

Tutorial 2B

システム創造プロジェクト TA: 持田 峻佑

2018 年 10 月 9 日 (火)

1 はじめに

Tutorial 2B では, Tutorial 3 で行うライントレースのためにフォトリフレクタ回路を製作することを目標とする。ライントレースとは地面に引かれた線にそって進むことであり, そのためには機体の目となるセンサが必要となる。本チュートリアルでは, フォトリフレクタと呼ばれる素子を用いた, センサの下の地面が白色か黒色かを見分けることのできるセンサ回路を製作する。

また, 本チュートリアルの回路図・配線図を参考に実装することを通して, フォトリフレクタ・FET の使い方に触れること, 電子工作に慣れることも目的としている。

2 回路図

今回製作するセンサ回路 1 個分の回路図を Fig. 1 に示す。今回はこのセンサ回路を 3 個, 1 つのユニバーサル基板上に実装する。(4 節を参照)

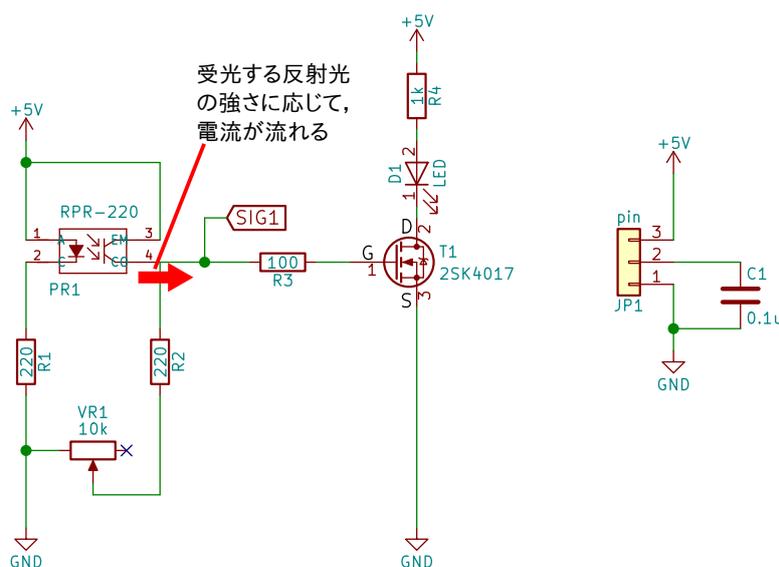


Fig. 1 センサ回路 回路図

3 部品の説明

3.1 フォトリフレクタ (RPR-220)

フォトリフレクタとは, Fig. 2 のように赤外線 LED (発光部) とフォトトランジスタ (受光部) を組み合わせたセンサである。フォトトランジスタは受光した光の量によって出力電流が変化する素子であるため, 赤外線 LED から放出された光を対象物に反射させてフォトトランジスタで受光させると, その反射光の強さを知ることができる。そのため, 対象物の有無や位置, 表面の反射率の違いの検知に使用される。今回のライントレースでは, 白い床と黒い線では光の反射率が異なる (Fig. 3 参照) ことを利用し, センサの下の地面が白色か黒色か, また, どの程度の割合で白と黒の上に乗っているかを測定するために, フォトリフレクタを用いる。

今回はフォトトランジスタの出力を Arduino のアナログ入力ピンで読み取るために SIG1-GND 間に抵抗を入れる。抵抗値とフォトトランジスタの出力電流から SIG1 の電位が決まる。反射光が強ければ (センサが白い床の上にあると

き) SIG1 の電位は高くなり、反射光が弱ければ (センサが黒い線の上にあるとき) SIG1 の電位は低くなる。この電圧をマイコンの AD 変換機能を利用して測ることで、反射光が強いかわかり、すなわちフォトリフレクタが線上にあるかわかりを判断することができる。

