

1. はじめに - 反射型フォトセンサとは

ライン・トレースのためには、白地に描かれた黒い線を検出する機能が必要となります。この黒い線の検出には、赤外線発光ダイオードとフォト・トランジスタを組み合わせた反射型フォト・センサを利用します。ローム社のフォトリフレクタRPR-220を使用します。

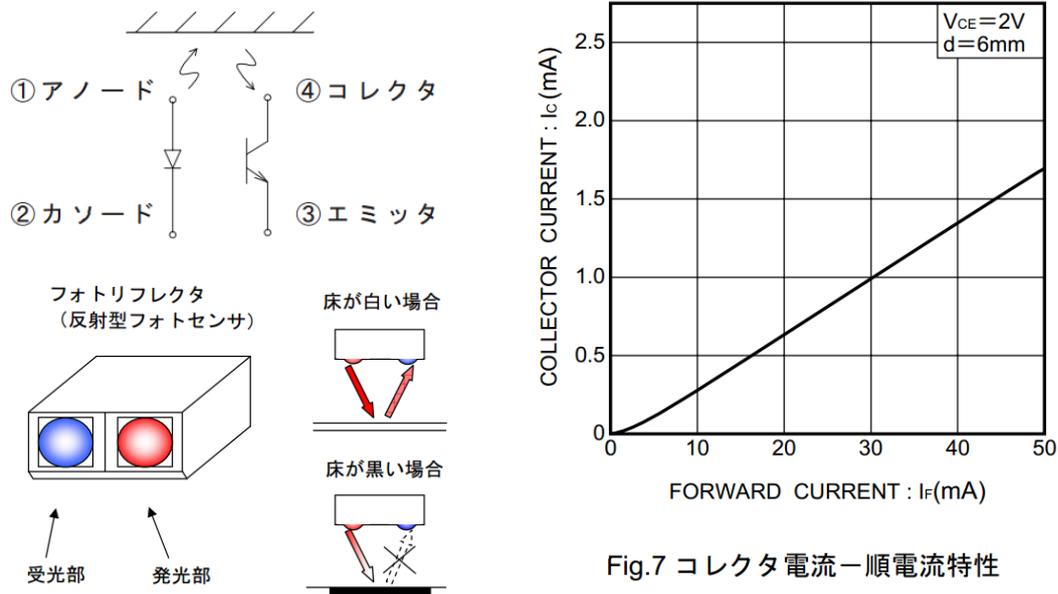


Fig.7 コレクタ電流－順電流特性

図1 反射型フォトセンサ

①, ②が赤外線LEDに接続されています。②のほうをマイナス電源側に接続, このLEDに10から20mAくらいの電流が流れるように, LEDと直列に電流制限抵抗を接続します。赤外線LEDが点灯され反射面で反射された赤外線を受光するとフォト・トランジスタの④ (コレクタ), ③ (エミッタ) 間に電流が流れます。赤外線LEDに流れる電流とフォト・トランジスタに流れる電流の関係は, データシートによるとFig.7のようになります。

I_F が赤外線LEDに流す電流です。 I_C はLEDからの反射光を受けてフォト・トランジスタに流れる電流です。具体的な測定条件は, データシートに示すように標準白紙 (反射率90%) を用い反射板とセンサの間を6mm離して測定したものです。

2. フォト・トランジスタの電流特性の確認

LEDとフォト・トランジスタに流れる関係を確認します。試験回路を図2に示します。 R_1 , R_2 の両端の電圧をデジタル・マルチメータで測定します。 VR_1 を調整して赤外線LEDに流れる電流を調整します。反射板の紙は手持ちのプリンタ用紙で一番白いものを使用しました。前述の I_F と I_C のデータシートの値とばらつきの範囲で同様な値となっています。

赤外線発光ダイオードに10から20mAの電流を流すと, 0.25から0.6mAの電流

がフォト・トランジスタに流れています。このセンサの LED に流す電流と、フォト・トランジスタに流れる電流を検出するための負荷抵抗 (R_2) の値を決めます。今回の測定結果 (通常はデータシートの値で良い) に基づき具体的な検出回路を考えます。

LED の電流制限抵抗(R_1+VR_1)の値 = (電源電圧-LED の順方向電圧降下) / (LED に流す電流)

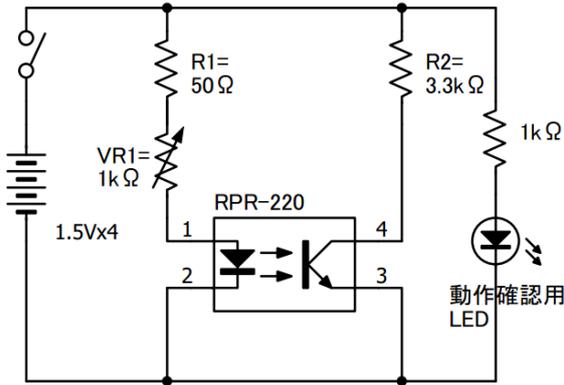


図 2 電流測定回路

表 1 電流測定結果

I_F (R_1 に流れる電流)		I_C (R_2 に流れる電流)	
R_1 の抵抗値	50Ω	R_2 の抵抗値[Ω]	3.3kΩ
電圧降下[V]	電流[mA]	電圧降下[V]	電流[mA]
0.264	5.30	0.369	0.11
0.304	6.10	0.451	0.14
0.491	9.86	0.856	0.26
0.746	14.97	1.451	0.44
0.944	18.95	1.928	0.59
1.441	28.92	3.112	0.95
2.166	43.48	4.710	1.44

