

## トランジスタについて

Wikipediaから、トランジスタの歴史を引用しました。

最初のトランジスタは、ベル研究所の理論物理学者のジョン・バーディーンと実験物理学者のウォルター。ブラッテンは、半導体の表面における電子的研究の過程で、高純度のゲルマニウム単結晶に、極めて近づけて立てた2本の針の片方に電流を流すと、もう片方に大きな電流が流れるという現象を発見した。最初のトランジスタである、点接触型トランジスタの発見である。固体物理学部門のリーダーだったウイリアム・ショックレーは、この現象を增幅利用できる可能性に気付き、その後数ヶ月間に大いに研究した。この研究は、個体による增幅素子の発明として、1948年6月30日に 3人の連名で発表された。この3人は、この功績により、1956年の ノーベル物理学賞を受賞している。との事です。

実用化につながった、ベル研究所の発見、発明以前に、1925年、1934年に、現在の電界効果トランジスタ(FET)に 近い発明の特許を 取得している。とありますが、理論だけで、実験が行われてなかったのか、この発明に関しては、詳細は分かりません。

トランジスタは、大きく分けてバイポーラ型とFET(電界効果型トランジスタ)、それと IGBTの3種類があります。調べてみるとさらに細かくいろんな種類がありましたので紹介します。

### ①、バイポーラトランジスタ：

P型と N型を接合したもので、エミッタ、ベース、コレクタと呼ばれる端子を持ちます。一般にただ トランジスタ といえば、このタイプを指します。P型の両端を N型で挟んだ NPN型、N型の両端を P型で挟んだ PNP型があり、ベース、エミッタ間を流れる電流によって、コレクタ、エミッタ間の電流を 制御します。

特性が等しい NPN型と PNP型の一組(例: 2SC1815 と 2SA1015)をコンプリメンタリと呼びます。



材料に ゲルマニウムが使われていた  
1960年代の初期は、PNP型が 殆どでしたが  
( このため、真空管回路とは逆に プラス電位  
が 接地されていました。 ) シリコンが 使われる  
ようになつた 1970年代以降は 真空管回路  
と同様にマイナス電位を接地する NPN型が、  
主流になります。

## ②、電界効果トランジスタ( FET ) または ユニポーラトランジスタ

ゲートの電圧( チャンネルの電界 )によって  
制御する方式のトランジスタです。  
ゲート電極が 半導体酸化膜の絶縁体を 介し  
ている物を特に MOS FET と呼びます。

## 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ( IGBT )

ゲート部に電界効果トランジスタが組み込まれた バイポーラトランジスタです。 電圧制御で大  
きな電力を取り扱えるので、大電力のスイッチ  
ング( たとえば電車や 電気機関車のモーター制  
御装置など ) 使用されています。

## ③、トレンチMOS構造アシストバイポーラ動作 FET ( GTBT )

ビルトイン電位によるチャネルの空乏化と、  
キャリア注入による空乏層解消及び伝導度変調  
により、遮断状態は FET のように動作するにも  
関わらず 同通状態では FET と バイポーラトラン  
ジスタの混成したような動作となるトランジスタで  
す。

## ④、ユニジャンクショントランジスタ( UJT )

2つのベース端子を持つ N型半導体と エミッタ  
端子を持つ P型半導体とを接合した物で サイリ  
スタのトリガ素子として開発されました。

安定な高出力パルスを得る事が出来ます。3つの電極を持つため、トランジスタという名前があるが、本質的にはトランジスタと無縁の1つの接合しか持たない構造（単接合）のユニークな半導体素子です。後述の PUTの台頭により姿を消しました。

#### ⑤ プログラマブルUJT（PUT）

動作特性を可変としたUJT。UJT同様、サイリスタのトリガ素子として開発されました。本質はトランジスタではなく、これ自体4つの接合を持つNゲートサイリスタである。既に日本メーカー製の物は、全て製造中止になっている。

#### ⑥ フォトトランジスタ：

光信号によって電流を制御するトランジスタである。パッケージには、光を透過する樹脂または、ガラスが用いられ、一般的には（光線入力が、ベース電流を代用するため）

ベース端子の無い2端子素子の形状になっています。主に光センサとして用いられます。同一パッケージ内に発光素子と組み合わせて封止したフォトカプラは、電源系統の異なる回路間で、絶縁を保ったまま信号伝達するのに用いられます。

#### ⑦ 静電誘導型トランジスタ（SIT）

静電誘導効果を利用したもので、チャネル抵抗を極限まで減少させるためチャネルを短くし、チャネル電流が飽和しないようにしたものです。高速動作・低損失で、信号波形の忠実な増幅が可能です。

#### ⑧、ダーリントントランジスタ：

バイポーラトランジスタの一種です。電流増幅率を大きくするためにトランジスタの出力を、別のトランジスタの入力にする接続方をダーリントン接続といいます。一つのパッケージ内でこの接続を行い、外観としては一般のトランジスタ

と同様な物を、ダーリントンジスタと呼ぶ事があります。

### ⑨ パワーバイポーラトランジスタ:

電動機の制御など、特におおきな電力(kWオーダー)を取り扱うために開発されたバイポーラトランジスタの事。単にパワートランジスタとも呼ばれ、PTrと略されます。

電気鉄道のインバータ装置やチョッパ装置のスイッチング素子として利用された実績もあるが、鉄道インバータ装置として使うには、耐電圧性能が足りないため降圧処理が必要であり、コスト面で不利であったため普及しなかった。バイポーラトランジスタは、電流制御型(ベース端子に流す小さな電流でコレクタ、エミッタ間の大きな電流を制御する。)なので、取り扱う電流が大きくなれば駆動回路も大規模になります。特にスイッチング用途においては、2000年代に入り、さらに特性がよく電圧駆動型

