

はしがき

「電子回路」は、電気・電子工学において重要な教科の一つです。電磁気学や電気回路、電子デバイス、情報技術や通信技術などの重要な基礎教科の知識は、電子回路に集大成され、エレクトロニクス製品として世に出て行くからです。

私は、約 25 年間、電機会社にてアナログやアナログ・デジタル混載集積回路の開発に従事し、多くの技術と製品を開発してきました。10 年ほど前から大学に移りましたが、研究室では超高周波や超低電力のアナログ・デジタル混載集積回路の研究開発に従事するとともに、電子回路、集積回路、信号処理や計算機工学などの教育を担当しております。また、毎年約百名以上の企業の技術者に CMOS を中心とするアナログ集積回路設計を教えております。

その経験を通じて感じるのは、現代のアナログを中心とする電子回路技術はますます高度化し、新たな技術が必要とされている反面、大学や企業では十分な教育が行われていないということです。デジタル化の進展に伴い、TV、VTR を代表とする、従来のアナログ信号処理技術は使用されなくなりました。現在ではほとんどの電子機器はデジタル化しました。しかしながら、電気信号は依然アナログです。そこで、デジタルとのインターフェースを行う、A/D D/A 変換器が大変重要になりました。PLL などの周波数やタイミングを制御する回路、スイッチング電源などのエネルギー変換を行う回路、高周波信号を扱う回路なども今後も使用され、ますます重要になるものと思います。

これに伴い、使用するデバイスはバイポーラから MOS に変わってきており、当然集積化されています。更に、微細化と低電圧化に伴い、使用される回路も移り変わりつつあります。また、従来の、主として周波数特性を扱った交流理論を主体とする電気回路ではなく、周波数応答はもとより、時間応答やシステムの振舞いまで扱えるラプラス変換や、標本化された信号である、離散時間信号を取り扱う Z 変換を学ぶ必要があります。しかしながら、技術が集積回路に閉じ込められているためか、必要な技術が分かりにくくなっていることや、変化が急激であるため、カリキュラムや、教員および学生の意識もこの時代の変化に十分に対応できているとは言えません。

学生や技術者に電子回路を教えたときに痛感するのは基礎の大切さです。電子回路はノウハウの世界といわれます。事象が複雑なので、理論で全てを解明することができず、堪と経験が重要だとされます。たしかにそれも認めますが、より重要なのは基礎理論です。これをしっかり身につけておけば、正しく問題に対処できます。実はかなりの基礎知識は大学の学部で学んでいます。しかしながら、それらの知識が体系化・統合化されていないため、実際に応用されるまでには至らないというのが大多数です。あるいは、将来何に役に立つかわからなかったので、学ばなかったという場合も多く見られます。

この教科書はそのような状況を踏まえて作成されました。できるだけ現代に必要とされる電子回路を基礎から学べるように構成したつもりです。

この「基礎電子回路工学」は続いて出版される「応用電子回路工学」の基礎編を成すものです。「応用電子回路工学」では今日、大量に使用されているのにこれまであまり取り扱われなかった離散時間処理回路、A/D・D/A 変換器、 $\Delta\Sigma$ 型 A/D・D/A 変換器、能動フィルタ、PLL 回路、高周波回路、センサ周辺回路、スイッチング電源、デジタル論理回路について解説する予定ですが、「基礎電子回路工学」はそれらのやや先端的な内容を学ぶ前に電子回路の基礎をしっかりと学んでいただくために執筆されました。

以下に、本教科書の特徴を述べます。

対象とするデバイスは従来のバイポーラトランジスタに加えて、MOS トランジスタを大幅に取り入れました。現在のアナログ電子回路では既に大半が MOS を主体としており、今後も伸びていくからです。特性パラメータとしては、従来は h -パラメータを用いたものが多かったのですが、現在はほとんどが SPICE パラメータを用いるようになっており、使用されなくなりましたので、電流増幅率 h_{FE} を除いては使用しませんでした。

電気特性としては従来、周波数特性がほとんどでしたが、セットリング特性などの時間応答特性も重要になっています。これに対し、従来の電気回路理論では $j\omega$ を用いた交流回路理論を用いたものが多く、時間応答への対応ができませんでしたので、ラプラス変換を用いたものに改めました。これにより周波数応答だけでなく、時間応答やポール・ゼロ解析を主体とするシステム解析への対応も可能にいたしました。

離散時間処理や A/D D/A 変換では標準化理論や Z 変換、および若干のデジタル信号処理技術が必要ですが、これらは「応用電子回路工学」で取り扱う予定です。

また、従来はアナログ回路技術を用いた変復調回路が必ず取り上げられていたのですが、変復調回路は今後全てデジタル化されるものと思われますので、取り上げませんでした。同様にダイオードと演算増幅器を用いた非線形演算回路も今後使用されないと判断し、取り上げませんでした。

電子回路を理解するには、半導体や電子デバイスの基礎と、ラプラス変換を中心とする電気回路理論をしっかりと学ぶ必要があります。そこで、本書では第 2 章、第 3 章でかなり詳しく記述したほか、従来あまり取り上げられませんでした、デバイスのばらつきやノイズについても第 7 章で簡単に記述しました。アナログ回路技術はこれら、デバイスの不完全性に対する戦いであるからです。

2014 年 5 月

松澤 昭