ただし、世の中の製品は完全に同じ性能を有することはなく、必ず個体差がある。今回使うフォトリフレクタも例外ではなく、同じ地点に 2 つのフォトリフレクタを置いても、出力される電流や SIG1 の電位はそれぞれで異なる。今回製作する回路では、その差を埋めるために感度調節用の可変抵抗を用意する。可変抵抗を回して抵抗値を変えることで、同じ反射光で同じ電位になるように調節できるようにする。

注意

基本的にフォトリフレクタは対象物と近くないと機能しない。RPR-220 は対象物 (今回は地面) と 6-8 mm 離れている状態が望ましい。したがって、センサ回路の基板を取り付けるときに、スペーサなどを用いて地面とフォトリフレクタの間の距離を調節するとよい。

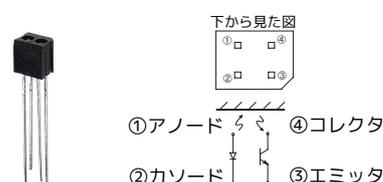


Fig. 2 フォトリフレクタ RPR-220 概要
(出典: <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-11401>)

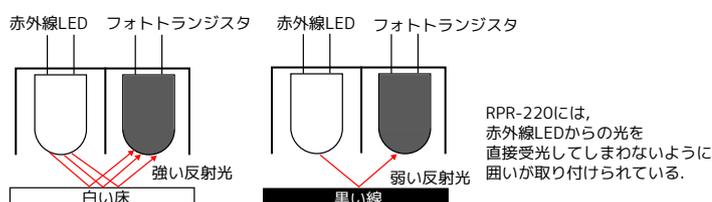


Fig. 3 フォトリフレクタによる白色と黒色の検知

3.2 Nch FET (2SK4017)

今回は、回路の動作チェックのために、フォトリフレクタの出力を可視化するための LED を取り付けている。この LED を ON/OFF するスイッチングの目的で Fig. 4 のような N チャネルの FET を使用している^{*1}。FET は基本的にはゲート、ドレイン、ソースの 3 本のピンによって構成されている。簡単に言ってしまうと、Nch FET はゲートとソース間の電圧がスレッシュホールド電圧 (しきい値電圧) V_{th} を超えるとドレイン-ソース間が導通するものだと考えてくれると分かりやすい。逆にスレッシュホールド電圧以下である場合にはドレイン-ソース間は遮断される (Fig. 5 参照)。今回使用する FET は 2SK4017 でスレッシュホールド電圧は 1.3-2.5[V] である^{*2}。SIG1 の電位が低いとき、すなわちフォトリフレクタが黒い線上にあるとき、ドレイン-ソース間が遮断され、LED は点灯しない。逆に SIG1 の電位が高いとき、すなわちフォトリフレクタが線外にあるとき、ドレイン-ソース間が導通し、LED は点灯する。

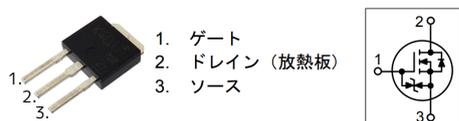


Fig. 4 Nch FET 2SK4017 概要
(出典: <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-07597/>)

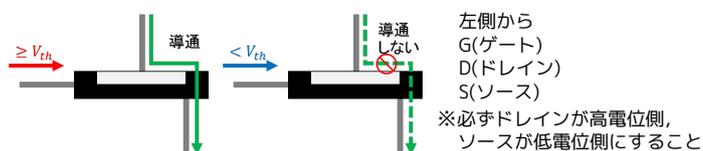


Fig. 5 Nch FET の動作イメージ

*1 他にも P チャネルの FET というものがあり、挙動が全く異なるので "FET" という部品が一概に同じ動作をすると思わないこと

*2 FET の温度によって変化する。2SK4017 の場合 25°C で 1.95V 程度である。

3.3 その他

素子	値	用途
R1	220[Ω]	フォトリフレクタの赤外線 LED の電流調整
R2&VR1	220[Ω], 10[kΩ]	フォトリフレクタの出力電流 電圧への変換及び出力調節
R3	100[Ω]	ゲート抵抗 (ゲートに入力される電圧のチャタリング防止)
R4	1[kΩ]	LED1, LED2 の電流調整
C1	0.1[μF]	フォトリフレクタ出力のチャタリング防止 (信号の安定化)
D1	なし	デバッグ用 LED
JP1	なし	Arduino と接続するためのピンヘッダ

4 配線

4.1 配線図・写真

センサ回路の配線図を Fig. 6, 製作物の写真を Fig. 7 に示す.