のパワーMOS FETや絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)に置き換えられつつあります。

日本における半導体素子の型番は、JEITA(社団法人電子情報技術産業協会)の規格ED-4001A「個別半導体デバイスの形名」(1993年制定、2005年改訂)に基づいて、形名と、規格がJEITAに登録されています。それ以前は、JIS C7012:1982(1993年廃止)で、以下のようにルール付けられていました。

- ・ 2SAxxx PNP型バイポーラトランジスタ 高周波用
- ・ 2SBxxx PNP型バイポーラトランジスタ 低周波用
- ・ 2SCxxx NPN型バイポーラトランジスタ 高周波用
- ・ 2SDxxx NPN型バイポーラトランジスタ 低周波用
- ・ 2SFxxx サイリスタ
- ・ 2SHxxx ユニジャンクショントランジスタ UJT
- ・ 2SJxxx Pチャネル電界効果型トランジスタ FET
- ・ 2SKxxx Nチャネル電界効果型トランジスタ FET  
(xxxは、11から始まる番号)

バイポーラ型トランジスタと 電界効果型トランジスタの大半は、このルールに基づいて命名されています。当該JIS規格はすでに廃止されていますが、今日でも通称としてJIS形名または、EIJA( JEITAの前身組織の日本電子機械工業会の略称) 型名と呼ばれます。

ここで、高周波用と低周波用を区別する基準は、特に定められておらず、メーカーの任意との事です。

#### 余談:

日本の半導体における名前の付け方ですがダイオードでは、頭に 1 が付いた型名があります。( 1N4007、1N4148、1S10 等 )トランジスタでは 2S で始まります。最初の 1 とか 2 は、PN接合面の数を意味しているようで、1 では、接合面が、1つで、2 では、接合面が 2つという話を、過去に聞いた事があるのですがそうなると、例外が出てきます。

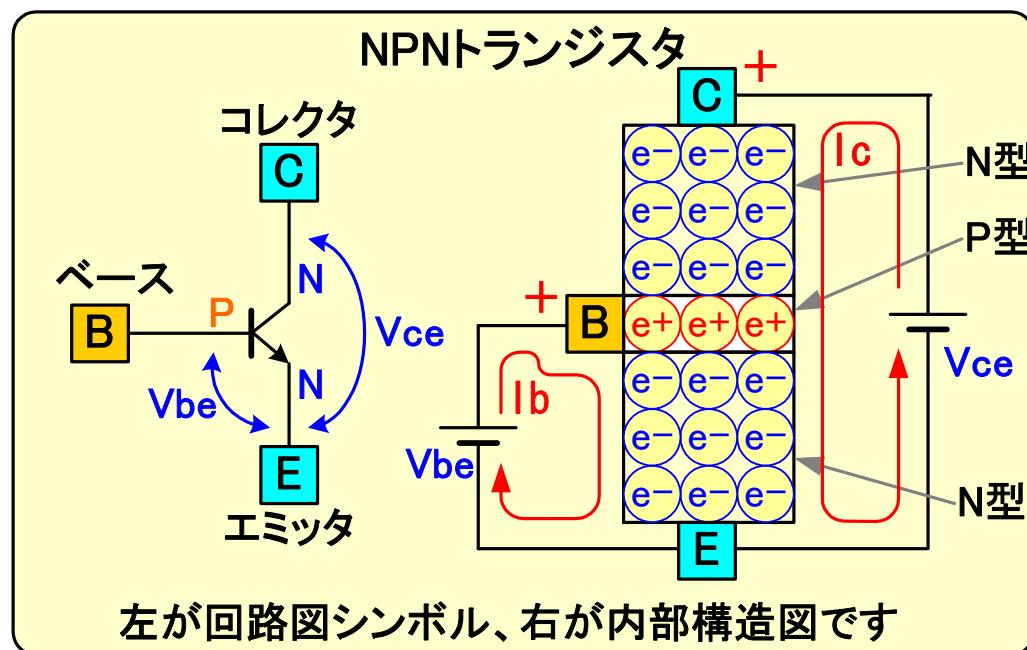
2SF の サイリスタは、PNPN接合で、接合面が 3つあります。逆に 2SH の ユニジャンクショントランジスタは、接合面が1つしかありません。まあ、ダイオードと バイポーラトランジスタに限れば、接合面の数と一致してますけどね。

それと、海外メーカーの半導体も 多数日本に、入ってきてるので、日本の半導体の形名は、だんだん忘れ去られる方向に向かっているような気がします。

それとは別に、学生の頃、私は トランジスタの足の並び E C B をエクボと 習いましたが、海外製のトランジスタは、足の並びが、違います。海外製のFGの 周波数表示のセブンセグメントの 1個セグメントが、付かなくなったので調べたら、壊れたトランジスタは特定できましたが、海外製で同じ物を持ち合わせていません。で、型名でデータシートを調べて、日本製トランジスタで代用しました。確か足を 2本ツイストさせて基板に、マウントしました。

## NPN型バイポーラトランジスタの原理

今回は、トランジスタの基本となるバイポーラ型トランジスタの原理を説明します。前回のダイオードの動画にて、P型半導体と、N型半導体及び、PN接合の説明は、行いましたので、NPN接合のトランジスタの説明から始めます。



