

線検出回路の設計と特性測定

1. 目的

本実験で作成するライントレーサの概要を理解する。ライントレーサが線に沿って走行させるためには、ライントレーサの現在地を知る必要がある。線検出回路の設計を通して、回路設計の考え方を理解する。

2. 実験装置

直流安定化電源、フォトリフレクタ(TRP-105)、IC トレーナ、デジタルマルチメータ

3. 実験方法・結果

3.1 LED 点灯回路の設計と実装図の作成（実験 1）

線の検出のために、赤外線 LED から放出された光を物体に反射させ、フォトトランジスタで受光することで出力電圧が変化する光センサ、フォトリフレクタ TPR-105 を使用する。フォトリフレクタ TRP-105 の LED を点灯させる回路を設計し、センサ基板の実装図を作成した。実装図を図 3.1.1 に示し、部品表を表 3.1.1 に示す。ただし、部品番号は仮のものである。また、抵抗 R1 及び R2 の決定過程については、「3.2 線検出回路の設計と特性測定（実験 4）検討及びその検討結果 5. 最終的に実装する回路図で用いる素子値の決定過程」内で述べている。

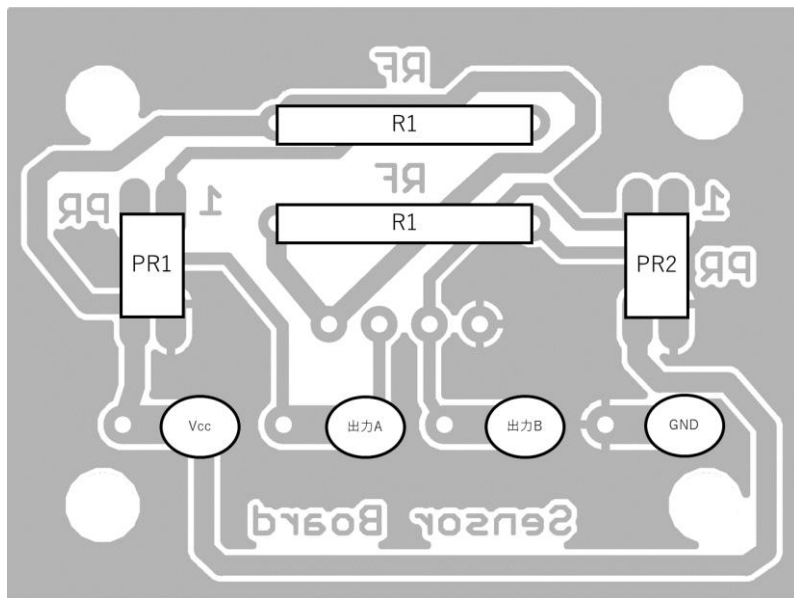


表 3.1.1 図 3.1.1 の実装図の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
PR1	フォトリフレクタ		TPR-105
PR2	フォトリフレクタ		TPR-105
R1	抵抗	180Ω	
R2	抵抗	180Ω	

図 3.1.1 センサ基板の実装図

3.2 線検出回路の設計と特性測定（実験 4）

実験 2 で 1 チャンネル分のフォトリフレクタと LED 用の保護抵抗をセンサ基板に実装し、測定用の端子、導線を取り付けた。また、実験 3 では主基板及び電源基板の取り付け位置を考慮し、ギヤボックス、ボールキャスタ、実験 2 で作製したセンサ基板をプラスチック板に取り付けた。

これらを利用し、測定を行い、フォトリフレクタ TRP-105 を用いた線検出回路を設計した。このとき、以下の点について検討をし、決定した。

検討及びその検討結果

1. 電源電圧

主基板から直流 5V が供給されるため、電源電圧は直流 5V とした。

2. 出力すべき電圧の範囲と根拠について

0V-5V：根拠 >> フォトトランジスタで受光した赤外線の色に合った電圧が出力されるが、範囲が広いと精度が高くなるため。また、白と黒の中間地点にセンサを置いた時に 2.5V (0V と 5V の中間の出力値) を出力するべきだ。具体的に、出力電圧とフォトトランジスタで受光する赤外線の色との関係は図 3.2.1 のような一次関数になっているべきだ。これは、ライントレーサのプログラムの製作時に精度の高い動作が可能になるためだ。

