



第2章 信号の増幅や ON/OFF に欠かせない

トランジスタの 基本動作と応用回路

鈴木 雅臣
Masaomi Suzuki

第1章でシミュレーションを行ったダイオードはもっともシンプルな半導体素子です。そのシンプルさゆえ、素子に流れる電流は、周辺回路で間接的にコントロールしなければなりません。この欠点を克服するため、素子の動作を直接コントロールする端子を追加した半導体素子がトランジスタです。

トランジスタにはいろいろな種類がありますが、この章ではもっとも長い歴史を持ち、かつもっとも基本的な素子であるバイポーラ・トランジスタ (Bipolar Junction Transistor : BJT, 以下単にトランジスタという) について理解していきましょう。

トランジスタのふるまいを理解する

トランジスタを動かしてみよう

写真2-1に示すのは、いろいろな用途のトランジスタです。トランジスタは、この写真のように3本の端子をもつデバイスです。使用する用途によって、いろいろな形になっていますが、最大定格やいろいろな性能に差があるだけで、基本的な動作はどのような品種のトランジスタもまったく同じです。

図2-1に示すのは、トランジスタの回路記号です。トランジスタには、NPN型とPNP型の2種類があります。それぞれの端子には、ベース (base), エミッタ (emitter), コレクタ (collector) という名前がついています。

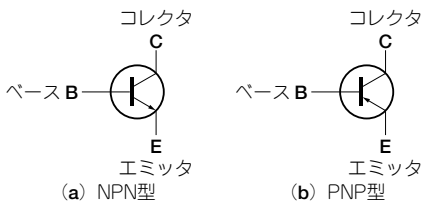


図2-1 トランジスタを示す回路図記号

動作は電流に注目して理解する

各端子に流れる電流を見る

図2-2に示すのは、コレクタ-エミッタ間に直流電圧を加えて、外部からベースに電流を流し込んだときに、トランジスタ各端子の電流がどのようになるかをシミュレーションする回路です。ベース電流を流した

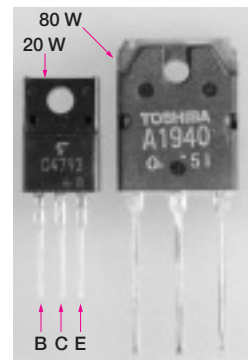


(a) 小信号用の2SC1815 (東芝)と2SA1015(東芝)



製品に使われる小信号用はこのような小型のものになっている

(b) 表面実装パッケージ



左 : 2SC4793 (東芝), 2SA1940 (東芝)

(c) 電力用

写真2-1 実際のトランジスタの例(ほぼ実寸)

Keywords

トランジスタ, バイポーラ・トランジスタ, NPN型, PNP型, ベース, コレクタ, エミッタ, 電流増幅率, h_{FE} , 定電流源, リニア・モード, スイッチ・モード, フリーホイール・ダイオード, オープン・コレクタ, エミッタ共通増幅回路, 周波数特性

めの信号源には、万能電流源 **ISRC** を使っています。

シミュレーションに用いるデバイスには、NPN型が小信号汎用トランジスタ **2SC1815** (PSpiceのモデル名は **QC1815**, toragi.libに入っている), PNP型が小信号汎用トランジスタ **2SA1015** (PSpiceのモデル名は **QA1015**, toragi.libに入っている) を使いました。これらのトランジスタは、電子回路エンジニアの間では定番になっているトランジスタです。

図2-3は、DC解析で定電流源 I_1 を設定して、それぞれのベース電流 I_B を $-1\text{mA} \sim +1\text{mA}$ まで変化させたときのエミッタ電流 I_E とコレクタ電流 I_C の変化のようすを示しています。このグラフで、負極性の電流はデバイスから外部へ流出してくる方向、正極性は外部からデバイスへ流入する方向を表しています。

● トランジスタに流れる電流は一方通行だ！

図2-3(a)のNPNトランジスタの場合は、 I_B がプラスの領域、つまり I_B がトランジスタへ流入するときだけ、 I_E と I_C が流れています。このときの I_B はマイナスですからトランジスタから流出する方向、 I_C はプラスですから流入する方向です。