まず、構造的にはエミッタとコレクタは、N型半導体であるため電子が過剰にあり、ベースはP型半導体であるため、電子が不足（正孔を持つ）している。よって、コレクタ ベース間、及びベース エミッタ間の 2つの接合面境界付近では、自由電子と正孔が引き付け合い消滅します。よって境界付近は、キャリアが存在しないので、空乏層と呼ばれ絶縁物と同じ状態になっています。ここで、ベース、エミッタ間にベースをプラスにして電圧をかけると、ベース エミッタ間電流  $I_b$  が流れます。

- ① ベース端子にかけたプラス電位に引かれ、電子が流れだし、ベースに正孔が発生します。
- ② エミッタに存在する電子がベースに向かい移動します。ベースに供給された正孔を利用し電子が、ベースを通過します。よって  $I_b$  が流れる事になります。

③ ベース電流  $I_b$  が流れるという事は、電子が エミッタから、ベースに向かって移動する事になります。しかし、P型半導体の部分は構造的に薄く作られているので、P型半導体に流入してきた電子の多くが、コレクタに抜け出しまいます。その後コレクタ エミッタ間電圧  $V_{ce}$  によって、電子が誘導されて コレクタ方向に移動します。

電子が、コレクタに移動するという事は、コレクタから エミッタに向かって コレクタ電流  $I_c$  が流れる という事になります。

通常  $V_{be}$  が、0.7Vを 越えたあたりから、 $I_c$  が流れ始めます。コレクタ端子に接続されている N層を無視すれば PN接合ダイオードと同じで、 $V_{be}$  を あまり上げる事は出来ません。

でも、 $V_{be}$  を僅かに上げると、 $I_c$  は、かなり増えます。

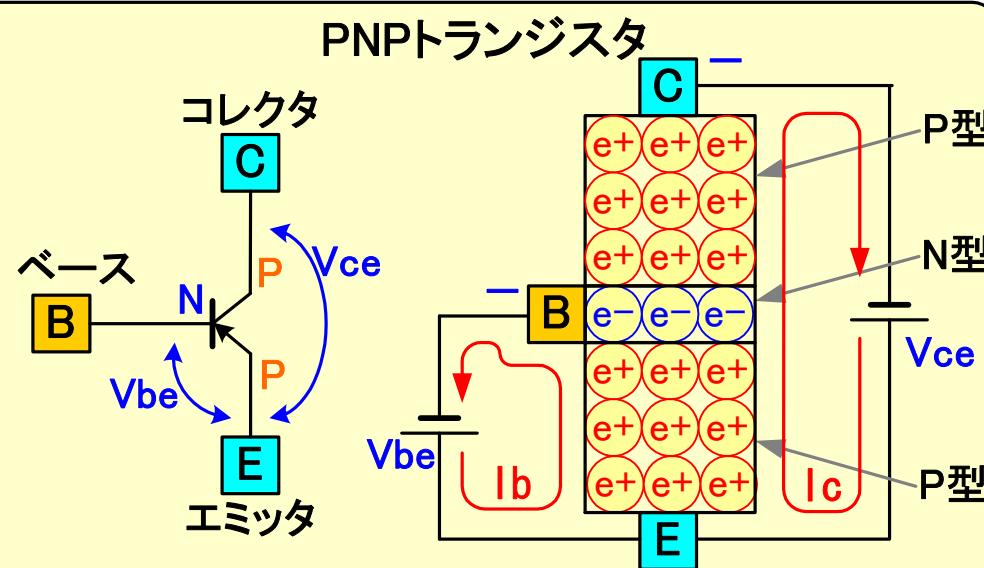
よって、トランジスタは、入力電圧  $V_{be}$  で、出力電流  $I_c$  を 制御しているのでは無くて、入力電流  $I_b$  で、出力電流  $I_c$  を制御していると考えた方が正解です。これが、トランジスタが 電流制御素子と呼ばれる所以です。トランジスタでは 直流電流増幅率：  $h_{fe}$  というのがあって、凡そ何倍に増幅されるかのパラメータです。

小信号增幅用のトランジスタで 100 ~ 200 ぐらいあります。

### PNP型バイポーラトランジスタの原理

PNP型トランジスタは、NPN型の P型半導体と N型半導体が、入れ替わっただけで、基本的な考え方は同じです。と書いてしまうと 身も蓋もない感じですね。

一応 誤解が無いように 前ページの図を PNP型に置き換えた物を、次ページに付けておきます。



左が回路図シンボル、右が内部構造図です

PNP型トランジスタの図です。この図を見て気付いた方もいると思いますが、エミッタが、プラス側で、ベース、コレクタがマイナス側になります。私含めマイナス接地に慣れている者からすると、ちょっと違和感があるかもしれません。

昔のゲルマニウムトランジスタは、PNP型が、多かったのでプラス接地のアンプとかあったようです。

### 増幅作用:

エミッタ ベース間の僅かな電流変化が、エミッタ コレクタ間の 大きな電流変化となって現れます。エミッタ ベース間の電流を入力信号とし、エミッタ コレクタ間の電流を出力信号とする事で、増幅作用が得られます。コレクタ電流  $I_c$  が、ベース電流  $I_b$  の何倍になるかを示す値を直流電流増幅率  $hfe$  と呼びます。