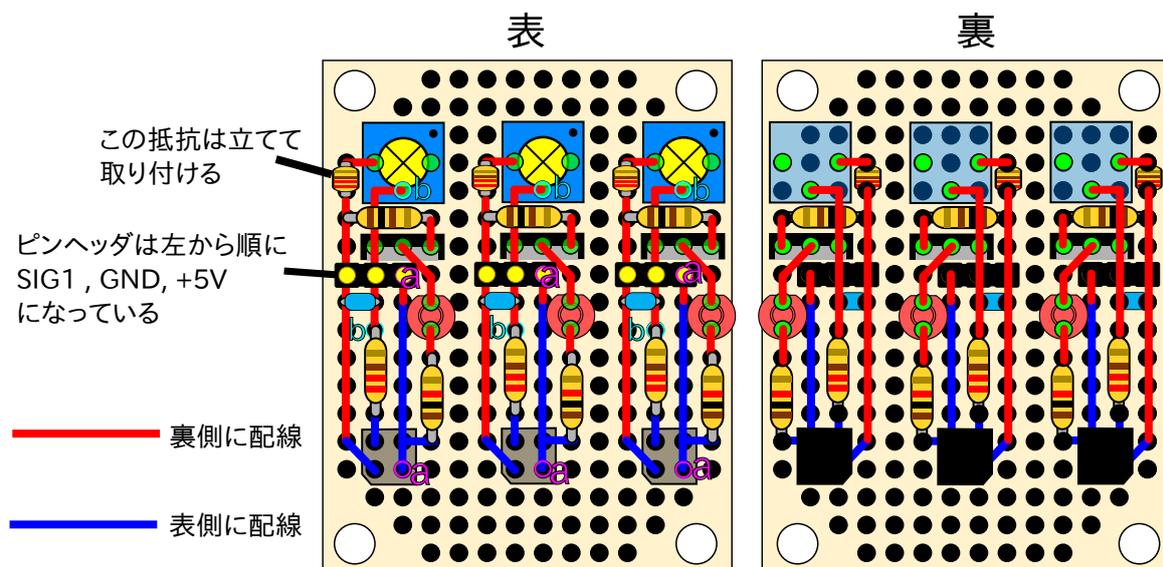


Fig. 6 センサ回路 配線図

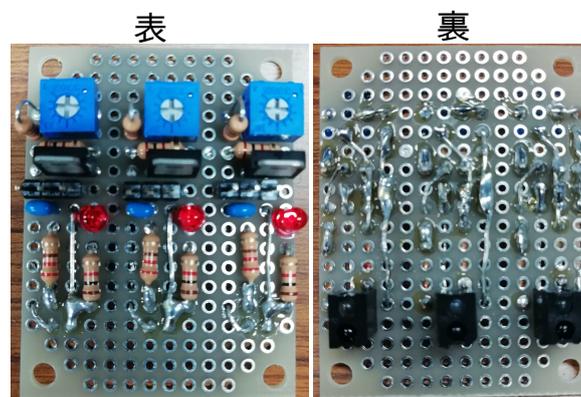


Fig. 7 センサ回路 写真

4.2 注意点・アドバイス

以下の点に気を付けてはんだづけを行うこと。

 警告	フォトリフレクタを加熱し続けると壊れる可能性があるため、1つの穴のはんだづけに時間をかけすぎたと思った際は、十数秒待って冷ました方が良い。
 警告	抵抗器は基板の内側にあるものからはんだづけをした方がよい。後から差し込むことは困難である。
 注意	実際にはんだをつける前に、配線図と実物を見比べて、素子の向きや位置に間違いがないかよく確認すること。
 注意	フォトリフレクタは裏側に取り付けること。(今回使用するユニバーサル基板は両面スルーホール基板なので、これといった表裏は存在しない。自分で決めること。)
 POINT	抵抗やコンデンサをはんだづけして余ったリード線はすぐには切らず、折り曲げて配線として使えるかどうかを考える。もしできそうなら、リード線の付いた部品はリード線を切らずに通りはんだづけし、最後に切るか折り曲げて配線にできるかできると良い。

また、基本的には背の低い部品から順にはんだづけすることが望ましい。今回は配線の都合上、以下の順序ではんだづけすることを推奨する。

1. フォトリフレクタ
2. 抵抗器
3. コンデンサ
4. 可変抵抗
5. LED
6. FET
7. ピンヘッダ
8. その他配線

5 動作確認・機体への取り付け

はんだ付けが終わったら動作確認を行う。この資料では以下の手順で動作確認を行う。

1. 電源(+5V と GND) がそれぞれ導通すべき箇所まで導通しているかのチェック
2. 電源(+5V と GND) が導通していないかのチェック
3. 動作確認用 LED のチェック

