

第19章 電磁力の測定

Measurement of Electromagnetic Force

19.1 目的

磁界中での電流の流れているコイルの受ける力とその方向を測定し、電磁力の概念を習得する。

19.2 理論

磁界中を運動する電荷には力が働く。電流は電荷の移動なので、磁界中を流れる電流には力が働くことになる。

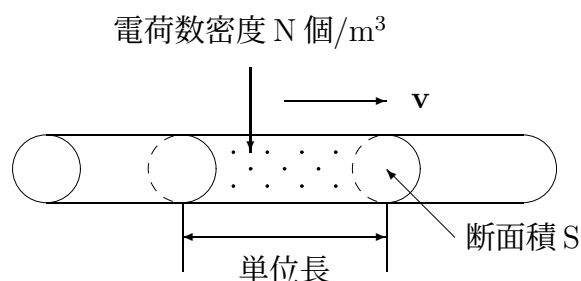


図 19.1: 電荷の移動

図 19.1 のように、断面積 $S(\text{m}^2)$ の導線に電荷量 $q(\text{C})$ を持った電荷が導線の単位体積あたり $N(\text{個}/\text{m}^3)$ 存在し、これが速度 $v(\text{m}/\text{s})$ で動いているとすると、電流 I は

$$I = qNSv \quad (\text{A}) \quad (19.1)$$

で与えられる。

方向を考えて電流 I をベクトルで表わせば

$$\mathbf{I} = qNS\mathbf{v} \quad (\text{A}) \quad (19.2)$$

一方、磁束密度を $\mathbf{B}(\text{T})$ とすると、電荷 1 個あたりに対して

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (\text{N}) \quad (19.3)$$

のローレンツ力が働くから、単位長にある電荷 $NS(\text{個}/\text{m})$ に対する力、すなわち単位長あたりの導線に働く力 $\mathbf{F}$ は

$$\mathbf{F} = qN S \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (\text{N/m}) \quad (19.4)$$