この値は、数十～数百倍になります。  
 $hfe = I_c / I_b$  です。

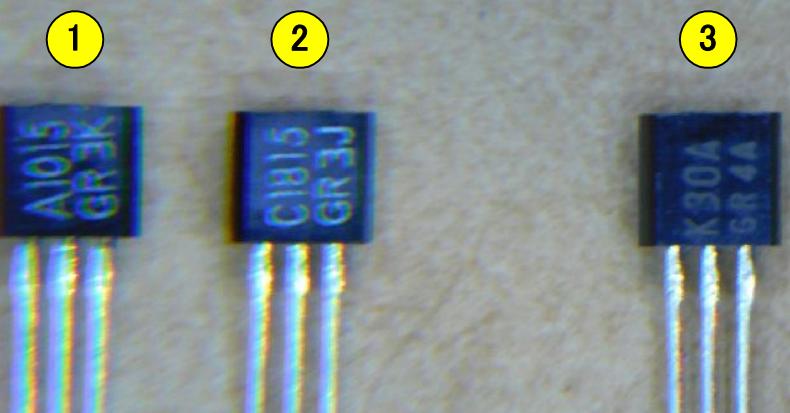
### スイッチング作用:

増幅時と同様に 少ないベース電流で、大きいコレクタ電流を 制御できる仕組みを利用します。

電流の大小ではなく ON/OFFだけが制御の対象であるため、飽和領域も使用されます。

## 手持ちのバイポーラトランジスタの画像

- ① 2SA1015 小信号トランジスタ
- ② 2SC1815 小信号トランジスタ
- ③ 2SK30A 小信号 FET ローノイズ用  
(かなり古い FETです)
- ④ 2SC4116 チップトランジスタ 低周波用  
 $h_{FE}$ :200~400 本体寸法: 2.0x1.25xH0.9  
左の2本足の裏に あと 1本足がある。
- ⑤ 2SC4811 ダーリントンパワートランジスタ  
 $h_{FE}$ :8000~20000、 $V_{CEO}$ :100V、 $V_{BE0}$ :8V  
 $I_C$  Max(DC): 8A

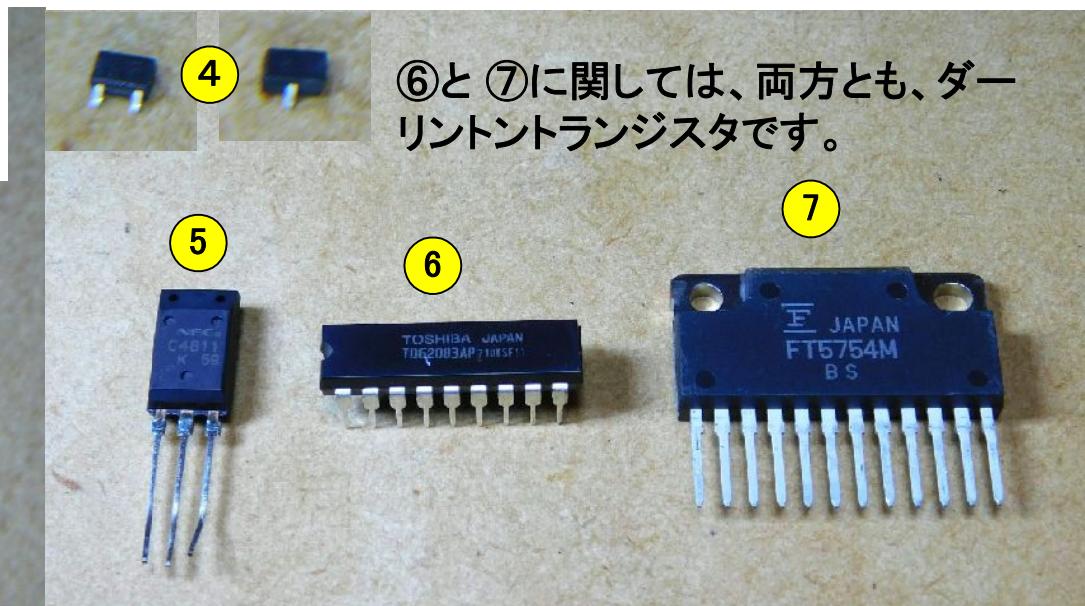


## ⑥ TD62083AP 8素子トランジスタアレイ

出力耐圧: 50V、出力電流: 500mA/ch  
フォトカプラ、小型リレー駆動用  
マイコンのI/Oポートで直接駆動可能  
誘導性負荷用クランプダイオード付き

## ⑦ FT5754M ダーリントントランジスタアレイ

出力耐圧: 100V、出力電流: 3A  
4相ユニポーラSTEPモーター駆動用  
マイコンのI/Oポートで直接駆動可能  
誘導性負荷用クランプダイオード付き