5.1 +5V と GND がそれぞれ導通すべき箇所まで導通しているかのチェック

まずは、電源が回路の全域に正しく配線されているかどうかを確認する。テスターの端子を Fig. 6 の点 a^{*3} で示した 2 箇所当て。点 a 同士が導通していれば、+5V の部分が正しくはんだ付けされている。

つぎにテスターの端子を Fig. 6 の点 b^{*4} で示した 2 箇所当て。点 b 同士が導通していれば、GND の部分が正しくはんだ付けされている。

5.2 電源(+5V と GND) が導通していないかのチェック

つぎに、+5V と GND が導通していないことをテスターで確認する。Fig. 6 の点 a と b にテスターを当てて、導通していなければ、つぎの動作チェックに移る。もし導通していた場合は、誤ってつながっている箇所がないか再確認して、基板を修正すること。

*3 ピンヘッダの右端とフォトリフレクタの右下の端子

*4 フォトリフレクタの上に取り付けた 220Ω の抵抗の上側と可変抵抗の中央の端子



危険

もしこの2つが導通している状態でバッテリーを繋げてしまうと、回路に大きな電流が流れることで発熱し、場合によっては発火・発煙事故につながる。

5.3 Arduino とセンサ回路の接続

最後に回路に電源を入れて実際に動作させる。まず、Tutorial 1 で製作した基板接続用のケーブルを使用して、シールド基板とセンサ回路を接続する。Figs. 8, 9 のように配線し、センサ回路側とシールド基板側に取り付ける（この時点では Fig. 8 のように機体には固定しなくてよい）。センサ基板のピンヘッダの電源・信号線 SIG1, +5V, GND と、シールド基板側の Analog IN, +5V, GND が正しく配線されるように取り付ける。基板には 3 つの独立したセンサ回路が搭載されている。それぞれの SIG1 が、シールド基板のつぎのピンに接続されるようにする。

