

電流と磁場

山本昌志*

2004年4月16日

1 本日の授業の内容

本日は、電流と磁場および力の関係について、講義する。内容は、以下の通りである。

- 電流について、軽く説明する。
- 電流によって生じる力について説明する。
- 磁場の定義について、説明する。
- 磁場を図に表す方法について、説明する。

2 電流と磁場

2.1 電流とは何か

電磁気学で表れる電流は、2種類ある。荷電粒子の移動から生じるものと、電場の変化から生じる。前者を伝導電流、後者を変位電流と言う。ここでは、伝導電流のみを取り扱うことにする。

電線に電池を接続すると、伝導電流が流れる。電池をつなぐことで、電線内に電場が生じ、自由電子が電場による力を受け移動するのである。この電子の移動が電流となる。金属中では電子であるが、水溶液中ではイオンの場合もある。荷電粒子であれば、種類は関係なく、それが移動すれば電流となる。

電流 I の大きさは、そこを通過する単位時間当たりの電荷量 Q である。式で表現すると、

$$I = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

となる。これで、電荷と電流の関係を示すものである。

- 金属中の電子の移動の速度は非常に遅い。大体の速度を求めよ。

* 国立秋田工業高等専門学校 生産システム工学専攻

2.2 アンペールの力

平行な 2 本の電線に同じ方向に電流を流すと、各々の電線が引き付けあう力、引力が働く (図 1)。反対方向に電流を流すと、斥力が働く。実験の結果、その力は、

$$\delta F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{R_{1,2}} \delta \ell \quad (2)$$

ということが分かった。ここで、 δF は長さ ℓ に働く力の大きさ、 μ_0 は真空の透磁率、 I_1 と I_2 は電流、 $R_{1,2}$ は電流の大きさである。いずれもスカラー量、ただし、電流については正負の符号で、同方向か反対方向かを表す。ベクトルを用いた詳細については、静磁場の授業で述べる。

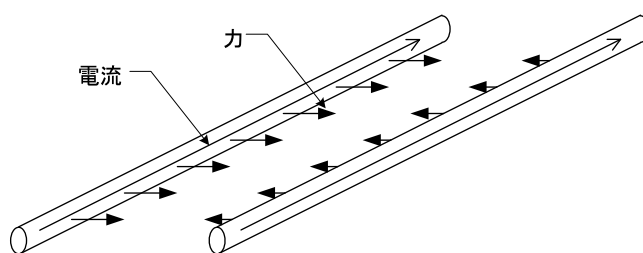


図 1: 電線間に働く引力

この力は、モーターを動かす力となって利用されている。電流を制御することにより、磁場の強さ制御し、モーターの力をコントロールするのである。

真空の透磁率 μ_0 は、

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (3)$$

と定義されている。力は別の方法で定義されている ($F = ma$)。したがって、式 (2) を用いると電流を定義できる。すなわち、1[m] 離れた平行の電線に 2×10^{-7} [N] の力が働くとき、そこに流れている電流を 1[A] と定義する。表 1 に mksA 単位系 (SI 単位系) の定義を示す。

電流が定義できたので、式 (1) を用いて、電荷の定義ができる。

2.3 磁場

電荷が作る場は、その部分に働く力から定義できた。単位電荷の受ける力の方向と大きさが電場である。同じような考え方で、電流が作る場、磁場というものを考えることができる。単純な例として無限に長い電線が作る磁場を考えよう。図 1 のように、平行に置かれた 2 本の電線を考える。一方の電線には、電流 I が流れており、それが R 離れた位置に作る磁場を求める。 R 離れた位置に試験電流 I' を置いたとき、それに、単位長さあたり F という力が加わったとする。そのときの磁場 B の大きさとの関係は、

$$F = I'B \quad (4)$$

となる。これから、磁場 B の大きさが分かる。これが、磁場の定義である。実際、磁場を求めるためには、電流を置いて、それが受ける力を測定するしかないのである。

表 1: SI 基本単位系 (物理学辞典より)

