

電子回路基板作製実験

1 実験目的

産業機器や家電製品などは、内部に組み込まれたコンピュータ・システム、すなわち組み込みシステムによって制御され、ネットワーク化によってさらに高度化、高機能化している。組み込みシステムはものづくり産業を支えるキーテクノロジーである。これらのシステムは制御回路、駆動回路、通信回路などの電子回路からなり、プリント基板の上で部品、配線をコンパクトにまとめ、製品の中に組み込まれている。その中核をなす電気・電子回路に関する知識・技術を理解し、応用する能力を身につけるためには、電気・電子回路を設計・製作し、システムを構築するプロセスを体験することが重要となる。そこで、本実験では与えられた電子回路について、電子回路用 CAD を用いて設計し、プリント基板を作製する。プリント基板の加工にはモデリングマシンを用い、作成した基板に部品をハンダ付けし、簡単な電子回路を製作するプロセスを体験する。

本実験で製作する電子回路は、**反射型フォトリフレクタを用いたラインレーサ用センサ回路**である。フォトリフレクタは LED とフォトトランジスタからなり、LED から放出された光が物体に当たり、反射した光をフォトトランジスタで検出する。反射型フォトリフレクタは自律走行ロボットのライン検出センサとして良く用いられる。ラインレーサは後期開講科目である創造工学においても使用することから、その原理と特性を含めてよく理解しておくこと。

2 実験装置

PC, 電子回路用 CAD : EAGLE (free software), WINSTAR PCB (切削データ作成ソフト), VPanel(加工機械操作パネル), 3D 加工機 : MDX-540A (ローランド社製), テスタ, DC 5 V アダプタ, ブレッドボード, ジャンパー線, ワニ口ケーブル, ハンダごて, ハンダ, 電気・電子素子 (トランジスタ, LED, 抵抗など)。

3 実験手順

電子回路製作プロセスを体験するために、以下に示す手順で作業を進める。実験レポートには、本実験について自分用の基板作成のための手順書を作成してもらおう。従って、実験中に重要だと思う点は適宜メモをとり、テキストの説明文をハイライトするなど、あとで分かるように工夫すること。

1. EAGLE で部品回路図を作成する前に、図 3.1 に示された回路における R1 の抵抗値を算出せよ。フォトリフレクタは上述のように LED とフォトトランジスタからなるが、抵抗 R1 は LED に流す電流を制限するために必要な素子である。表 3.1 にフォトリフレクタの LED 部の仕様表 (電気特性の一部を抜粋) を示してある。 I_F とはこの LED に流す上で標準的な電流値であり、**推奨値は $I_F = 20[\text{mA}]$** である。LED の順電圧 V_F とは LED に電流が流れ始めるしきい値電圧で、それ以上の電圧は LED にはかからない。ここでは Typ の値である $V_F = 1.2[\text{V}]$ を用いて計算する。図 3.1 より、本回路における**電源電圧は $5[\text{V}]$** である。これらを元に R1 の値を算出せよ。

2. 電子回路用 CAD 「EAGLE」を用いて、部品回路図 (Schematic) を作成する。以下の指示に従って回路図を作成せよ。

表 3.1: フォトリフレクタ (LBR127HLD) の LED の電気特性

項目	記号	MIN.	TYP.	MAX.	Units	状態
順電圧	V_F		1.2	1.5	V	$I_F=20\text{mA}$
逆電流	I_R			10	μA	$V_R=5\text{V}$
暗電流	I_{ce0}			100	nA	$V_{ce}=20\text{V}$
CE 飽和電圧	$V_{ce(sat)}$			0.4	V	$I_c=2\text{mA}, I_B=0.1\text{mA}$
光電流	$I_c(\text{on})$	0.2			mA	$V_{ce}=5\text{V } I_F=20\text{mA}$

3. 図 3.1 にフォトリフレクタ回路を示す。この回路図を元に EAGLE を用いて部品回路図を作成せよ。なお、EAGLE の使用方法 (部品回路図の作成) については後述のソフトウェアマニュアル (A1~A2 ページ) を参照のこと。R1 の値は前問で算出した値を用い、R2~R4 の抵抗値については図 3.1 に掲載してある。使用する部品の EAGLE 内の部品名・ライブラリフォルダ名は下表 3.2 の通りなので、参照すること。