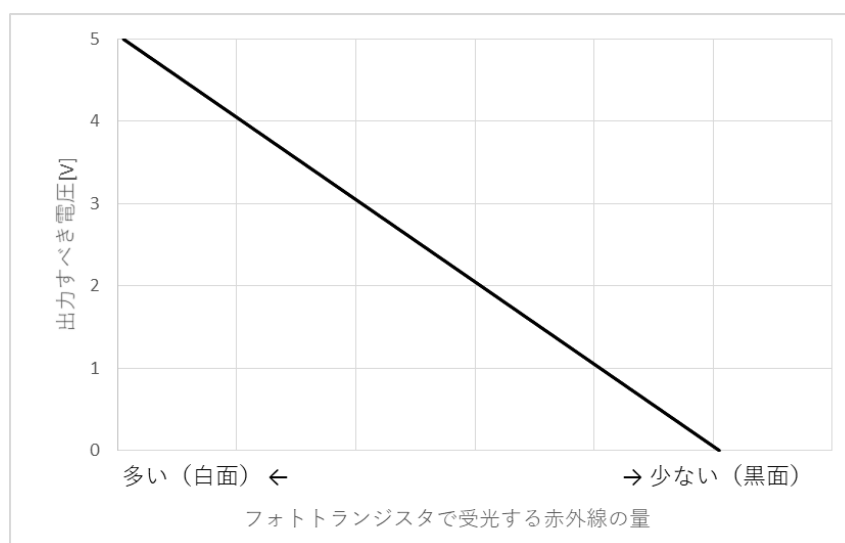


図 3.2.1 出力電圧と受光する赤外線の色との関係

3. センサ基板の取り付け高さ

センサ基板の取り付け高さに加えて、及び最終的に実装する回路図で用いる、フォトトランジスタ側のエミッタ抵抗の値を決定する。以下の 3 点の測定条件と測定方法を変えて、センサの出力電圧を計測した。測定に用いた回路図を図 3.2.2 に示し、図 3.2.2 の回路の部品表を表 3.2.1 に示す。

ただし、抵抗 R1 の決定過程については、「検討及びその検討結果 5. 最終的に実装する回路図で用いる素子値の決定過程」内で述べている。また、フォトリフレクタの特性測定の結果を表 3.2.2 に示す。

1. センサ基板の取り付け高さ

5mm (20mm スペーサを用いた)

3mm (20mm スペーサに加えて、2mm スペーサを用いた)

2. フォトトランジスタ側のエミッタ抵抗の値

図 3.2.2 の抵抗 R2 の抵抗値を以下の 8 種類に変化させることで用いた。

抵抗値：1k Ω , 5.1k Ω , 10k Ω , 15k Ω , 20k Ω , 51k Ω , 100k Ω , 220k Ω

3. センサに検出させる色

ライントレーサのコースになる線に加えて、黒色及び白色、また、黒色と白色の中間地点で測定方法を変えた。

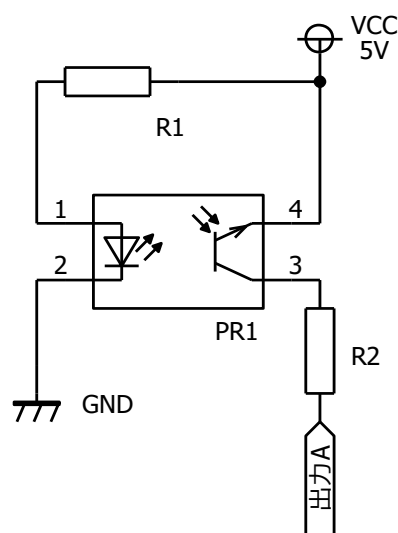


表 3.2.1 図 3.2.2 の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
PR1	フォトリフレクタ		TPR-105
PR2	フォトリフレクタ		TPR-105
R1	抵抗	180 Ω	
R2	抵抗		

図 3.2.2 フォトリフレクタの特性測定に用いた回路図

表 3.2.2 フォトリフレクタの特性測定の測定結果

距離	5mm			3mm		
抵抗値	白	白と黒の中間地点	黒	白	白と黒の中間地点	黒
1k Ω	0.22[V]	0.10[V]	0.00[V]	0.60[V]	0.12[V]	0.02[V]
5.1k Ω	1.22[V]	0.28[V]	0.10[V]	2.86[V]	0.62[V]	0.09[V]
10k Ω	2.46[V]	0.42[V]	0.08[V]	5.06[V]	1.22[V]	0.19[V]
15k Ω	3.45[V]	0.57[V]	0.11[V]	5.13[V]	1.81[V]	0.29[V]
20k Ω	4.52[V]	1.4[V]	0.14[V]	5.15[V]	2.51[V]	0.38[V]
51k Ω	5.15[V]	0.67[V]	0.33[V]	5.18[V]	5.10[V]	0.97[V]
100k Ω	5.18[V]	2.7[V]	0.67[V]	5.21[V]	5.16[V]	1.89[V]
220k Ω	5.29[V]	5.08[V]	1.39[V]	5.23[V]	5.18[V]	3.94[V]

