

トランジスタとライトレースカー

作成 大阪府立大学 太田正哉

改変 奈良教育大学 藪 哲郎

最終修正日時 2016.5.2

1 目的

ライトレースカーを製作することにより、回路図の読み方、各種回路素子の理解、電子工作の技術を習得します。

2 解説

2.1 トランジスタ

トランジスタはさまざまな電気・電子機器の回路に搭載される最も重要な電子部品のひとつです。トランジスタは電流を増幅する機能を持っています。飽和領域で用いると、電流をオン・オフするスイッチング素子として利用できます。本実験ではトランジスタをスイッチング素子として利用します。

トランジスタは導体と絶縁体の中間の性質を持つ半導体にリンなどの 5 価元素を不純物として加えた n 型半導体と、3 価元素のホウ素などを加えた p 型半導体を組み合わせて構成されます。バイポーラ型トランジスタは npn 型と pnp 型の 2 種類があり、それぞれコレクタ(C), ベース(B), エミッタ(E) の 3 つの端子を持っています。図 1 にバイポーラ型トランジスタの構造と記号を示します。nnp 型トランジスタの方が周波数特性が良いと、回路の設計がしやすいのでよく使われます。図 2 に npn 型トランジスタの定番である 2SC1815 の外観を示します(ただし 2010 年頃に廃盤になりました)。

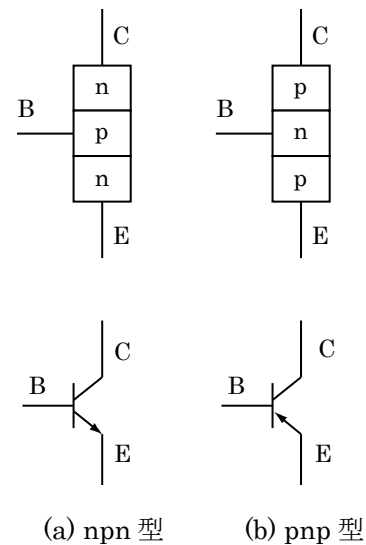


図 1 バイポーラ型トランジスタの構造と記号

2.2 トランジスタの基本特性

図 3(a) にトランジスタの特性を表すための電圧と電流のとり方を示します。ベースからエミッタに向けて流れる電流 I_B をベース電流、コレクタからエミッタへ流れる電流 I_C をコレクタ電流と呼びます。キルヒホッフの法則により

$$I_E = I_B + I_C$$

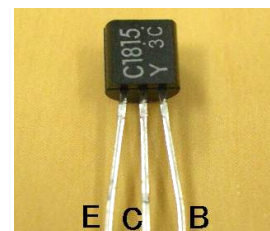
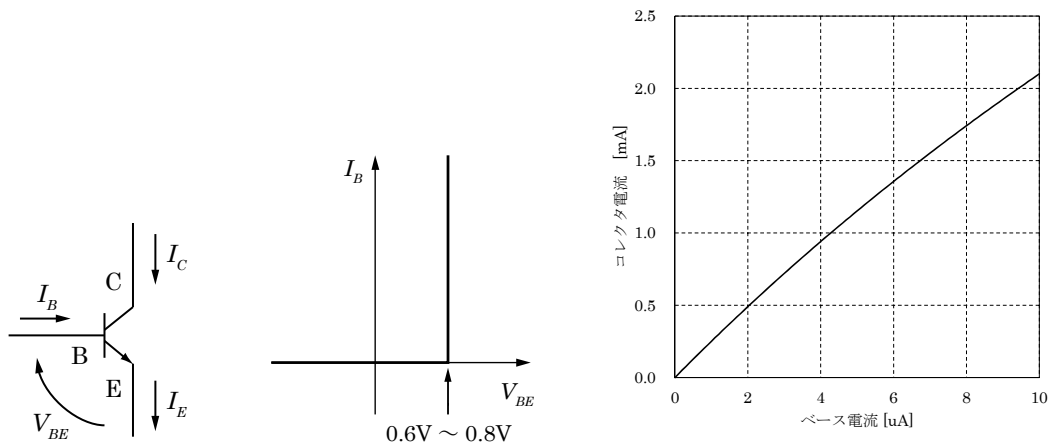


