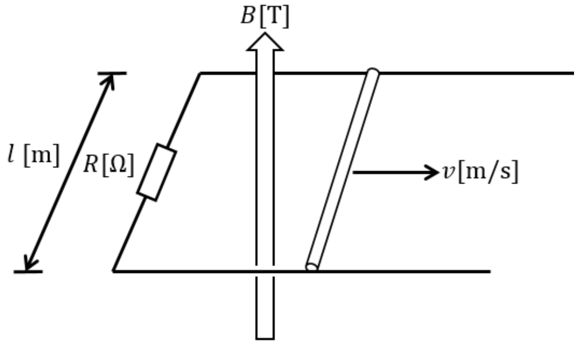
電験３種 奮闘講座　理論② 磁気

監修：電験予備校 東京電気学院（不許複製）

【問題】

図のように、一様な磁束密度$B = 0.02[\mathrm{T}]$の磁界中に抵抗$R = 2[\Omega]$が繋がれた金属レールと、長さ$l = 0.5[\mathrm{m}]$の導体棒PQがある。導体棒PQが速度$v = 0.5[\mathrm{m/s}]$で図の方向に移動したとき、抵抗Rに流れる電流$I[\mathrm{mA}]$はいくつか。また、電流の流れる方向を図示せよ。

ただし、導体棒PQと金属レールの抵抗は無視できるものとする。



【解答】

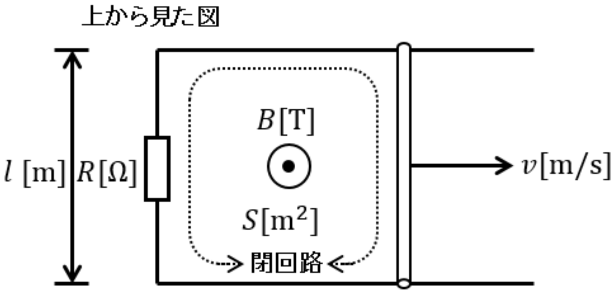


図1

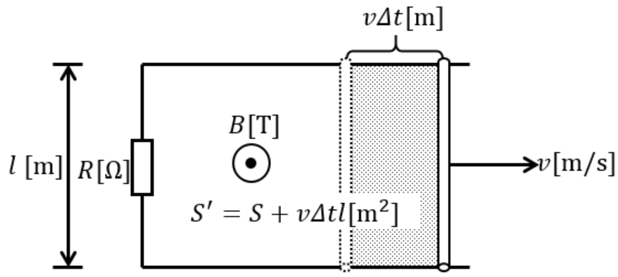


図2

図1のように、導体棒PQと金属レール、抵抗による閉回路の面積を$S[\mathrm{m}^2]$とすると、閉回路内を貫く磁束$\Phi[\mathrm{Wb}]$は磁束密度$B[\mathrm{T}]$との関係より、次式で示すことができる。

$$\Phi = BS[\mathrm{Wb}]$$

次に、導体棒PQが時間$\Delta t[\mathrm{s}]$の間、速度$v[\mathrm{m/s}]$で移動したとする。閉回路内の面積増加分$\Delta S[\mathrm{m}^2]$は

$$\Delta S = v\Delta tl[\mathrm{m}^2]$$

となり、貫く磁束は$\Delta\Phi = B\Delta S[\mathrm{Wb}]$増加する。（図2）

ファラデーの電磁誘導の法則「誘導起電力は巻数と磁束の時間変化率の積に比例する」より、発生する誘導起電力$e[\mathrm{V}]$は次式で示すことができる。

$$e = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = N\frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = NB\frac{\Delta S}{\Delta t}[\mathrm{V}]$$