⑥と⑦に関しては、両方とも、ダーリントントランジスタです。

## バイポーラトランジスタの使い方

トランジスタの動作原理を説明する図で、電池を直接トランジスタに接続している原理図を、結構あちこちで見ます。

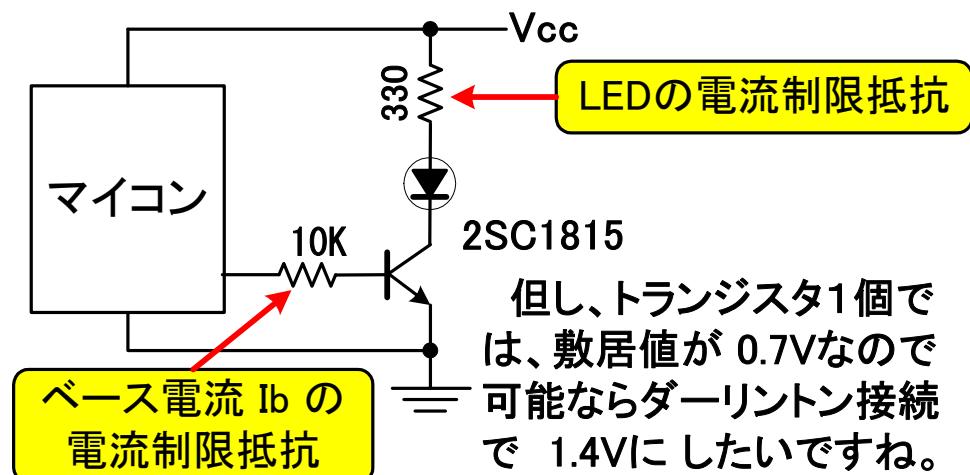
私も6ページと8ページに描きました。あれは、**実際の回路としては、動きません。**

トランジスタを動かすには、適切なバイアス電流を流す**バイアス回路**が必要です。具体的には、**ベース、コレクタに適切な電流を流すための抵抗を接続します。**

他の事に例えると、赤のLEDを点灯させる時は、LEDと直列に電流制限抵抗を入れます。抵抗を入れずに、5V電源に接続すると一瞬光って、後は二度と点灯しなくなります。壊したことですね。

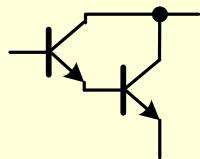
トランジスタも同様の事が、起こります。よって、抵抗で電流を制限する必要があります。特に、ベースはデリケートです。

増幅回路ではなくて、デジタル回路的な使い方ですが、トランジスタの一番簡単な使い方を、教えます。トランジスタ1個でオープンコレクタゲートを構成する事です。オープンコレクタゲートとは、マイコンで、やや電流を流すLEDを駆動する時、数ビット数がまとまれば、前ページのオープンコレクタアレイを使うのが簡単です。しかし、1ビットしか使わない場合は、トランジスタ1個でオープンコレクタゲートを構成します。

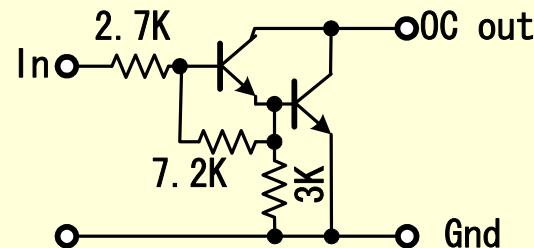


一つ、説明していませんでしたので、ダーリントン接続の回路図、及び ダーリントン接続の応用として オープンコレクタ回路を 示しておきます。尚、オープンコレクタに リレーのコイルなど誘導性負荷を接続する時は、コイル両端に **逆起電力を 逃がすダイオードを接続**して下さい。

ダーリントン接続

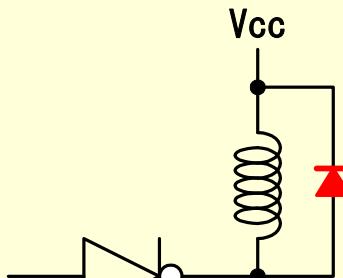


ダーリントン接続の OC回路



ダーリントン接続の OC回路 の 抵抗値は 参考値です。 ON,OFF動作しか無いデジタル回路の応用例ばかりになつてすみません。 増幅器の説明を しないといけませんね。

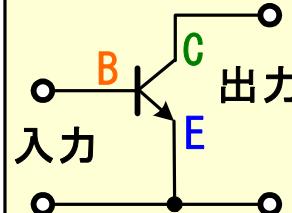
コイル負荷の OC回路



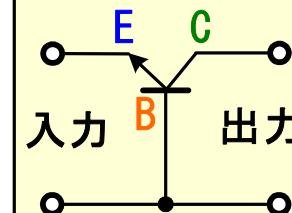
オープンコレクタゲート  
のロジックシンボル

ちょっと隙間が開いていたので、ここ下に 接地方式の図を 入れようと思 います。トランジスタは、エミッタ、ベース、コレクタ の 3本足があるので、そ れを 入力と 出力それと、共通極(接地、グランド)と して扱います。 そうすると 3種類の接地方式が、考 えられます。

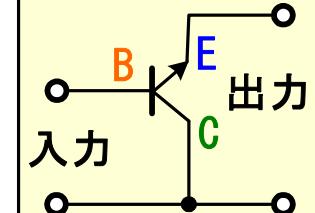
エミッタ接地

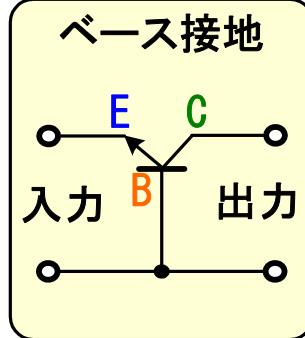
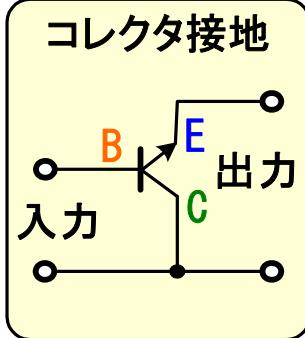
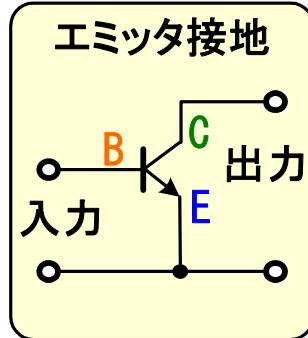