図 2 2SC1815 の外観
平らな面を手前にして左から E, C, B と並ぶ。「エクボ」と覚える



(a) 電圧電流のとり方 (b) ベース・エミッタ間の特性 (c) ベース電流とコレクタ電流の関係

図3 トランジスタの特性

が成立します。そして以下の関係があります。

$$I_C = \beta I_B$$

β はトランジスタの増幅率で 100~400 くらいの値をとります。トランジスタは電流を増幅する素子です。

npn 型トランジスタはベース端子が p 型半導体、エミッタ端子が n 型半導体であるため、ベース → エミッタ間の特性はダイオードと同じです。ベースからエミッタに向かって電流を流すように電圧をかけると電流が流れます。トランジスタをスイッチとして用いるとき、ベース電流は「沢山流す」か「全く流さない」の二者択一なので、図 3(b) のように近似することができます。

ベース電流 I_B とコレクタ電流 I_C は図 3(c) のようにほぼ直線になります。ここでは 2SC1815 の特性を例として示します。

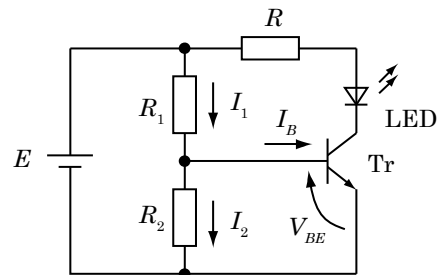


図4 LED 点灯回路

【課題 1】

図 4 の回路について次の問いに答えなさい。ただし、トランジスタの特性は図 3(b) で表され、 $V_{BE} < 0.7V$ のとき $I_B = 0$ であり、 V_{BE} が $0.7V$ 以上になろうとしたとき I_B はいくらでも大きくなることを仮定します。

- (1) $E = 7V$ 、 $R_2 = 1k\Omega$ とします。 $I_B = 0$ となる R_1 の範囲はいくらですか。分圧の式を利用して求めなさい。
- (2) $R_1 = 1k\Omega$ 、 $R_2 = 1k\Omega$ のとき、 I_B を求めなさい。
- (3) R_1 が $1k\Omega$ から $50k\Omega$ まで変化すると I_B の値はどのように変化するか考察しなさい。

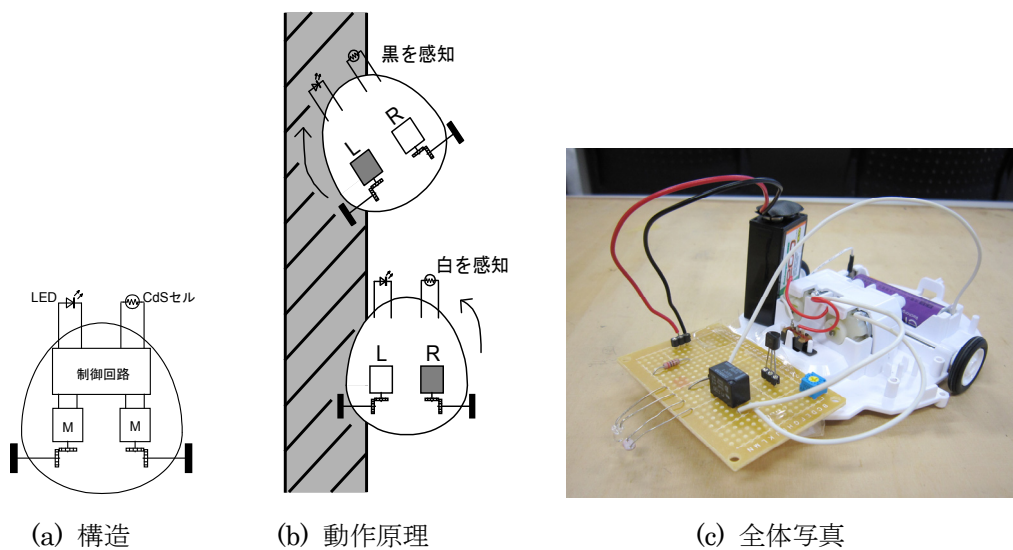


図 5 ライトレースカーの構造と原理

2.3 ライトレースカー

トランジスタの応用としてライトレースカーを製作します。ライトレースカーは白地に描かれた黒線に沿って進む移動体です。今回製作するライトレースカーは、図 5(a) に示すように 2 つのモータを持ちます。図 5(b) に示すように、ラインを感知するセンサが白地を感知したときは右モータが回転し、ラインの黒地を感知したときは左モータが回転するように設計されています。この繰り返しにより車はラインの境界に沿って蛇行しながら進みます。全体写真を図 5(c)に示します。