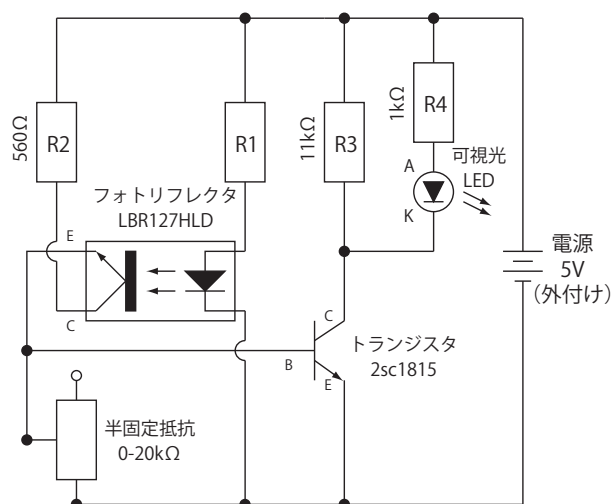


図 3.1: 課題回路: フォトリフレクタ回路

- EAGLE のソフトウェアマニュアル (配線図の作成: A3~A5 ページ) の手順に従い、配線図 (Board) を作成する。この時、各電子部品は図 3.1 と同じように配置すると、配線しやすくなる。
- 作成した配線図からドリルデータ、ガーバーデータを作成する (A6 ページ参照)。
- 切削データ作成ソフト 「WINSTAR PCB」を用いて、ガーバーデータから切削データを作成する。なお、WINSTAR PCB の使用方法については後述のページ (A7~A8 ページ) を参照のこと。
- 3次元加工機 「MDX-540A」に切削データを読み込み、基板加工を行う。なお、3次元加工機 MDX-540A の使用方法については後述のページ (A9 ページ) を参照のこと。作製後の基板について、テスターを用いて短絡箇所がないかどうかを確認する。

表 3.2: 課題で使用する部品名一覧

部品名	ライブラリ	ADD 内の部品名
フォトリフレクタ	optocoupler1	LBR127HLD
トランジスタ	transistor	2SC1815
半固定抵抗	pot→TRIM_EU	TRIM_EU-B25P
抵抗 (1/4W)	rcl→R-EU	R-EU_0207/10
LED ($\phi 5$)	led→LED	LED5MM
ピンヘッダ	pinhead	PINHD-1X2
電源	Supply1	VCC, GND

8. 【ここから2週目】製作した基板に電気・電子部品を組み込み、電子回路を製作する。フォトリフレクタ、トランジスタ、LED には向きがあるので、1週目のレポートに掲載した配線図表面パターンを参照して、十分に気をつけて実装すること。フォトリフレクタや LED の足は測定のために長めに残しておくこと (他の部品は足を切断しても良い)。
9. ハンダ付けが終わったら、基板のおもて面にマジックなどを用いて、電源の+の向きおよび半固定抵抗の最大・最小、フォトトランジスタのエミッタ、コレクタについて印をつけておくこと。最後にできあがった基板の写真を撮っておくこと。
10. 以下の手順に従って電子回路の動作確認をする。
- (1) フォトリフレクタを指で覆う時に可視光 LED が点灯するか確認する。点灯しない場合は、可変抵抗の値を変えて点灯することを確認する。(ここで、点灯しない場合、まずは半固定抵抗を 0 もしくは $20k\Omega$ にして、改めて確認する。どちらに設定しても可視光 LED が点灯しない場合は、回路に問題がある可能性が高いので、素子の向きやはんだ付けの状態を確認すること)。
 - (2) フォトリフレクタを指で覆うとなぜ可視光 LED が点灯するのか? フォトリフレクタ、トランジスタ、可視光 LED の働きに着目して、点灯する理由を説明せよ。【レポートでの考察: フォトリフレクタセンサ回路の動作原理について説明せよ。】
 - (3) R1 の両端電圧を測定することでフォトリフレクタ内の LED に流れる電流値を算出して記録し、前週に計算したとおりの順方向電流 (I_F) が流れているか確認せよ。

