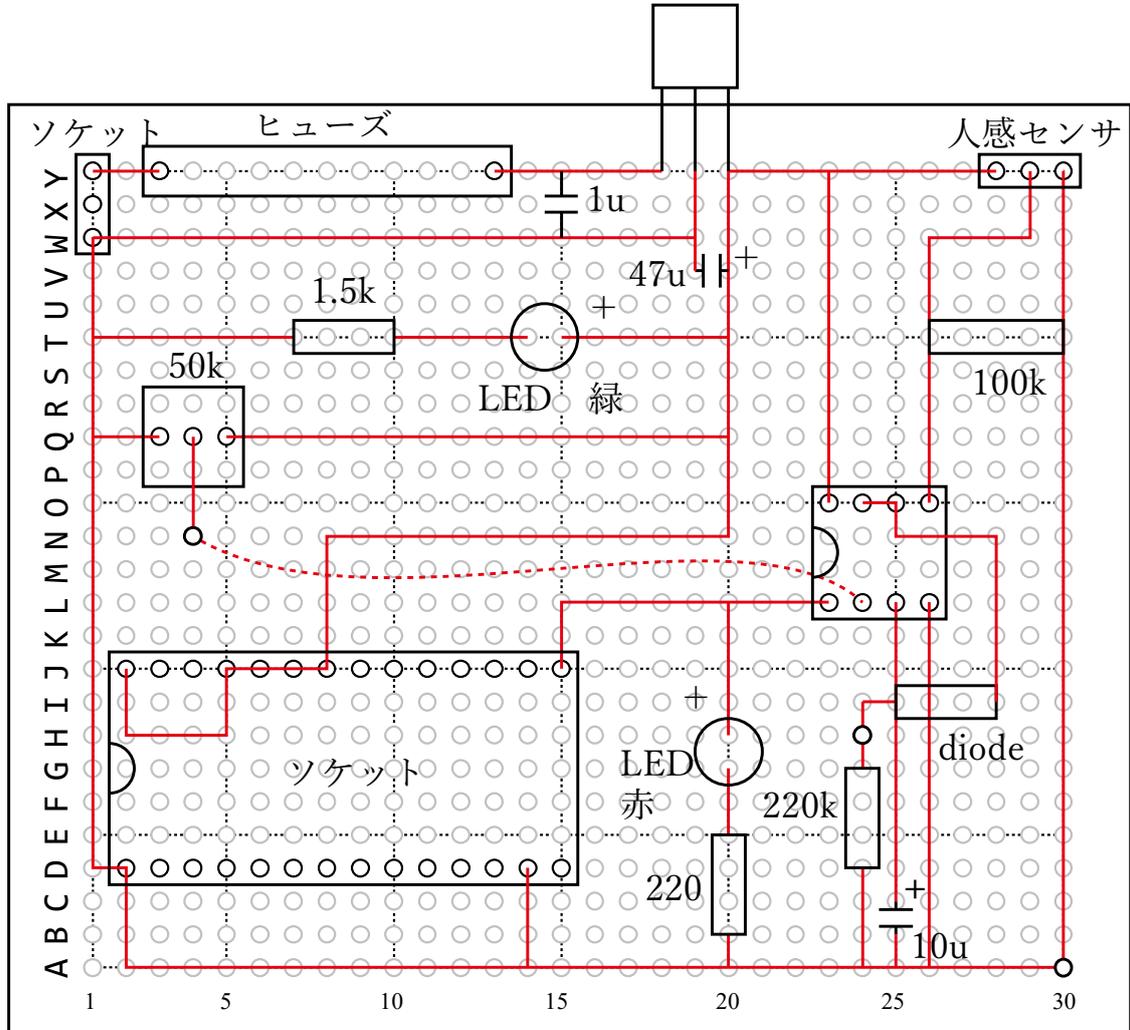


図 22 送信回路のレイアウト例 (人感センサ)

電圧のチェックポイント

TWELITE・オペアンプ・人感センサを外した状態で以下をチェック

- ・ TWELITE : 1, 13 番端子は 0 V
- ・ TWELITE : 28, 25, 24, 23, 22 番端子は 3.3 V
- ・ 人感センサ : 電源端子は 3.3 V
- ・ 人感センサ : アース端子は 0 V

- ・オペアンプ：8 番端子は 3.3 V
- ・オペアンプ：4 番端子は 0 V
- ・オペアンプ：2 番端子は可変抵抗を調節して 1.6 V 程度にする
- ・人感センサの出力を 3.3 V に設定したとき（人感センサの電源端子と出力端子をブレッドボードワイヤでショート）、オペアンプの 5 番端子は 3.3 V 人感センサの出力を 0 V（アース端子と直結）に設定したときオペアンプの 5 番端子は 0 V