式(19.2)により

$$\mathbf{F} = \mathbf{I} \times \mathbf{B} \quad (19.5)$$

コイルの導線の本数 n 、コイルの導線の長さ $\ell(\text{m})$ とすれば、このときの力 $\mathbf{F}_n$ は

$$\mathbf{F}_n = n\ell \mathbf{F} \quad (\text{N}) \quad (19.6)$$

電流 $\mathbf{I}$ と磁束密度 $\mathbf{B}$ のなす角 θ とすると力の大きさは、

$$F_n = n\ell \mathbf{I} \mathbf{B} \sin \theta \quad (19.7)$$

となる (図 19.2 参照)。

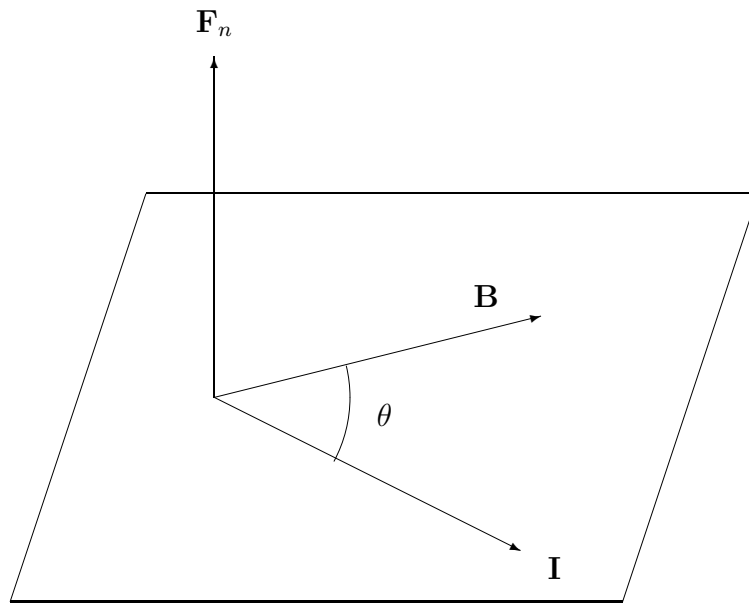


図 19.2: 磁界中の電流に働く力のベクトル図

19.3 方法

19.3.1 電磁力の測定

第 19.3 図のように接続し、以下のような手順で測定する。

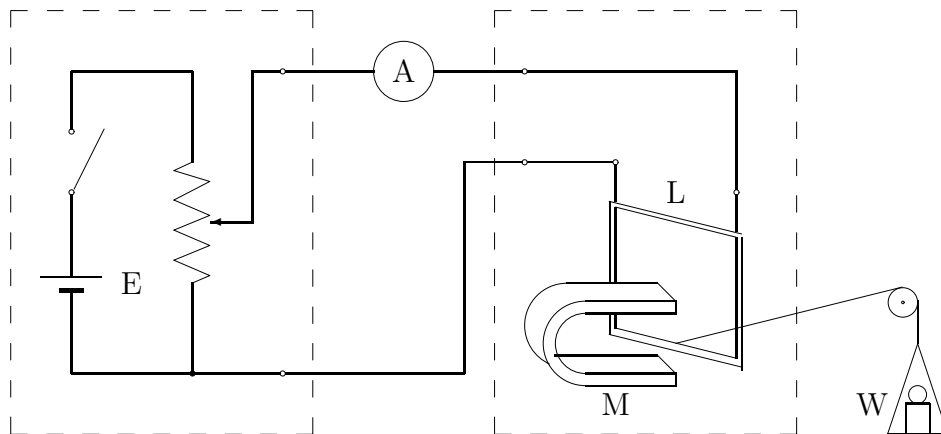


図 19.3: 電磁力を測定する結線図

A : 直流電流計
L : コイル

M : U 字型永久磁石
W : 重り

E : 直流電源

19.3.1.1 コイル導線の長さの測定

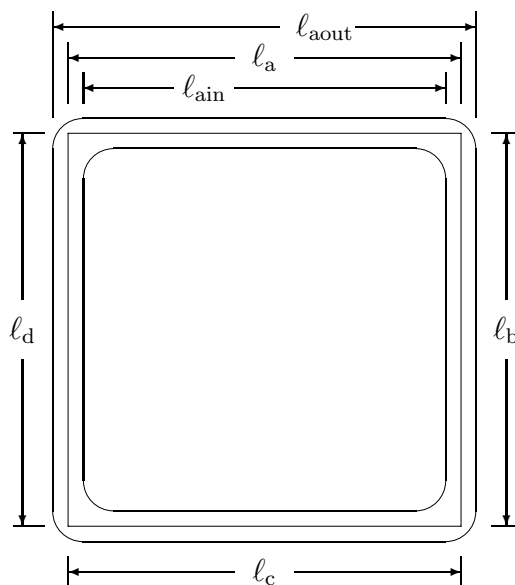


図 19.4: コイル導線の長さの測定

- コイルの導線の長さの測定は、コイルを回路 (図 19.3 電磁力を測定する結線図) から外した状態で行っても良い。
- 式 19.7 でコイルの導線の長さ $\ell(\text{m})$ は、測定に用いたコイルが幅を持っているので各 4 辺の外側の長さとし、その中間の長さを用いる (図 19.4 参照)。

19.3.1.2 磁束密度の測定

- 式 19.7 の磁束密度 B は、U 字型永久磁石を用いているため一様ではなく空間で分布を持つ。図 19.5 のように、各辺で 5 点測定して各辺の平均値を使用する。
- 磁束密度の測定では、 $F = I \times B$ の関係から、 B の方向を考えて行うこと。