ベース接地



コレクタ接地





項目	エミッタ接地回路	コレクタ接地回路	ベース接地回路
入力インピーダンス	低い	高い	低い
出力インピーダンス	高い(負荷抵抗と同じ)	低い	高い(負荷抵抗と同じ)
電圧利得	大きい	ほぼ1	大きい
電流利得	大きい	大きい	ほぼ1
電力利得	大きい	エミッタ接地回路より小さい	エミッタ接地回路より小さい
入出力の位相	逆相	同相	同相
周波数特性	良くない	エミッタ接地回路より良い	エミッタ接地回路より良い

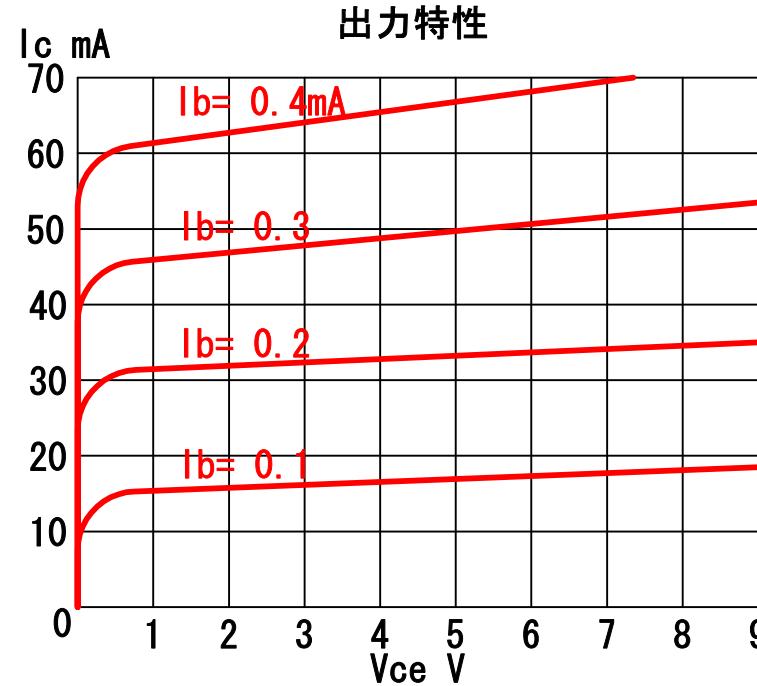
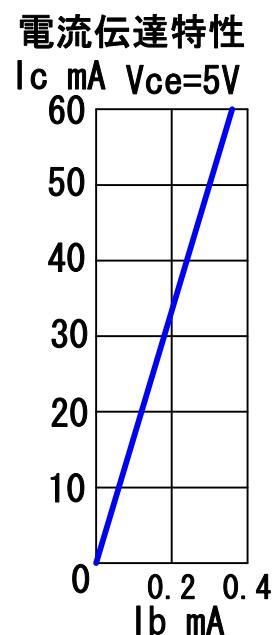
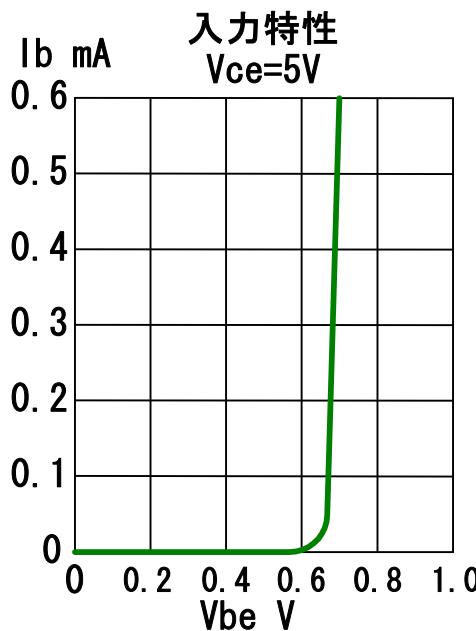
各接地回路の特徴は、左の表のようになります。

この3つの回路では、エミッタ接地が一般的でよく使用されます。コレクタ接地は、エミッタフォロアと呼ばれる事の方が多いと思います。エミッタフォロアは、利得1で、電圧増幅はしませんが、Hiインピーダンス入力で前段に負担をかけません。出力は、Lowインピーダンス出力で、信号の駆動力が強いです。よってバッファ回路としてよく使用されます。

ベース接地は、私は使用した事が、ありません。遥か昔、ベース接地は、高周波用途で使用する。という話を聞いた事があります。

## トランジスタの静特性

トランジスタの電圧と電流を測定し、トランジスタの静特性を調べます。静特性は **入力特性** ( $V_{be} \rightarrow I_b$ )、**電流伝達特性** ( $I_b \rightarrow I_c$ )、**出力特性** ( $V_{ce} \rightarrow I_c$ ) を、計ります。ここでは、資料のグラフを真似て表示します。