出力すべき電圧の範囲と条件を満たしていて、かつ出力電圧とフォトトランジスタで受光する赤外線との関係が図 3.2.1 に近い一次関数になっていると考えられる、センサ基板取り付け高さ 3mm、フォトトランジスタ側のエミッタ抵抗の値（図 3.2.2 における R2 の抵抗値）20k Ω に決定した。

4. 最終的に実装する回路図

最終的に実現する回路について、フォトランジスタ側のエミッタ抵抗を $20k\Omega$ と決定したが、 $20k\Omega$ を一つ接続するより、後から微調整が可能なように抵抗に加えて半固定抵抗を直列接続するべきである。

線検出回路の回路図を図 3.2.3 に示す。また、部品表を表 3.2.3 に示す。

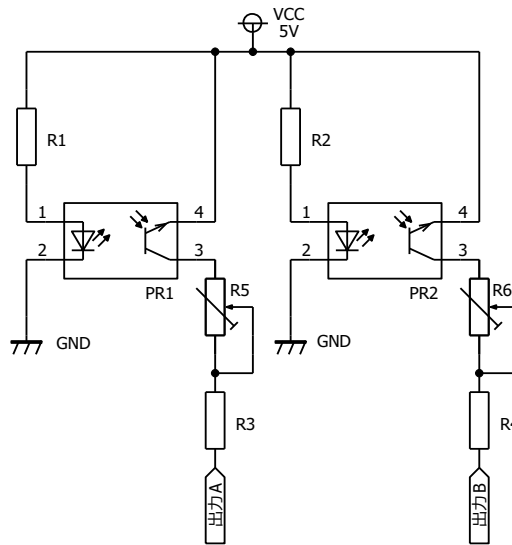


表 3.2.3 図 3.2.3 の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
PR1	フォトリフレクタ		TPR-105
PR2	フォトリフレクタ		TPR-105
R1	抵抗	180Ω	
R2	抵抗	180Ω	
R3	抵抗	$15k\Omega$	
R4	抵抗	$15k\Omega$	
R5	半固定抵抗	$10k\Omega$	
R6	半固定抵抗	$10k\Omega$	

図 3.2.3 線検出回路の回路図

5. 最終的に実装する回路図で用いる素子値の決定過程

1. 抵抗 R1 及び R2 について

図 3.2.3 内の V_{CC} から R1, 赤外線 LED を通り GND に接続する回路において、 $V_{CC} - R1 \cdot I_F - V_F = 0$ という方程式が成り立つ。

ここで V_F は LED の順電圧、 I_F は LED の順電流である。

フォトリフレクタ TPR-105 のデータシート内の Electrical Optical Characteristics ($T_a=25^\circ\text{C}$) の表、Forward Voltage – Condition から、

$I_F = 20 [\text{mA}]$ と読みとった。また、同表内の Forward Voltage – MAX から $V_F = 1.5 [\text{V}]$ と読み取った。しかし、正しくはデータシートの Typical Electro-Optical Characteristics Curves – Fig.2 Forward Current vs. Forward Voltage に示すグラフから、 $I_F = 20 [\text{mA}]$ の時の電圧を求めるべきであった。

西村先生に報告時、既に抵抗をはんだ付けしていたことや、正しい動作をしていたことから、自分の班は $V_F = 1.5 [\text{V}]$ としたときの抵抗値を計算し、それを実装することに決定した。

$$V_{CC} - R1 \cdot I_F - V_F = 0$$

上の方程式に、 $V_{CC} = 5 [\text{V}]$, $I_F = 20 [\text{mA}]$, $V_F = 1.5 [\text{V}]$ を代入して R について解く。

$$R1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{5.0 - 1.5}{20 \cdot 10^{-3}} = \frac{3.5}{20 \cdot 10^{-3}} = 175 [\Omega]$$