センサには **CdS セル** を用います。CdS セルは受光素子の一種で、光が当たると抵抗値が下がります。図 6 のように白色 LED で地面を照らし、その反射光を CdS セルで受光します。白地であれば反射光が多く受光され、黒地であれば反射光が少なくなります。

モータの切替には **リレー** を用います。図 7 にリレーの構造を示します。リレーは内部のリレーコイルに電流を流すことでコイル内の鉄心を電磁石にしてスイッチを切り替えます。

図 8 がライトレースカーの回路図です。CdS

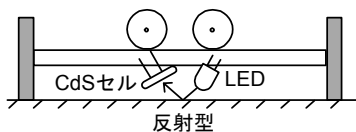
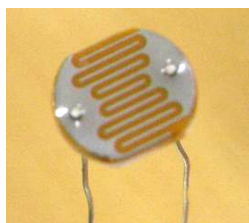


図 6 CdS によるラインセンサ

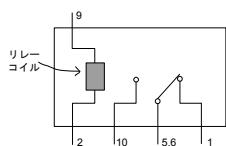
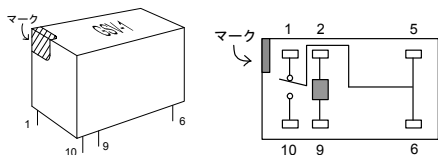
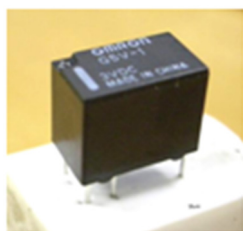


図 7 リレーの概観とピン配置

セルが黒地を感知しているときは CdS の抵抗値が高くなりトランジスタのベースには電流が流れず、コレクタ電流が流れません。これによりリレーが動作せず左モータが回転します。CdS セルが白地を感知すると、CdS の抵抗値が下がりベース電流が

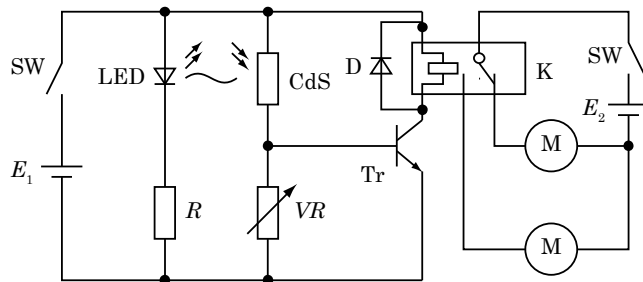


図 8 ライトレースカーの回路図

流れ、コレクタ電流が流れてリレーが動作し、スイッチを切り替えて右モータが回転します。

ベース電流がほとんど流れずコレクタ電流が遮断されている状態をトランジスタが off 状態であると言います。また逆の場合をトランジスタが on 状態であると言います。

リレーが off になるときにリレー両端に一瞬高電圧が発生します。このときの高電圧でトランジスタが破壊されないようにするため、環流ダイオード D を入れています。

3 実験および製作

3.1 CdS による LED 点灯制御回路

3.1.1 使用機器および部品等

- (1) 表 1 に示す部品
- (2) ブレッドボード
- (3) テスタ

表 1 CdS による LED 点灯制御回路の部品リスト

記号	品名	値・型名	数量
Tr	トランジスタ	2SC1815	1
CdS	CdSセル		1
VR	可変抵抗	10k Ω	1
R	抵抗	200 Ω	1
LED	発光ダイオード	白	1
E	電池	006P 9V	1
	電池用スナップ		1