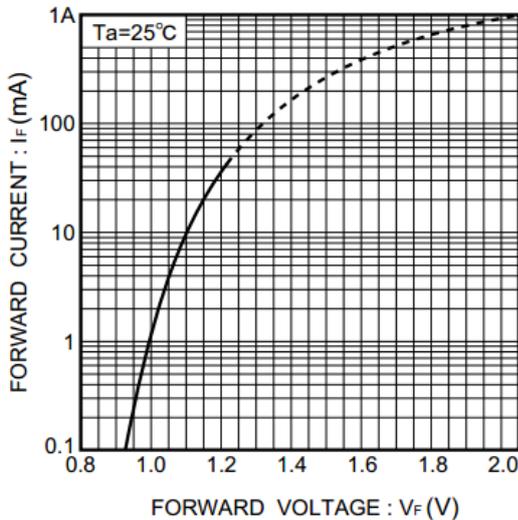


Fig.3 順電流-順電圧特性

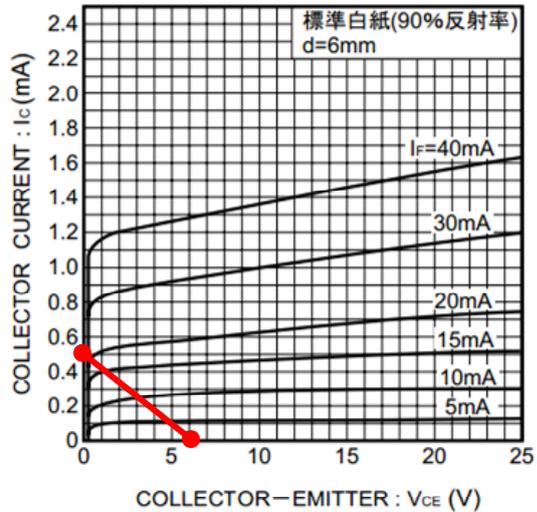


Fig.8 出力特性

例えば、 I_F を 10mA とすれば、データシート Fig.3 より、LED の順方向電圧降下が 1.1V と読取れるので、上式の LED の電流制限抵抗 $= (1.5[V] \times 4 - 1.1[V]) / 10 \times 10^{-3}[A] = 490[\Omega]$ と計算できます。

次に、フォト・トランジスタのコレクタ電流 I_C を、回路全体の消費電力から割り振りつつ、計算した I_F から想定して、電源電圧のどれ位の電圧降下が期待するかで選択してフォト・トランジスタの負荷抵抗 R_2 にします。例えば、 I_F を 10mA とすれば、データシート Fig.7 より、 I_C は 0.3mA 程度と読取れるので、データシート Fig.8 より

動作点を直流負荷線から決めます。(I_C=0 のとき V_{CE}=V_{CC} =1.5V×4, V_{CE}=0 のとき I_C=V_{CC}/R₂)ここで, V_{CE}=V_{CC}-I_C×R₂ です。動作点を動作線の中央付近になるように選びます。例えば, V_{CC}=1.5V×4 で, I_Fを 10mA として動作線と交差する動作点を中央付近になるように決めると V_{CE}=0 のとき I_C=0.5mA と読取れるので, R₂=V_{CC}/I_C=1.5V×4/0.5×10⁻³=12kΩ程度と計算できます。なお, 動作時の V_{CE}を小さくしたいときは, この R₂を少し大きい値, 単純な計算では(V_{CC}-V_{CE})/I_C=(6V-1.0V)/0.3mA=16.7kΩ(E24 系列 20kΩ)程度を検討します。

ライン・トレースは白地に引かれた黒いラインを自走マシンでトレースするので, ラインを逸れたことを検出するために白と黒を判別する必要があります。物体が黒い場合, 反射光が少なく電流があまり流れず, R₂部分であまり電圧降下がおこりません。一方, 物体が白い場合は反射光が多くなり, 多くの電流が流れて R₂での電圧降下が大きくなります。つまり, 大雑把に言えば, 図 2 の回路の出力を PIC 入力ポートに加えれば「出力電圧が閾値より大きければ黒, 小さければ白」というような判別ができます。

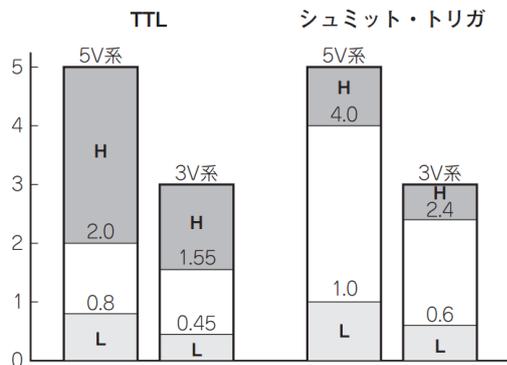


図3 TTL入力とシュミット・トリガ入力の判定レベル

ちなみに, PIC 入力ポートをデジタル入力として扱いたい場合や論理レベルでスイッチング動作をさせたいときは, 論理回路の入力レベル規格などの制約条件から, 図 3 に示す判定レベルに準じるように V_{CE}<1V くらいに設計されなければいけません。また, エミッタ負荷 (エミッタフォロウ) の場合とコレクタ負荷 (エミッタ接地) の場合とで出力信号の極性は互いに反対になります。

3. フォト・トランジスタの感度(指向)特性

白地と黒地の反射率の差によるフォトセンサの出力の指向特性測定例をCQ出版社の特集記事(2007年6月自走車制御のためのセンサ回路)から抜粋しておきます。

このフォトセンサのフォト・トランジスタには, 赤外線以外を遮断するフィルタが内蔵されています。反射板を外してフォトセンサを蛍光灯の照明に向けてもフォトセンサ内のフォト・トランジスタには電流が流れません。出力はほぼ電源電圧まで上昇します。蛍光灯の可視光の影響は受けなくなっています。照明を白熱灯にすると, 白熱灯の赤外線に反応します。