（大きさのみを考えるため、負符号は省略している。）

また、閉回路は巻数$N = 1$のコイルと考えることができる。

各諸量を代入すると誘導起電力$e[\mathrm{V}]$の大きさは、

$$e = 1 \times B\frac{v\Delta tl}{\Delta t} = vBl[\mathrm{V}] \quad \cdots①$$

$$= 0.5 \times 0.02 \times 0.5 = 0.005[\mathrm{V}] = 5[\mathrm{mV}]$$

①式は導体の運動による誘導起電力である。

方向は、**レンツの法則「誘導起電力は磁束の変化を妨げる方向に発生する」**より、図3

のように示すことができる。電流I[A]は誘導起電力e[V]と同じ方向に流れる。

したがって、電流I[mA]の大きさは、

$$I=\frac{e}{R}=\frac{5}{2}=2.5[\mathrm{mA}]$$（答）

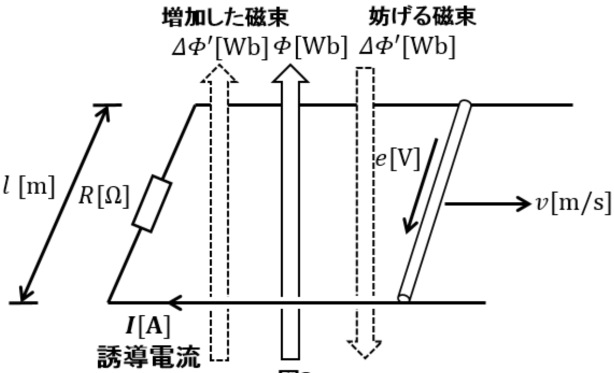


図3

＜ポイント＞

・ この問題は、

　大きさ： $e=vBl$[V]

　方向：フレミングの右手の法則

を知っていれば解ける問題であるが、ファラデーの電磁誘導の法則とレンツの法則が原点である。

・ 誘導起電力eの大きさを求めるとき、速度vは磁束密度Bに垂直な成分のみを考える。

＜発展＞

フレミングの左手と右手の法則の関係

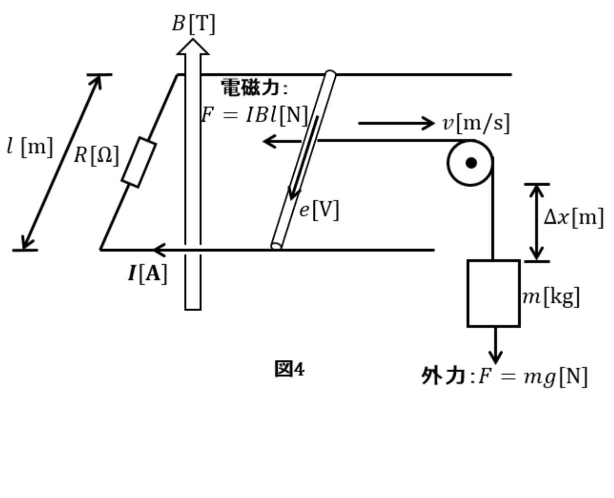


図4

図4に示されるように、導体棒が質量m[kg]の重りにより速度v[m/s]で距離Δx[m]移動した。このときの仕事W[J]は、

$$W=mg\Delta x=F\Delta x[\mathrm{J}]$$

当然、重りには重力加速度g[m/s^2]より$F=mg$[N]の力が加わっている。

時間Δt[s]の間にこの仕事が成されたとすると、このときの仕事率P[W]は、

$$P=\frac{\Delta W}{\Delta t}=\frac{F\Delta x}{\Delta t}=Fv[\mathrm{W}]\ (\because v=\frac{\Delta x}{\Delta t}[\mathrm{m/s}])$$

この仕事で導体棒に生じた誘導起電力e[V]と誘導電流I[A]より、抵抗$R[\Omega]$で消費している電力P'[W]は、

$$P'=eI=vBlI[\mathrm{W}]\ (\because e=vBl[\mathrm{V}])$$

エネルギーの保存性から考えて、$P=P'$であり、導体棒に発生している力F[N]は、

$$P=P'$$

$$Fv=vBlI$$

$$\therefore F=IBl[\mathrm{N}]$$

となる。つまりフレミングの左手の法則で示される電磁力にほかならない。

この力は、運動方向と逆向きに働き、外力とつり合う。

フレミングの左手の法則と右手の法則は、相互にバランスして作用している。

これは、電動機（左手の法則）と発電機（右手の法則）が本質的に同じものであることを示している。