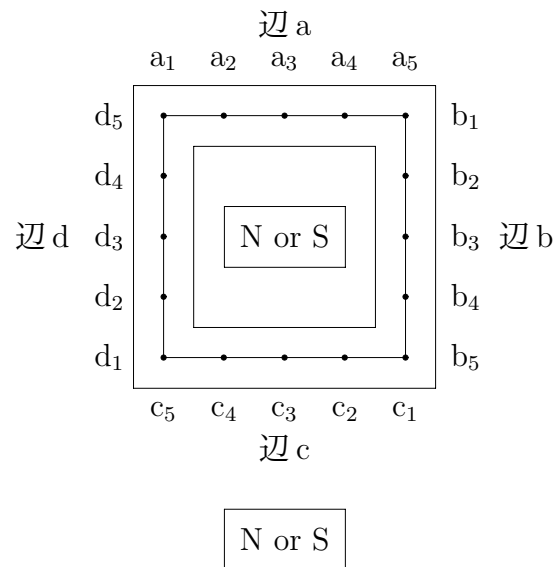


図 19.5: 磁束密度の測定

19.3.1.3 力の測定

1. 50 巻コイルの下辺 (磁極の間に入っている部分) の中央に糸の一端を結びつけ、他端に天秤皿を結びつける。
2. 直流電源 E を調整して、天秤の重さ (約 10g) から、重りを増やして 40g 程度までの範囲で、重り W と電流 I の関係について調べる。コイルの面が常に鉛直面にあるように重りを調整する。
3. 50、100 回巻のコイルについても同様に行なう。

19.3.2 起電力の測定

1. 天秤皿と直流電源をはずし、コイルに検流計を接続する。
2. コイルで磁界を切るように動かし、動かす方向および速さと検流計の振れの方法および大きさととの関係を観察し、結果を図示する。

19.4 結果

19.4.1 コイル導線の長さの測定結果

コイルの巻数 n (回) :

辺	外側辺長 $\ell_{\text{out}}(\text{m})$	内側辺長 $\ell_{\text{in}}(\text{m})$	辺の長さ $\ell(\text{m})$
a			
b			
c			
d			

19.4.2 磁束密度の測定結果

コイルの巻数 n (回) :

辺	測定点	磁束密度 $B_n(\text{T})$	磁束密度 平均値 $B(\text{T})$
a	a_1		
	a_2		
	a_3		
	a_4		
	a_5		

辺 a、辺 b、辺 c および辺 d(図 19.5 参照) の磁束密度を測定する。

19.4.3 力の測定結果

電磁力の計算式 :

コイルの巻数 n (回) :

電 流 $I(\text{A})$	重 さ (g)	力 F_n		
		計算値 (N)	実測値 (N)	誤 差 (%)

- 力の計算値は、4 辺それぞれに働く力を式 19.7 から計算し、加算して求める。
- 力 F_n の計算値 (N) と力 F_n の実測値 (N) の差から計算値に対する誤差 (%) を求める。
- 電流 $I(\text{A})$ を横軸にし、力 $F_n(\text{N})$ を縦軸にして、計算値:巻数 $n_1=\text{aaa}(\text{回})$ 、実測値:巻数 $n_1=\text{aaa}(\text{回})$ 、計算値:巻数 $n_2=\text{bbb}(\text{回})$ 、実測値:巻数 $n_2=\text{bbb}(\text{回})$ 、計算値:巻数 $n_3=\text{ccc}(\text{回})$ 、実測値:巻数 $n_3=\text{ccc}(\text{回})$ の力 F の変化をグラフで示す。

- この時、コイルの巻き数の違い、計算した力、実測した力、力 F_n の誤差 (%) の関係が明確になるグラフを作成する。

19.4.4 起電力の測定結果

- 起電力の大きさについては、実験条件との関連を文章でまとめる。
- 起電力の方向については、状況を図示する。

19.5 注意

1. 実測値は、重量 (kg) に、重力加速度 9.81m/s^2 を乗じて力 (N) にする。

19.6 問題

1. 磁界中を導線が運動するとき、導線に発生する起電力の大きさと方向について調べよ。
2. 導線が固定されていて、磁界が変化するとき、導線に発生する起電力の大きさと方向について調べよ。

19.7 実験装置・規格

19.7.1 直流電源の使い方

図 19.3 での直流電源 E の使い方は、30 ページ 2.6.1.2-B の「直流電源の使い方」を参照する。