- (4) 本デバイスでは、フォトリフレクタを何かで覆うことで可視光 LED を点灯し、覆わない場合は消灯する。点灯時と消灯時におけるフォトリフレクタ内のフォトトランジスタの C-E 間の電圧 (V_{ce})、 R_2 の両端抵抗を測定し、半固定抵抗の両端電圧を算出せよ。
- (5) 可視光 LED が点灯時と消灯時におけるトランジスタ (2sc1815) の C-E 間に流れる電流 (I_c) を算出せよ。(電流の算出方法は 10(3) の測定を参考にする)
- (6) 可視光 LED 点灯時に流れている電流値を算出せよ。(電流の算出方法は 10(3) の測定を参考にすること)
- (7) 白色と黒色の 2 種類の物体を準備し、検出対象物としたときのフォトリフレクタの検出限界距離 (フォトリフレクタから何 cm 離れた状態で、可視光 LED が光るか) を測定により明らかにし、データをまとめよ。
- (8) 上述の白色の対象物を用いて、半固定抵抗の抵抗値を 0, 10, 20k Ω に変化させたとき、フォトリフレクタの検出限界距離はどのように変わるか? 具体的な数値を用いて説明せよ。【レポートでの考察: 半固定抵抗を変えることでなぜそのような動作になるか考察せよ。】

4 レポート課題

4.1 1週目のレポート (×切: 実験2回目実施日の9時, レポート用ルーブリックとともに提出)

1. 自分用の基板加工手順書 (①大まかな流れと②実験中に重要もしくは気をつけるべきポイントを併せて記述し A4 用紙 1~2 枚程度) をまとめる。
2. 実験結果として, EAGLE で設計した部品回路図, 配線図 (表面, 裏面), 加工した基板の画像を記載せよ。
3. R1 の導出方法の詳細をまとめよ。
4. 【考察】①フォトリフレクタ内のフォトトランジスタの動作原理を調べてまとめよ。②フォトリフレクタ全体の動作原理をまとめよ (その際フォトリフレクタに利用されている LED の種類についても言及すること)。【2週目の実験中に口頭試問を行うので, レポートを見ながら説明できるようにすること】
5. 【考察】トランジスタの主な機能として「増幅作用」と「スイッチング」が挙げられるが, これらについて調べ, 図を用いながら, 両者の違いを明確にしてまとめよ。【2週目の実験中に口頭試問を行うので, レポートを見ながら説明できるようにすること】
6. 本実験の感想を述べよ。
7. レポートの最後に, フォトリフレクタ (LBR127HLD) およびトランジスタ (2sc1815) のデータシートを調べ, 全ページ添付せよ。

4.2 2週目のレポート (×切: 実験2回目終了1週間後17時, レポート用ルーブリックとともに提出)

1. 作製した基板を用いて回路を構築 (はんだ付け) する上で, 注意すべき点, 回路配線の設計上考慮すべき点など気づいた点を列挙せよ。
2. 作成した回路の動作確認実験の結果 (1)~(8) をまとめよ。その際に, 実際に測定した値, 算出方法, 算出した値がわかるように記述すること。
3. 【考察】フォトリフレクタの検出限界距離について考察せよ (半固定抵抗の値による変化についても言及すること)。
4. 【考察】本実験で作成したフォトリフレクタセンサ回路の動作について, 次の言葉を用いて説明せよ (適宜図を用いて説明すること)。【フォトトランジスタ, 半固定抵抗の両端電圧, トランジスタ, 2sc1815 の B-E 間電圧, スwitching機能, 赤外線, 可視光 LED】
5. 【考察】このセンサはライトレーサセンサとしても利用できることがわかっている。①なぜライトレーサとして使用できるのか (フォトリフレクタ内の LED の性質に着目), ②使用する際に注意すべき点 (検出限界距離など) について説明せよ。
6. 本実験の感想を述べよ。