**入力特性:**  $V_{be}$ が 0.6V以上になると  $I_b$ は 大きく指数関数的に 变化します。

**電流伝達特性:**  $I_b$  に対する  $I_c$  の 变化特性。ほぼ、リニアに 变化します。

**比例関係:**  $I_c = hfe I_b$  が 成立する。

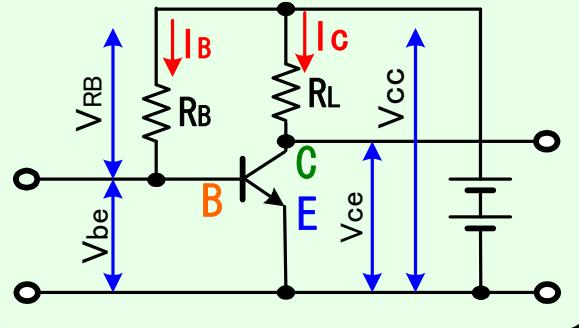
**出力特性:**  $I_b$  を固定して  $V_{ce}$ に対する  $I_c$  の 变化特性。 $V_{be}$ を变化させても  $I_c$ は あまり

影響を 受けませ  
んが、 $I_b$  を 变化さ  
せると、大きく变  
化します。そして電  
流伝達特性にて、  
 $I_b$  に対する  $I_c$  の  
変化が リニアに变  
化している事が  
トランジスタは、電  
流制御素子なんだ  
など、改めて思  
いました。

## 固定バイアス回路

最も基本的なバイアス回路である。

### 固定バイアス回路



$V_{CC} = V_{RB} + V_{BE}$  、  $V_{RB} = I_B \cdot R_B$   
なので  $V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$   
バイアス電流を  $I_B$  とすると、抵抗  $R_B$  は

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

と、なります。

## 自己バイアス回路

電圧帰還がかかるので、温度に対して安定して動作する。

$$V_{CE} = V_{RB} + V_{BE}$$

$R_B$  の電圧降下を  
 $V_{RB}$ 、バイアス電流を  $I_B$  とすると

$$V_{RB} = I_B \cdot R_B$$

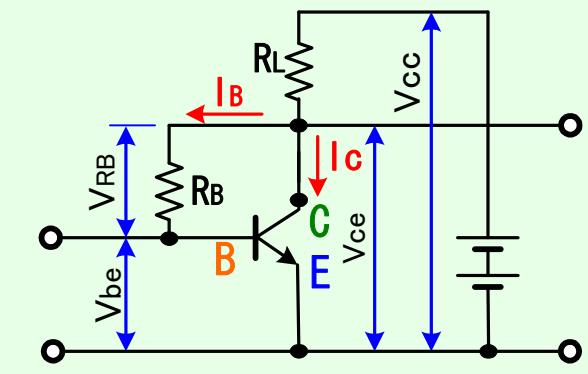
となり 抵抗  $R_B$  は

$$R_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_B}$$

となる。変形すると

$$I_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{R_B}$$

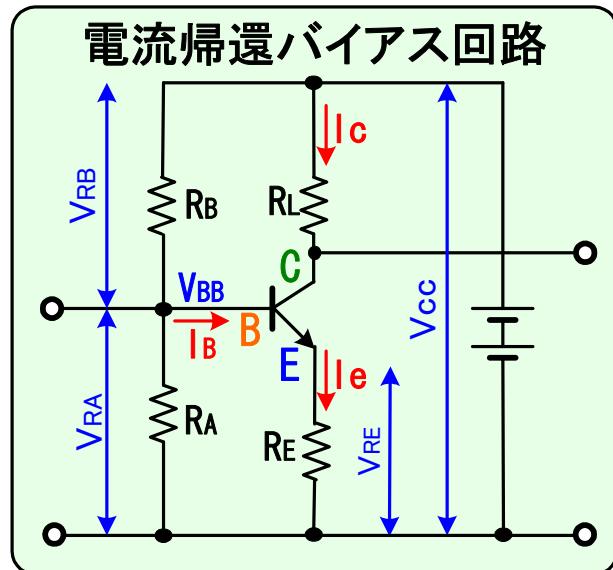
### 自己バイアス回路



となる。

## 電流帰還バイアス回路

この回路はエミッタにも抵抗が接続される。動作点を決めるのは  $V_{BB}$  である。



$$V_{BB} = \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

$R_E$  の電圧降下を  $V_{RE}$  とすると、

$$V_{BE} = V_{BB} - V_{RE}$$

となる。バイアス電圧は、3つの抵抗値  $R_A$ 、 $R_B$ 、 $R_E$  で決まる。

(左下の続きです。)

$$V_{RE} = I_E \cdot R_E = R_E (I_C + I_B)$$

との事です。

という事で、今回トランジスタのバイアス回路は

### ① 固定バイアス回路

一番、シンプルな回路ですが、温度等の影響を受けやすく動作が 安定しません。

### ② 自己バイアス回路

コレクタ抵抗からベースに 抵抗で電流を 供給すると共に 電圧帰還回路になっています。

①よりは 温度安定性がいいです。

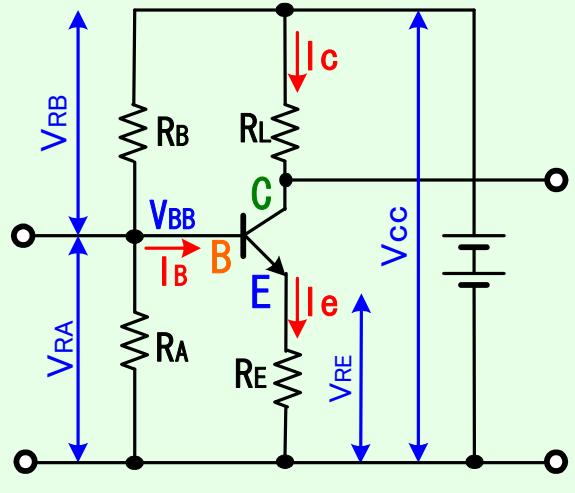
### ③ 電流帰還バイアス回路

エミッタ抵抗が 電流帰還の役割を行います。動作が安定していて、リニアに動作するので回路設計も楽です。小信号増幅回路等に広く利用されています。

## 今回の実験／電流帰還バイアス回路

今回の実験は、前ページの電流帰還バイアス回路の、抵抗の定数を算出し、ブレッドボード上に回路を組み立てます。そして FGで信号を入力し、出力をオシロで確認してみます。

