

トランジスタCooking!

〈第1回〉

増幅のメカニズム

柴田 肇

Hajime Shibata

素材を活かす

● 「トランジスタ」の能力を上手に引き出そう

私は旅先でおいしそうな料理の写真を撮ることが趣味の一つです。写真1-1はその1枚で、お皿いっぱいクリームつきアップル・パイです。

アップル・パイは、薄い層(生地)が幾重にも折り重なり、その層と層の間に煮た林檎が入っているという複雑な構造をしています。しかしパイの生地は、小麦粉、バター、水と塩だけでできています。

生地は薄く、そしてうまく分離していなければおいしくありません。使っている材料は同じでも、その材料のもつおいしさを上手に引き出せるかどうかがとても大切です。苦味をうまく打ち消したり、調味料もさりげなく使って、おいしく仕上げるのが、料理人の腕の見せ所になるのでしょう。

電子回路も同じです。どんな回路も、トランジスタ、抵抗、コンデンサ、コイルなどのたった数種類の素子からできています。しかし、これらの素子を巧みに組み合わせることで、携帯電話やテレビなど、もともとの素子からは想像もできない機能をもったシステムを作ることができます。



〈写真1-1〉 クリーム付きアップル・パイとコーヒー

使っているトランジスタは同じでも、トランジスタのもつ性質を、スパイスもさりげなく使って上手に引き出し、おいしい回路を作れるかどうかアナログ回路設計者の腕の見せ所です。

● ICはたくさんのトランジスタでできている

ICの世界では、トランジスタの形状がとても小さく、たくさんのトランジスタを現実的なコストで使うことができます。現在のトランジスタの、上から見たサイズは、小さなもので $0.05\mu\text{m}^2$ 程度です。

トランジスタはシリコン基板の表面に作り込まれます。1mm²のサイズのICなら、2千万個(=1mm²/0.05μm²)ものトランジスタを敷き詰めることができるわけです。アナログ回路では大きなサイズのトランジスタを使うことが多いため、ICに比べてトランジスタの数はずっと少なくなります。それでも、数百から数千個のトランジスタを使っています。

通常、ICの中には数個から数十個程度のA-Dコンバータ、D-Aコンバータ、アンプなどの機能ブロックが入っています。それぞれの機能ブロックは、数十~数百個のトランジスタが組み合わせられてできています。

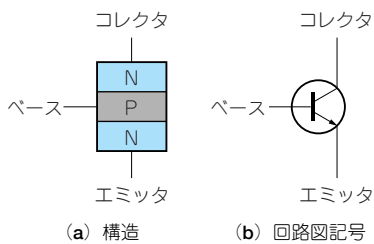
● 1~4個の素子を組み合わせせた定番回路をマスターすれば怖いものなし

数十~数百個のトランジスタを組み合わせせた回路の動作を理解できるでしょうか？

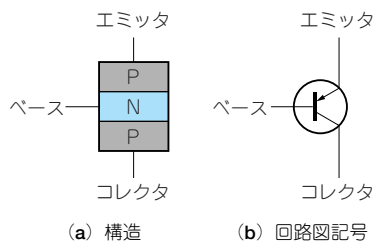
実のところ、まじめに計算すると、トランジスタが1個とか2個でもなかなかたいへんなことです。10個にもなるともうお手上げです。そこで、実際のICやアナログ回路では、1~4個程度のトランジスタを使ったミニ回路を組み合わせせて機能ブロックを作っていきます。

この連載ではトランジスタの性質をひとつひとつ調べてきたあとで、よく使うミニ回路や面白いミニ回路をいろいろ取り上げて紹介する予定です。そして、ときどき紹介したミニ回路を組み合わせせて機能ブロックを作ってみます。

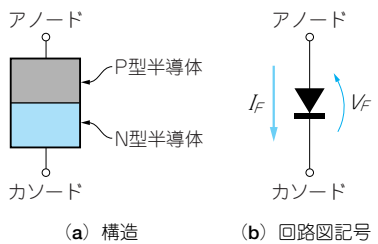
〈図1-1〉NPN型バイポーラ接合トランジスタの構造と回路図記号



〈図1-2〉PNP型バイポーラ接合トランジスタの構造と回路図記号



〈図1-3〉ダイオードの構造と回路図記号



トランジスタのあらまし

● 最初から物性のことを考える必要はない

トランジスタ一族は、半導体の物性を巧妙に応用した素子で、扱い方によっていろいろな表情を見せます。

しかし、最初の段階から物性に深入りする必要はありません。特に単純な増幅動作を考える場合はそうです。このことは、まったく動作原理の異なる素子、例えば真空管をトランジスタと同じように扱っても、ラジオやオーディオ用のパワー・アンプが作れることから想像できるとおりです。

もちろん、トランジスタ特有の性質を利用する回路もあります。連載ではそのような回路も後ほど紹介します。まず最初は、増幅に的を絞って、電子回路の素材である「トランジスタ」の表情を見てみることにします。

● 種類

トランジスタと一口に言っても、

- 接合型バイポーラ・トランジスタ (BJT, Bipolar Junction Transistor)
- 接合型電界効果トランジスタ (JFET, Junction Field Effect Transistor)
- MOS型電界効果トランジスタ (MOSFET, Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)
- TFT (Thin Film Transistor)

などいろいろな種類があります。連載では、まずバイポーラ・トランジスタを紹介し、後ほどMOSFETやJFETを紹介します。

BJTとかMOSFETといった区別は、トランジスタの構造の違いを示しています。そのほかに、N型かP型という半導体の極性による分類もあります。

● 接合型バイポーラ・トランジスタの物理的な構造

図1-1と図1-2に示すのはバイポーラ・トランジスタの物理的な構造です。

バイポーラ・トランジスタは、図1-1に示すよう

にN型半導体でP型半導体をはさんだものと、図1-2に示すようにP型半導体でN型半導体をはさんだものがあります。それぞれを**NPN型**と**PNP型**と呼びます。

N型またはP型の半導体からそれぞれ端子を取り出すため、バイポーラ・トランジスタには全部で三つの端子があります。これらの端子をそれぞれ、**ベース**、**エミッタ**、**コレクタ**と呼びます。

● トランジスタの必殺技は「増幅」

トランジスタと増幅は、切っても切り離すことのできない関係です。なぜなら、**増幅はトランジスタにしかできない技**だからです。ただし、特別なダイオードは除きます。

では、増幅で何ができるのでしょうか。

回路を通過する信号は、処理を行うごとに減衰しますが、トランジスタをとところどころに挿入すればその減衰ぶんを補うことができます。オーディオ・パワー・アンプなどでは、トランジスタが入力された音楽信号を増幅して振幅を大きくし、スピーカを勢い良く駆動します。発振回路では、出力を増幅して入力に戻すことで、発振状態を維持します。

そのほか、一見、増幅とは関係ないようにみえるデジタル回路でも、入力信号を信号振幅が飽和するまで増幅して2値化しています。このように、増幅はさまざまな回路で利用されています。

まずダイオードの振る舞いを理解しよう

● V_F が正のときにだけ I_F が流れる

ちょっと寄り道になりますが、トランジスタを理解する前にダイオードの動作を見ておきましょう。これは、**バイポーラ・トランジスタにダイオードと似た性質がある**からです。

図1-3に示すように、ダイオードはP型半導体とN型半導体を接触させたシンプルな構造をしています。P型半導体から取り出した端子を**アノード**、N型半導体から取り出した端子を**カソード**といいます。

ダイオードは、アノードとカソードの2端子素子なので、アノードを流れる電流はカソードを流れる電流