物理量	単位の名称	単位記号	定義
長さ	メートル	m	光が (1/299792458) 秒間に真空中を伝わる距離。
質量	キログラム	kg	国際キログラム原器の質量。これは 1 気圧、最大密度の温度にある水 1 リットルの質量にほぼ等しい。
時間	秒	s	^{138}Cs の原子の基底状態の 2 つの超微細準位間の遷移に対応する放射の 9192631770 周期の持続時間。
電流	アンペア	A	真空中 1[m] 間隔で平行に置かれた無限に小さい円断面積を有する無限に長い 2 本の直線導体上のそれぞれを流れ、これらの導体の 1[m] ごとに $2 \times 10^{-7}[\text{N}]$ の力を及ぼしあう一定の電流。
熱力学温度	ケルビン	K	水の三重点の熱力学温度の 1/273.16
物質質量	モル	mol	0.012[kg] の ^{12}C の中に存在する原子の数と同数の要素体を含む系の物質質量
光度	カンデラ	cd	周波数が $540 \times 10^{12}\text{Hz}$ の単色放射を放出し、かつ、ある方向での放射強度が (1/683)[W/sr] であるような光源の、その方向での強度。

本当は、力 F と磁場 B 、電流 I はベクトルであるが、ここではスカラーで書いている。左辺はベクトル、右辺にベクトルが掛け算で出てきているので、ベクトル積が関係することは想像できる。これについては、後の授業で詳細に行うので、ここでは気にしないで欲しい。

磁場 B のことを、磁束密度という。式 (4) から、磁束密度の単位は $[\text{N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}]$ となる。MKSA 単位系で書くと、 $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}]$ となる。通常はこれらに代わって、 $[\text{Wb}/\text{m}^2]$ や $[\text{T}]$ という単位が使われる。 Wb はウェーバと T はテスラと読む。

- 磁場の単位が、mksA 単位で $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}]$ となることを示せ。

この磁場の定義式 (4) と式 (2) から、長い電線が作る磁場は、

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (5)$$

となる。磁場の方向は、図 2 の磁束線の接線方向である。なぜ、そのような方向を向くかは、後の講義で示す。

2.4 磁場を図に表す方法

この磁場を表す方法は、電場を表す方法と同様の方法がある。それぞれの方法を、図 3 と 4 に示す。これは、直径 6[cm] の無限に長い銅線に電流を 1[A] 流し、一辺 200[cm] の鉄でその銅線を囲ったときの磁場の様子である。

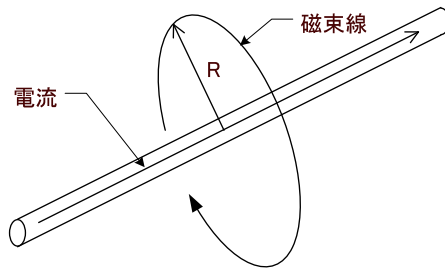


図 2: 磁場

図 3 は、その点での磁場のベクトルが矢印で示している。4 の方は、磁束線を表し、磁束線の接線が磁場のベクトルの方向である。そして、磁束線の密度が磁場の強さを表す。

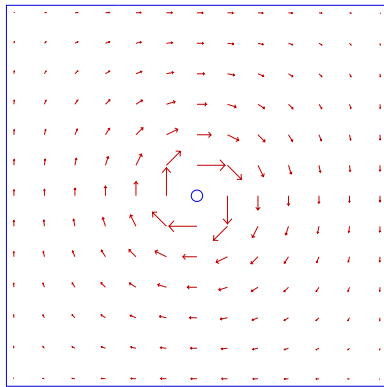


図 3: ベクトルの矢印を使った表現

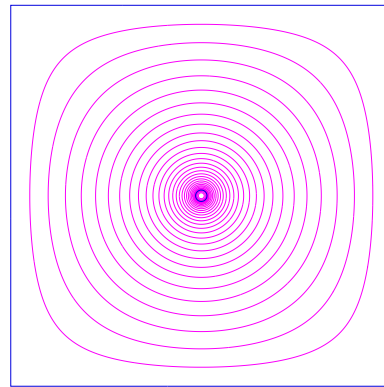


図 4: 磁束線を使った表現