175[Ω]に一番近く、かつそれより大きい抵抗値を使用するため、 $R1 = 180[\Omega]$ と決定し、 $R2$ も同様にして、 $R2 = 180[\Omega]$ とした。

2. 抵抗 $R3, R4$ 及び半固定抵抗 $R5, R6$ について

抵抗 $R3, R4$ 及び半固定抵抗 $R5, R6$ を決定するために行った測定結果及び測定条件、測定方法については、「検討及びその検討結果 3. センサ基板の取り付け高さ」内で述べている。また、測定に用いた回路図は図 3.2.2 に、測定結果は表 3.2.2 に示している。

表 3.2.2 フォトリフレクタの特性測定の結果より、センサ基板の取り付け高さ 3mm，フォトトランジスタのエミッタ抵抗の値（図 3.2.2 における $R2$ の抵抗値）が $20k\Omega$ の場合が出力すべき電圧の範囲と条件を満たしていて、かつ出力電圧とフォトトランジスタで受光する赤外線の色との関係が図 3.2.1 に近い一次関数になっていると考えられるため、フォトトランジスタ側のエミッタ抵抗値 $20k\Omega$ に決定した。

最終的に実現する回路について、フォトトランジスタ側のエミッタ抵抗を $20k\Omega$ と決定したが、 $20k\Omega$ を一つ接続するより、後から微調整が可能なように抵抗に加えて半固定抵抗を直列接続するべきである。

ここで、抵抗 $15k\Omega$ と半固定抵抗 $10k\Omega$ を使用すると決定した根拠は、半固定抵抗の値を大きくすると、半固定抵抗の調節の精度が悪くなるためである。また、表 3.2.3 を見る限り、 $20k\Omega$ で出力電圧とフォトトランジスタで受光する赤外線の色との関係が図 3.2.1 に近い一次関数になっていると考えられる。このため、 $20k\Omega \pm 5k\Omega$ で十分だと判断した。

よって、 $R3 = R4 = 20k[\Omega]$, $R5 = R6 = 10k\Omega$ に決定した。

4. 考察

以下の点について実験結果を踏まえて考察した。

4.1 ギヤボックスで使用したギヤ比について

実験 3 でシャーシの組み立てとセンサ基板の取り付けを行った。この時、ギヤボックスを製作した。ギヤ比 5 種類ほどあるが、ギヤ比 203 : 1 の低速ギヤを選択し、製作した。

ギヤ比とはモーターの回転数とタイヤの回転数との比率のことである。

ここで使用した 203 : 1 というのは、モーターが 203 回転するときにタイヤが 1 回転する、という意味である。

ギヤ比が大きいとパワーが大きくなり、小さいほど最高速度が伸びる。

具体的に、ギヤ比 100 : 1 と 50 : 1 として考える。

モーター100 回転分の力でタイヤが 1 回転（パワーが大きい）

モーター50 回転分の力でタイヤが 1 回転（パワーが小さい）

また、モーターが 200 回転した時、

100 : 1 だとタイヤ 2 回転分だけしか進まない。

50 : 1 だと、タイヤ 4 回転分進む。

以上のように、ギヤ比が小さいほど、最高速度が上がるのが分かる。

ライントレーサは最終的にタイムトライアルを行い、できるだけコースを早く走ることが要求されるが、モーターの上に乗せる基板や電池等、積載量が大きくなるため、十分なパワーが必要だ。

以上の理由からライントレーサで使用するギヤは 203 : 1 の低速ギヤを選択した。

モーターだけでなく、自動車のエンジンにもギヤ比は存在する。主に「変速比」「減速比」と呼ばれている。自動車はライントレーサと違い、一定の速度で動くことはなく、時には高速で走行ができることが要求される。そのため、自動車のエンジンとタイヤの間には「トランスミッション（変速機）」が存在している。自動車は発進時、大きな力が必要であるが、スピードに乗って速く走るときは大きな力はいらない。複数のギヤを切り替える役割を果たすのがトランスミッションである。

自動車にはマニュアルトランスミッション車とオートマチックトランスミッション車があるが、変速を人の手で行う自動車か、コンピュータによってトランスミッションを制御する自動車かの違いである。

5. 参考文献

TPR-105 データシート : <http://akizukidenshi.com/download/TPR-105f.pdf>

ギヤ比とモーターの関係について : <http://www.zest-shop.com/blog/tokorozawa/6774>

自動車の変速比・減速比について : <http://car-moby.jp/111301>