センサ回路位置	シールド基板
機体右側	A0 ピン
機体中央	A1 ピン
機体左側	A2 ピン

シールド基板のピン配置については、Tutorial 1 の資料を確認すること。



危険

Arduino に電源を入れる前に、接続が正しいかどうかを再度確認する。特に、電源と GND を逆向きに取り付けている場合、回路の故障につながる恐れがある。

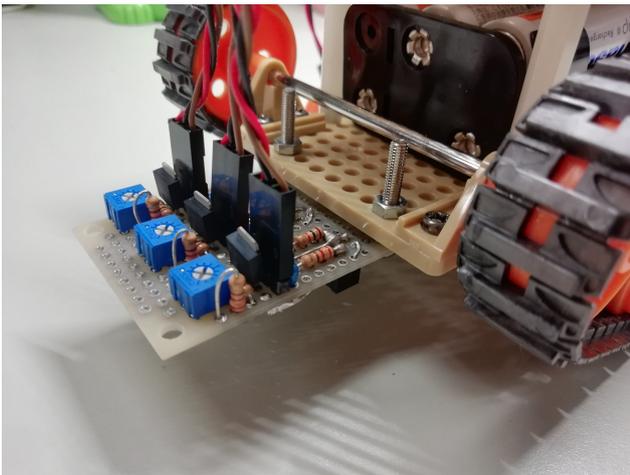


Fig. 8 センサ回路側

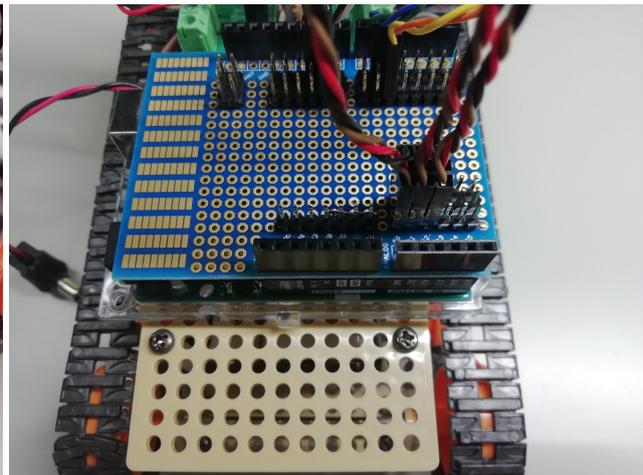


Fig. 9 Arduino 側

5.4 動作確認用 LED のチェック

今回製作した回路には、フォトリフレクタの出力を見られるように LED を取り付けている。これが正常に動作していれば、配線に問題はないと言えるだろう。



危険

可変抵抗を回す際は、非導電性の調整ドライバーを使用すること。導電性の高い金属製のドライバーを使うと、誤って基板上のパターンに接触してしまうおそれがある。

まず、可変抵抗のダイヤルを真ん中に合わせ、回路に電源を入れた状態で、白いものにフォトリフレクタを近づけてみよう（6～8mm ぐらい距離を空けているとよい）。これで LED が光っていなければ、LED が光るまで Fig. 10 の赤矢印の方向に可変抵抗を少しずつ回してみよう。最後まで回しても光らない場合は、配線の不備の可能性があるので、原因を探ること。特に、LED や FET の向きが逆であるケースが多いため、確認すること。

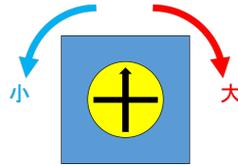


Fig. 10 可変抵抗 VR1 の回転方向と抵抗値の大小の関係 (今回の配線例における関係であり, ピンの使用の仕方によっては関係は逆転する)

白色の対象に対して LED が光ることを確認したら, つぎは黒色の対象 (なるべく光沢はない方がよい) に近づけてみて, LED が光らないことを確認する. もし LED が光ってしまう場合は, LED が光らなくなるまで Fig. 10 の青矢印の方向に可変抵抗を回してみよう. 最後まで回しても光る場合は, 配線の不備の可能性があるので, 原因を探ること.

以上のように, 白色の対象に近づけると LED が光り, 黒色の対象に近づけると光らないという動作が実現できていれば, この基板の動作確認は終了である.

6 機体への取り付け

動作確認を終えたら, Fig. 11 のように機体前方にセンサ回路を取り付ける. Fig. 13 のように基板と機体の間にスペーサやナットを入れて取り付けることで, センサと地面との距離を調節するとよい.