図2-3(b)のPNPトランジスタの場合は、各電流の方向がNPNとは逆で、 I_B が流出する方向のときだけ I_E が流入し、 I_C が流出します。

これは、トランジスタの各端子に流すことができる電流の方向が決まっていることを表しています。つまり、トランジスタは電流を一方にしか流すことができない電流一方通行のデバイスなのです。このような

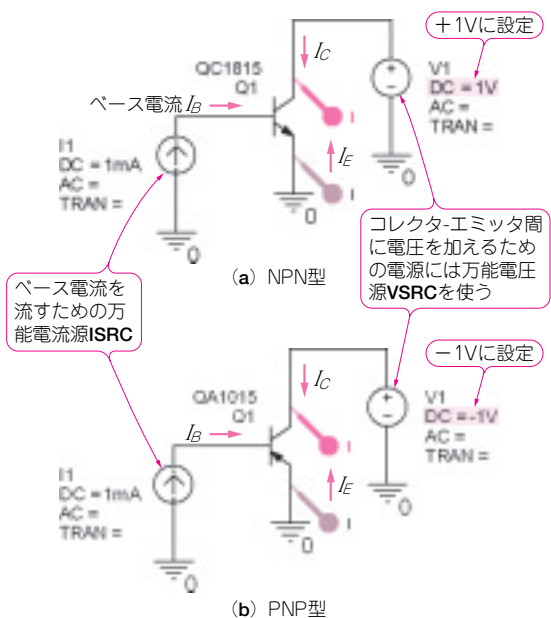


図2-2 各端子の電流の流れる方向を確認するための回路

を図2-4に示します。このイメージは、トランジスタの動作を考えるときたいへん役に立ちます。

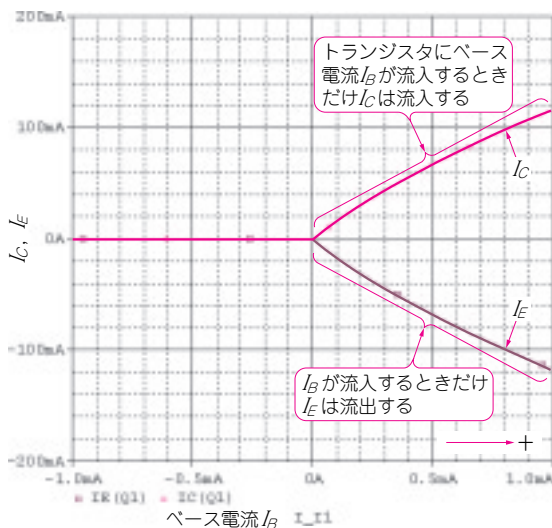
さらに、トランジスタの端子電流には次のような関係があります。

$$I_E = I_B + I_C \dots\dots\dots (2-1)$$

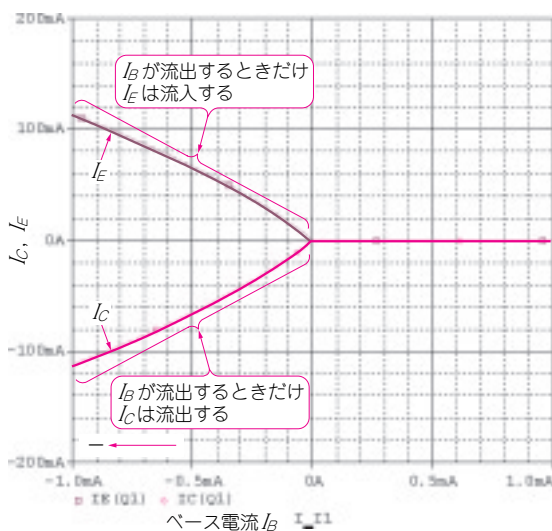
これは、電流の向きを考えると「流れ込んだ電流はすべて流れ出る」というたいへんシンプルな関係を表しています。

● バイアスというトリックを使って交流信号を扱う

ここで、トランジスタで電気信号を扱うことを考えてみましょう。アナログ回路で扱う信号は、一般的に



(a) NPN型



(b) PNP型

図2-3 図2-2の回路の解析結果

各端子に流れる電流には法則性がある