3.1.2 実験方法

- (1) CdS セルの受光面に十分光をあてたときと、指などで十分閉じたときのセルの両端の抵抗をテスタで測定し、抵抗値の変化の範囲を確認しなさい。

CdS の抵抗値 (明) : _____ k Ω

抵抗値 (暗) : _____ k Ω

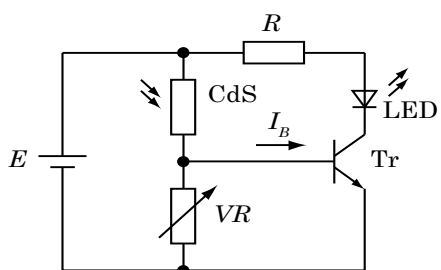


図9 CdSによるLED点灯制御回路

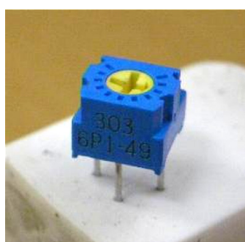
(2) 図9の回路をブレッドボード上に作成しなさい。CdSの受光面を指で開閉するのに合わせてLEDが点滅するように可変抵抗を調整します。

(3) LED点灯時の電池の電圧をテストで測定しなさい。次に、調整した可変抵抗を回路から外し、その抵抗値を図10を参考にして測定しなさい。

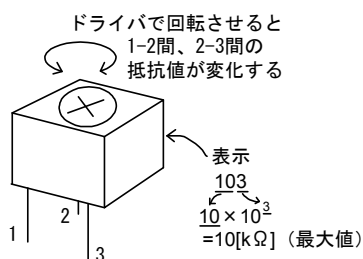
電池 E : _____ V

可変抵抗 VR : _____ Ω

(4) (1)(3)の結果から CdS が明るい場合と暗い場合の I_B を計算で求めなさい。ただし、 V_{BE} は 0.8V としなさい。また、ベース電流をテストで測定し、計算値と比較しなさい。



可変抵抗



条件	計算値 [mA]	測定値 [mA]
明るいとき		
暗いとき		

抵抗値を測定するときは必ず周辺回路から切り離し、使用した2つの端子間を測定する。

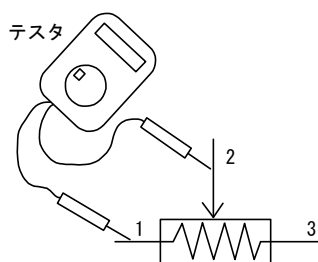


図10 可変抵抗の概観と測定方法

3.2 ライトレースカーの製作

3.2.1 使用機器および部品等

- (1) 表 2 に示す部品
- (2) 壁づたいメカ工作セット (タミヤ)

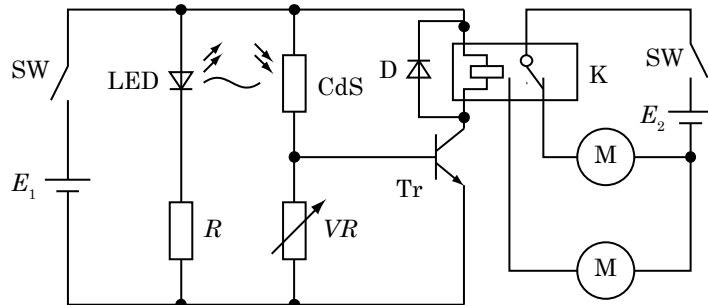


図 11 ライトレースカーの回路図

3.2.2 製作

(1) 図 11 がライトレースカーの回路図です (図 8 と同一)。

この回路を図 12 に示すユニバーサル基板上に組みなさい。図 12 上に各部品の配置配線図を作成しなさい。

(2) 作成した配置配線図通り実際の部品を取り付けます。

(3) 実際に動作させて半固定抵抗 VR を調整します。

表 2 ライトレースカーの部品リスト

記号	品名	値・型名	数量
Tr	トランジスタ	2SC1815	1
CdS	CdSセル		1
K	リレー	G5V-1	1
LED	発光ダイオード	白	1
D	ダイオード	1S1588	1
VR	可変抵抗	10kΩ	1
R	抵抗	200Ω 1/4W	1
E1	電池	006P 9V	1
E2	電池	1.5V 単3	1
SW	スイッチ		2
	電池用スナップ		1
	ユニバーサル基板		1

注意事項

- トランジスタはソケットに取り付けます。
- 9V 電池を接続する端子はソケットにします。
- 9V 電池の電源ケーブルはスイッチを途中に取り付け、先端はブレッドボード用の堅いケーブルを用います。