オペアンプを装着し（TWELITE・人感センサは装着しない）、以下をチェック

- ・人感センサの出力を 3.3 V に設定したとき赤色 LED は点灯するか？
- ・そのとき TWELITE の 15 番端子は 3.3 V か？

以上が達成されたら、オペアンプ・TWELITE・人感センサを接続し、on/off が送信されるかチェック

光センサ使用

ICB-93S

3端子レギュレータ

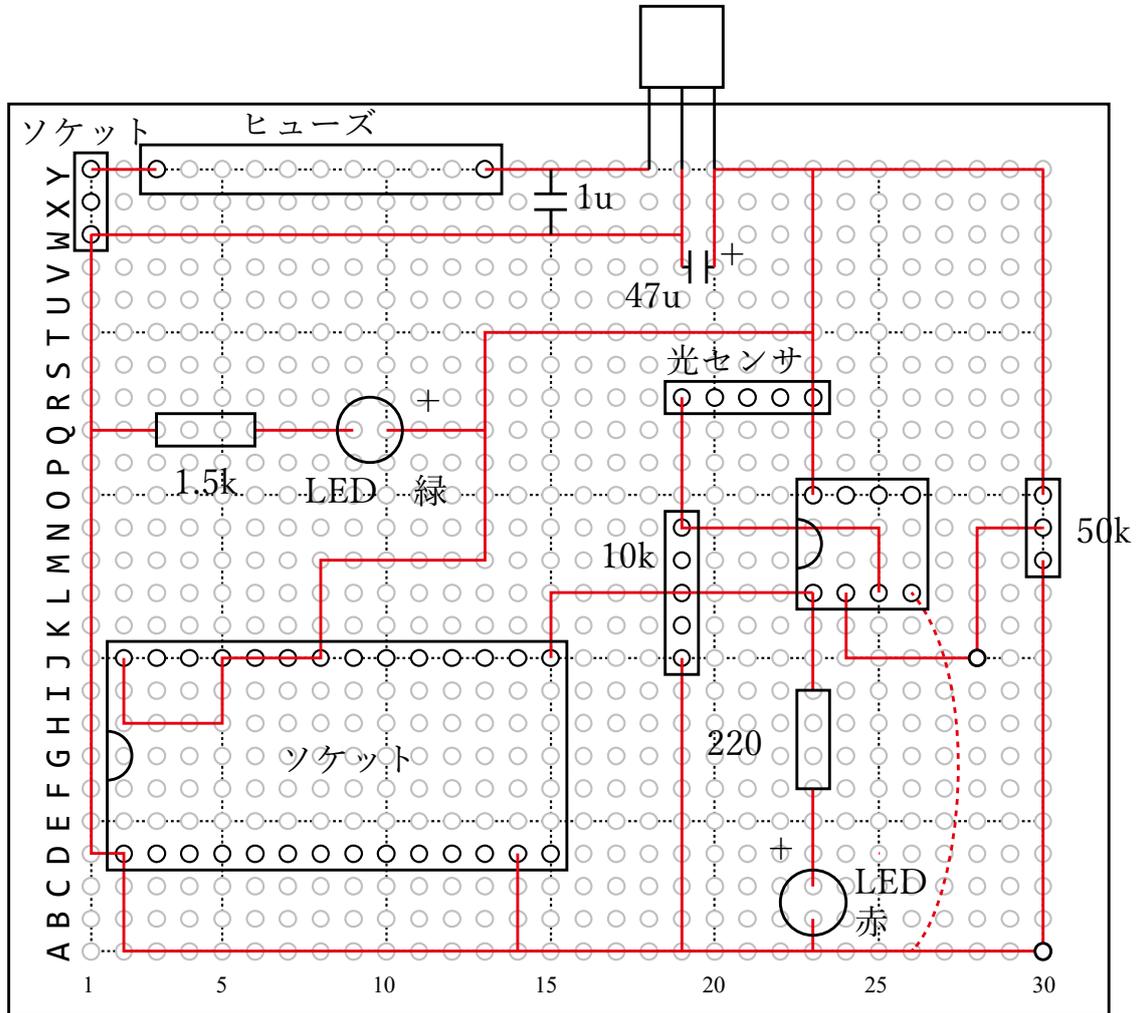


図 23 送信回路のレイアウト例 (光センサ)

電圧のチェックポイント

TWELITE とオペアンプを外し、光センサを接続した状態で以下をチェック

- ・ TWELITE : 1, 13 番端子は 0 V
- ・ TWELITE : 28, 25, 24, 23, 22 番端子は 3.3 V
- ・ オペアンプ : 8 番端子は 3.3 V
- ・ オペアンプ : 4 番端子は 0 V
- ・ オペアンプ : 3 番端子 (光の量で変化する) は明るいときと暗いときで変化するか?
- ・ オペアンプ : 2 番端子を「3 番端子の最小値と最大値の中間の値」に設定する

TWELITE・オペアンプ・超音波センサを外した状態で以下をチェック

- ・ TWELITE：1, 13 番端子は 0 V
- ・ TWELITE：28, 25, 24, 23, 22 番端子は 3.3 V
- ・ 超音波センサ：電源端子は 3.3 V
- ・ 超音波センサ：アース端子は 0 V
- ・ オペアンプ：8 番端子は 3.3 V
- ・ オペアンプ：4 番端子は 0 V
- ・ オペアンプ：3 番端子に接続されている可変抵抗を調節して 1.6 V 程度に設定
- ・ 超音波センサの出力（オペアンプの 2 番端子）をテスタで測定し、距離によって異なる電圧が得られることを確認・

オペアンプを装着し（それ以外は装着しない）、以下をチェック

- ・ 超音波センサの出力を 3.3 V に設定したとき赤色 LED は点灯するか？
- ・ そのとき TWELITE の 15 番端子は 3.3 V か？

以上が達成されたら、オペアンプ・TWELITE・超音波センサを接続し、on/off が送信されるかチェック

以上