



10 磁気学の基礎 ①

馬場 清太郎
Seitaro Baba

基本的なインピーダンス素子は、

- R：抵抗(レジスタンス)
- C：コンデンサ(キャパシタンス)
- L：コイル(自己インダクタンス)
- M：トランス(相互インダクタンス)

の四つです。これまで連載で扱ったのは、抵抗とコンデンサだけです。今回と次回はコイルとトランスについて説明しましょう。

● コイルとトランスを使いこなそう!

電子回路のIC化という流れの中で、ICにマッチしないコイルとトランスを使うケースは減ってきました。

しかし、コイルとトランスが必須の回路はまだたくさんあります。それは、デジタル化されずに現在も残っているアナログ回路、つまり高周波回路とエネルギーを扱うパワー回路です。現在でも、コイルとトランスを使いこなすことは、エンジニアの必須の技術なのです。

コイルとトランスを理解するには、

- アンペアの法則

● ファラデーの法則

を理解する必要があります。

教科書に書いてある電磁気の基本と、回路設計に必要な実践的な知識の間には大きな乖離かいりがあります。ここでは、できるだけ実践的な事柄を説明します。理論的な根拠は稿末の文献(1)に譲りますから、復習して理解してください。

磁気学の基礎

■ 電気学との比較

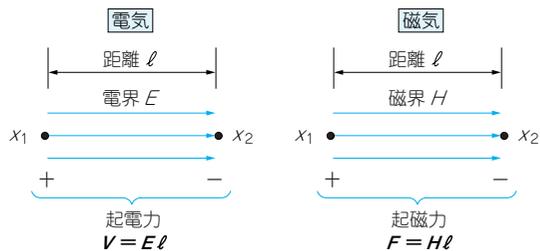
磁気学は、電気学の理論から類推すれば理解できます。そこで、ここでは電気と磁気の違いをまとめました。

● 電気と磁気の関係

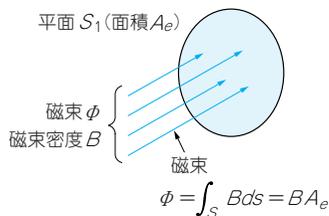
図10-1に、磁気の基本をまとめました。

図10-1(a)は、電気と磁気の対応関係です。電界中の2点間に発生する起電力は電界と距離の積になり

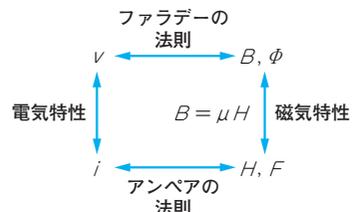
〈図10-1〉磁気と電気の関係



(a) 電気と磁気の対応



(b) 磁束と磁束密度



(c) 磁気の基本法則

ます。同様に、磁界中の2点間に発生する起磁力は、磁界と磁路長と呼ばれる距離の積になります。電気学の本質的な議論において、電界も重要な基本量ですが、応用では電圧(起電力)を使用します。磁気学でも本質的な議論では磁界、応用では起磁力を重視します。

図10-1(b)は、磁気のもう一つの重要な量である磁束密度と磁束の関係です。磁束は閉じられた平面を貫通する磁束の総和です。電気学においても同様に、電束密度と電束の関係が成立しますが、電束密度は重要視されません。

図10-1(c)は、磁気学の基本法則「アンペアの法則」と「ファラデーの法則」の役割を図示したものです。この二つの法則は、コイルとトランスに関する端子電圧と端子電流の電気特性と、磁気重要な量である磁界・起磁力と磁束密度・磁束による磁気特性を関連づけています。詳しくは後述します。

● 磁気用語と電気用語の対応

表10-1に、電気用語に磁気用語を対応させてまとめました。

表に示す磁気用語のなかでも、実用的に重要なパラメータは、前述のように起磁力と磁束密度の二つです。電気磁気学の教科書に載っている磁力線は、電界を可視化した電気力線と同様に磁界を可視するための仮想的な線です。磁力線は元が磁界ですから、ここで重視している磁束とは単位が違う程度です。

応用で使える磁気量は、測定や設計が簡単で実用性が高く、本質的に重要な磁気量との関係が明白である必要があります。

磁界は本質的に重要なパラメータですが、測定や設計が容易ではありません。起磁力は測定や設計が簡単で実用性が高く、磁界と起磁力の関係が明白です。

磁束密度は本質的に重要であり、測定や設計が容易で実用性が高いため、本質的にも実用的にも重要な量

です。

電気学で重要視されるのは電荷と電界です。磁気学で電荷と電界に対応するのは磁束と磁界です。前述のように磁束は具体的な個々の面積に関係するため、一般的な考察では単位面積当たりの磁束、つまり磁束密度を重要な量とします。

目的としている実用面では、電気量としては電圧と電流が重要であり、磁気では起磁力と磁束密度です。

● 電気と磁気のエネ르기に対する捕らえ方の違い

電流 I と電圧 V の図を描くと、その面積は電力 IV になります。電力の単位は $[W] (= [A] \times [V])$ です。この電力には、時間パラメータが含まれていません。

ところが、電流-電圧特性に相当する磁束密度 B と磁界 H の特性、つまり後述の $B-H$ カーブが作る面積 BH は、単位体積当たりのエネルギーを表します。磁気エネルギー BH の単位は次のように表されます。

$$[T] \times [A/m] = [V \cdot s/m^2] \times [A/m] \\ = [W \cdot s/m^3] = [J/m^3]$$

この式からわかるように、 BH の単位は時間パラメータ s を含むため、 $B-H$ カーブは電流-電圧特性と異なり、変化に時間が必要です。

● 磁気量の単位

表10-1に示す単位はSI単位系ですが、文献によってはCGS単位系になっていることもあります。その場合は、SI単位に変換すると計算が簡単になります。

起磁力の単位は $[A]$ と書かずに、 $[AT]$ (アンペア・ターンと読む)と書く場合もありますが、コイルの巻き回数 T は無次元ですから、どちらも同じです。ここでは、 $[T]$ (テスラと読む)と混同しないように、 $[A]$ とします。

〈表10-1〉磁気学用語一覧

名称	記号	磁気量			対応する 電気量
		単位	単位の分解	概要 ⁽³⁾	
磁荷	M	Wb		磁極の強さ	電荷
磁束	Φ	Wb	Vs	いわば磁力線の束	電束
電流	I	A			電圧
磁位	U	A ⁽¹⁾		電位に対応した磁気的な量	電位
起磁力	F	A ⁽¹⁾		磁気回路で使用	起電力
磁界	H	A/m		電流が空間に与えるひずみ	電界
磁束密度	B	T	Wb/m ² = Vs/m ²	Φ の単位面積当たりの密度	電束密度
磁気抵抗 ⁽²⁾	R_m	1/H	A/Wb	磁気回路のオームの法則で使用。	抵抗
インダクタンス	L	H	Wb/A = Ωs	Φ と I の比例定数。 $\Phi = LI$	静電容量
透磁率	μ	H/m	Wb/Am = $\Omega s/m$	B と H の比例定数。 $B = \mu H$	誘電率

注▶ (1) AT(アンペア・ターン)と表す場合もある。(2) 電気抵抗と異なり、電力損失はない。(3) 詳細は稿末の文献(1)を参照のこと