### 電流帰還バイアス回路



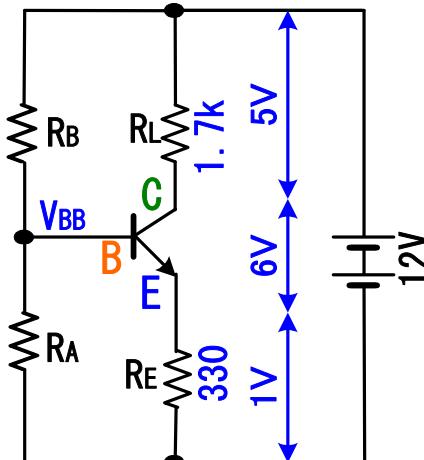
まず、電源電圧  
は 12V にします。  
電圧増幅度を、  
5倍にします。  
コレクタ電流  $I_c$  は  
3mA とします。

- ① コレクタ電流  $I_c$  の値が決まったら、負荷抵抗  $R_L$  を、 $I_c \times R_L$  が だいたい電源電圧の半分ぐらいなるように、決めます。

(  $R_L$  に現れる增幅後の出力波形が、上下に振幅する余裕を確保するために、無入力時の  $I_c \times R_L$  は 電源電圧の真ん中ぐらいに設定します。この事を 動作点を決める。といいます。) 今回は、 $R_E$  での電圧降下も必要なので、真ん中よりやや上方に設定します。

$I_c \times R_L$  が、5V になるように決めます。  
コレクタ電流 3mA で 負荷抵抗  $R_L$  は、 $5V/3mA$  で、1.67kΩ ぐらいです。

- ② 次にエミッタ抵抗  $R_E$  を決めます。今回設計する增幅回路は、5倍の電圧増幅度を持たせるため、抵抗  $R_L$  が決まると同時に エミッタ抵抗  $R_E$  の値も決まります。電流帰還バイアス回路の電圧増幅度は、以下の式で表されるため  
**電圧増幅度  $A_v = \text{負荷抵抗} R_L / \text{エミッタ抵抗} R_E$**   
の式を変形し、 $R_E = R_L / A_v = 1670 / 5$  は  $R_E$  は、約 330Ω となります。



かりに、何も交流信号が入力されて無い状態で、負荷抵抗 $RL$ 、トランジスタのC-E間、エミッタ抵抗 $RE$ の電圧は、左図のようになります。

$$RL=5V, V_{ce}=6V, RE=1V$$

それと、各トランジスタには、コレクタ損失の絶対最大定格をデータシートに記載してありますので、絶対定格の半分以下ぐらいになっているか確認します。例：2SC1815の場合：

**最大コレクタ・エミッタ間電圧  $V_{ceo}$ ： 50V**

**最大コレクタ電流  $I_c$ ： 150mA**

**最大コレクタ損失  $P_c$ ： 400mW**

**$h_{fe}$ ： GRランクで 200 ~ 400**

今回は、 $V_{cc}=12V$ で  $I_c=3mA$  で、十分余裕があります。

では、ベース電位を決定するための  $R_A$ 、 $R_B$ について見て行きます。**抵抗  $RE$ の 電圧降下は約 1V**です。ベース電位 $V_{BB}$ は、 $1+V_{be}$ になります。 $V_{be}$ は  $I_c$ を数mAしか流さない場合 0.7V程度です。よって  $V_{BB}$ は 1.7Vにすれば良い事が、分かります。抵抗 $R_B$ と  $R_A$ の 分圧で 1.7Vを作ればよい事になります。 $12V - 1.7V = 10.3V$   $R_A:R_B$ の 比率は 1.7 : 10.3 という事になります。 $h_{fe}$ を 200として  $I_c=3mA$ であれば、 $I_c/h_{fe}$ で  $I_B=15\mu A$ になります。 $R_A$ 、 $R_B$ に流す電流を  $I_B$ の 10倍以上として、 $150\mu A$ になります。切りのいい数字にして 0.2mAにします。すると  $12V / 0.2mA = 60k\Omega$  という事で、 $R_A = 60 * 1.7 / 12$  で、 **$R_A = 8.5k\Omega$ 、 $R_B = 60 * 10.3 / 12 = 51.5k\Omega$** になります。

という事で、 $RL$ 、 $RE$ 、 $R_A$ 、 $R_B$  の 4つの抵抗値が、計算出来ました。次のページで、回路図に4つの抵抗値を 入れた物を表示します。

計算で求めた抵抗値ですが、使用する抵抗は、E24ステップの抵抗値なので、きっちり合う値があるとは、限りません。無ければ近い値または、近い比率で抵抗値を調整します。

抵抗 計算値 E24系抵抗値 誤差

RL	1.66kΩ	1.6kΩ	4%
RE	330Ω	330Ω	0%
RA	8.5kΩ	8.2kΩ	3.7%
RB	51.5kΩ	51kΩ	1%

RLと RAにて多少誤差がありますが、上記E24系の抵抗値で実験する事にします。

電流帰還バイアス回路

