

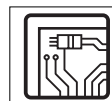
もう一度学ぶ電磁気学の世界



第1回

電磁気学がおもしろくなる方法

小暮裕明



ボードの記事



ビギナーズ

この連載では、電磁気学をわかりやすく解説していきます。高速デジタル回路では、電磁気学の知識がとても重要になります。電磁気学は、大学で電気・電子工学を専攻していればだれもが学んでいるはずですが、あまり身に付いていないという人も多いようです。そこで学生時代の失敗を繰り返さないために、教科書とは別の方式を取り入れます。回路設計の現場で起こりがちな問題を示し、それを解くために必要な電磁気学の基礎法則を説明していきます。第1回目は、電磁気学に興味を持っていただくために、電気と磁気の関係を歴史的な話とともに紹介します。(編集部)

最近、「電磁気学を基礎からもう一度学び直したい」という技術者の声をよく聞くようになりました。その背景の一つには、高速・高周波の信号を扱うようになってきたことが挙げられるでしょう。今までは結線をチェックすれば動いてくれた回路も、どうやらそれだけではすまなくなってきました。オームの法則やキルヒホッフの法則による回路設計だけではなく、いよいよマクスウェルの方程式も必要になってくるのか、これはたいへんだ!というわけです。

回路基板からのノイズ放射や、装置筐体の共振なども問題となってきましたが、こういった現象は回路の電流や電圧だけでは説明が付きません。そこで必要となってくるのが、回路の周りにできる電界と磁界に着目して原因を探る方法です。また携帯電話や無線LANなどのワイヤレスの世界では、電界と磁界が振動する波、つまり電磁波を利用す

るので、電磁気学は避けて通れません。そこで本連載では、今までの「電流・電圧による設計」に加え、「電界・磁界による設計」を身に付けるために欠くことのできない電磁気学の世界を、基礎からもう一度学び直します。

役に立つ電磁気学を目ざして

筆者は学生時代に電気工学を学びましたが、ソフトウェア開発会社に就職したために、電気の教科書はいつしか押し入れの奥にしまっていました。ところが最近になって電磁界解析というシミュレーション・ソフトウェア^{注1}を扱うことになり、昔使った教科書を読み直す必要に迫られました。中でも電磁気学はベクトル演算や微分・積分が多く、いまだに悪戦苦闘した夢でうなされるほどです。

筆者がお世話になったのは『電気磁気学』¹⁾という教科書でした(図1)。執筆者直伝の授業で、ていねいな解説に聞

電気磁気学

目次

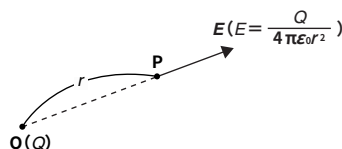
- 第1章 緒 論
- 第2章 電 荷
- 第3章 真空中の静電界
- 第4章 真空中にある導体系
- 第5章 誘 電 体
- 第6章 電界の決定
- 第7章 電 流
- 第8章 真空中の磁界
- 第9章 磁 束
- 第10章 インダクタンス
- 第11章 電磁誘導
- 第12章 電 磁 界
- 第13章 電気単位系

【図1】

『電気磁気学』の目次

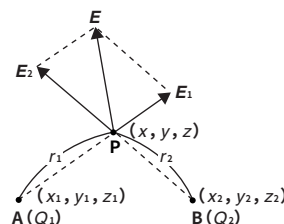
静電気からマクスウェルの電磁方程式までを学ぶ内容になっている。

注1: シミュレーション・ソフトウェア。シミュレーションとは本物になぞらえることで、コンピュータの中で模擬実験を行うプログラムのこと。キルヒホッフの法則に基づくSPICEなどの回路シミュレータや、マクスウェルの電磁方程式に基づく電磁界シミュレータなどがある。



【図2】点電荷による電界

Q は点Oにある点電荷の大きさ(単位はC:クーロン), ϵ_0 は真空の誘電率。



【図3】二つの点電荷による電界

点Aにある電荷 Q_1 による電界 E_1 と、点Bにある Q_2 による E_2 をベクトル和した E が、 Q_1 と Q_2 による電界を表す。

き入ると時のたつのを忘れるほどでしたが、これが演習科目に移ると一転してつらい時間になります。いざ問題を解くとなるとなかなか手が動きません。なんとか計算を進めるのですが、理解できないまま次の週になってしまうというこの繰り返しで、そのうちに授業は終了、というのが筆者の学生時代でした。

●どこで電磁気学がきれいになるのか

電磁気学では、電氣的な力が働いている場所を電気場(電場)あるいは電界と名づけ、これは大きさと方向を持つ量なのでベクトルとして扱います。例えば点Oにある電荷から r メートル離れた点Pの電界は、図2のようなベクトル E として表します。二つの点電荷がある場合は、図3に示すように、 E_1 と E_2 のベクトルの和で表せます。これは教科書のはじめの章あたりにでてくる説明ですが、このベクトルの合成や、スカラー積、ベクトル積までは理解できました。しかし、その次に控えている勾配(grad)^{注2}や発散(div)^{注3}あたりから急にあやしくなってきます。そしてベクトル場の積分も登場して、多くの重要な法則がベクトル表現で次々と定義されていきます。

筆者の場合、これらのベクトル演算がよくわからなくなったところから授業がつらくなってきたのを覚えています。数学は苦手なので、できれば避けて通りたいとも思いました。話を聞くと、同じような方が多いようです。

そこで本連載では、このベクトル演算というハードルをなんとかクリアします。筆者自身も再度チャレンジしてみたいと思います。

●電気工学と電磁気学

電気工学といえば、まず電気回路や電子回路といった科目に代表されるように、電気製品を設計・開発できるようになるために必要な知識と考える人もいるでしょう。実利的で、社会に出てすぐに役に立つ技術的な知識といってもよいでしょう。そして開発現場で働く読者の中には、これまではオームの法則やキルヒホッフの法則でしごとをしてきたと実感している人も多いと思います。

一方、電磁気学というと、図1に示すように、電荷の話や磁石の話から始まって、空間における電界や磁界の分布、電界や磁界のエネルギーといったように、しごとではめったに使うことのない、回路設計に直接役立たない知識と考えている人が多いのではないのでしょうか。筆者も学生のときは、電気学科の科目ではなくむしろ物理学科の科目ではないかと感じていたくらいです。

そこであらためて電磁気学の教科書を読み返してみると、「電気工学は電気磁気現象を利用する工学である」¹⁾と書かれています。つまり電気・電子回路も電気磁気現象を利用していると言えるわけですから、回路の周りに発生する電気磁気現象をよく理解することが求められるのだ、というわけです。

●息切れしない勉強法

電気や磁気は直接目で見るできないという点も、電磁気学を難しいと考える要因の一つでしょう。これを克服する手段として、空間に分布している電気や磁気を、電

注2: 勾配(grad)は、グラジエント (gradient) ともいう。電位の傾きとは坂道の傾斜と同じような意味で、一定の距離(単位長さ)進んだときの電位の変化を表す。このベクトルを勾配ベクトルと呼ぶ。

注3: 発散(div)は、ダイバージェンス (divergence) ともいう。電磁力線を液体の流れのベクトルのように考えると、単位時間に微小面積を通過する量である流束が与えられる。この場に微小体積をとり、そこから単位時間に流出する流束を考え、微小体積をゼロにした極限を、このベクトル(電磁力線)の発散と呼ぶ。例えば液体の流れの場合、発散はわき出し口では正、吸い込み口では負、そのほかの場所ではゼロになる。