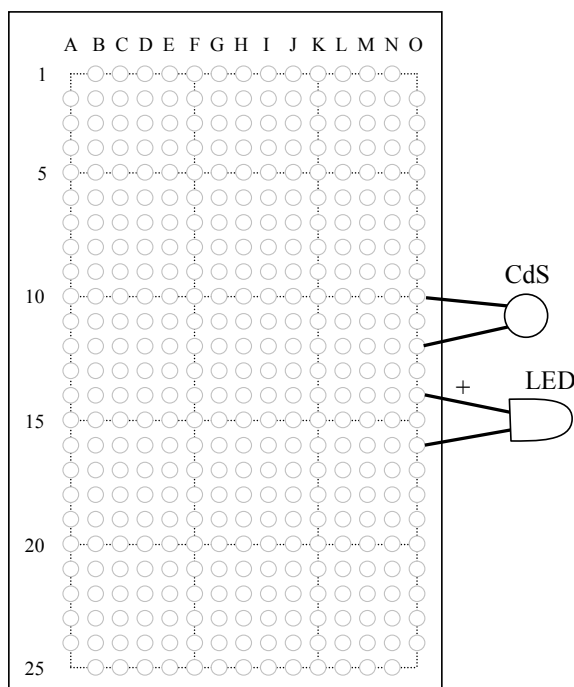
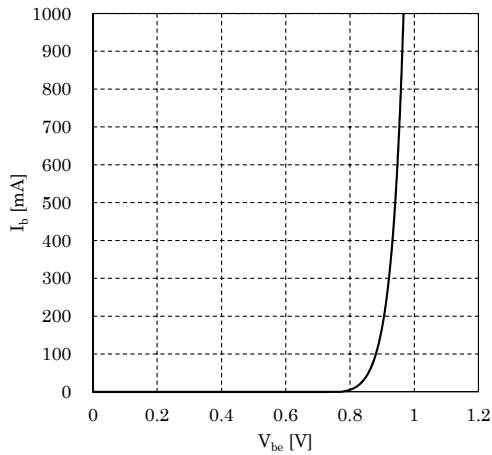


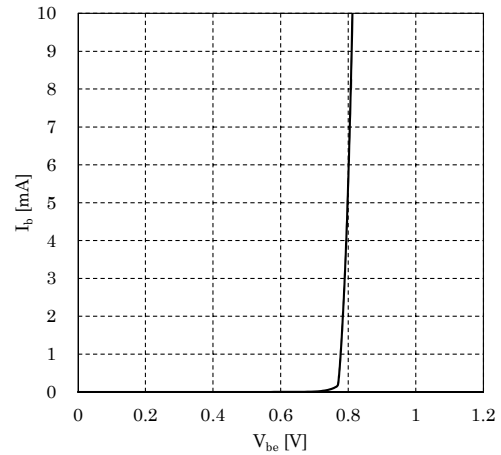
図 12 ライトレースカーの実体配線図

参考資料

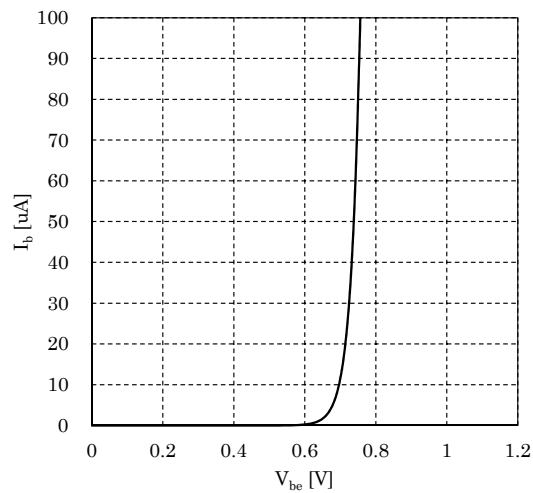
トランジスタ 2SC1815 の $V_{BE}-I_B$ 特性の正確なグラフを図 13 に示します。3 つのグラフは同じデータに基づいていますが、 I_B の最大値の取り方によって形がかなり異なって見えます。このグラフのデータは、回路シミュレータ Tina を用いて求めました。



(a) I_b の最大値は 1000mA



(b) I_b の最大値は 10mA



(c) I_b の最大値は 100uA

図 13 2SC1815 のベース・エミッタ間電圧電流特性

おわりに

本教材をご利用の際は大阪府立大学の太田 ota@eis.osakafu-u.ac.jp まで一言ご連絡下さい。