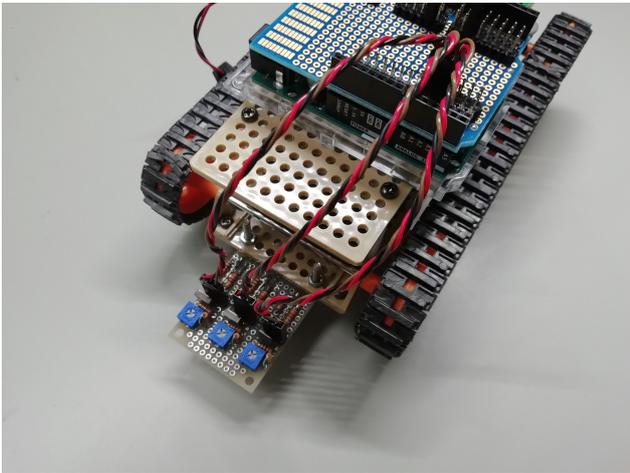


Fig. 11 機体前方にセンサ回路を取り付け

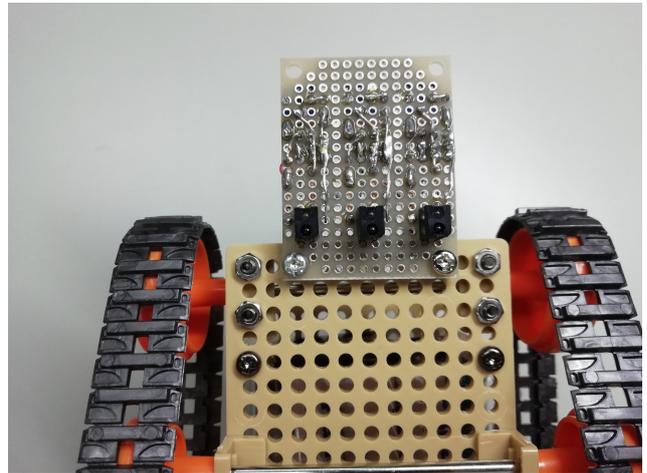


Fig. 12 機体裏

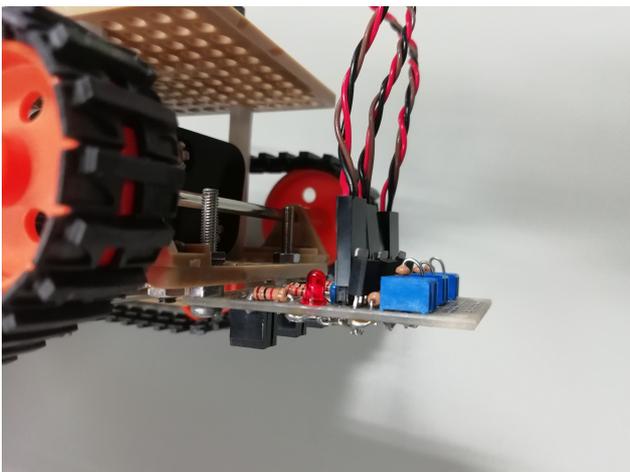


Fig. 13 センサ回路の基板と機体のプレートの間にナットを入れる

7 補足

この回路は環境光の影響を取り除くようには作られていないため、そのまま使用する場合、環境に応じて可変抵抗の調整やプログラム上のしきい値の変更を行う必要がある。たとえば窓の近くで作業する場合は、午前の授業と午後の授業とで動作が変わるおそれがある。また、作業を行う部屋と試技で使用する部屋とでは、照明や太陽光などの環境が異なることにも注意が必要である。

最も簡単な対策は、黒い紙やテープなどでフォトリフレクタ回路の側面全体を覆うことである。これによって、横から入ってくる環境光を大幅に減らすことができ、環境に依存しない動作が期待できるようになる。また、この対策を行っても不十分な場合は、ソフトウェアで環境の変化に対応できるようにするか、競技や調整を開始する前に、その都度 AD 変換値を測定して利用するなどの対策が必要になる。