電磁気学 B 試験問題 — 図, 文, 式を使って説明し, 答えを求めよ — 2021 年 1 月 22 日

解答用紙に「学籍番号」「 氏名」「座席番号」を記入する

1　発電機のエネルギー収支

図 1 のように, 一辺の長さ a で 1 回巻の正方形回路を, 磁束密度 $\boldsymbol{B}$ の一様な静磁場中におき, 磁場に垂直な軸のまわりに一定の角周波数（回転の角速度）ω で回転させた.

問 1-1. 回路の法線ベクトル $\boldsymbol{n}$ と磁場のなす角を θ とするとき, $\boldsymbol{n}$ の向きに回路を貫く磁束 Φ を求めよ.

問 1-2. 磁束 Φ の時間変化より, コイルに発生する誘導起電力 ϕ_{em} の時間変化を求めよ. ただし, $\theta = \omega t$, ABCD の向きに電流を流すような誘導起電力を正とする.

問 1-3. 回路に十分に大きな抵抗 R の電気抵抗をつないだとき流れる電流 I を求め, 抵抗 R で消費する単位時間あたりのエネルギー（ジュール熱）W の時間変化を求めよ.

問 1-4. 静磁場中で電流が流れているので, 回路には偶力がはたらく. 偶力のモーメント（$\boldsymbol{N} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$）の大きさを求め, 偶力のモーメントの向きを図示せよ.（$\Delta\boldsymbol{F} = \boldsymbol{I} \times \boldsymbol{B}\ \Delta s$）

問 1-5. 回路を一定の角周波数 ω で回転させるため, 偶力に逆らって回路にする単位時間あたりの仕事を求めよ.

問 1-6. 問 1-3 と問 1-5 の結果を比較し, 発電機のエネルギー収支について述べよ.

問 1-7. 角周波数 ω 一定のまま抵抗 R を変化させた. 電流と抵抗のグラフを描きながら, 抵抗 R が十分に大きくないとき生じる現象を述べよ.

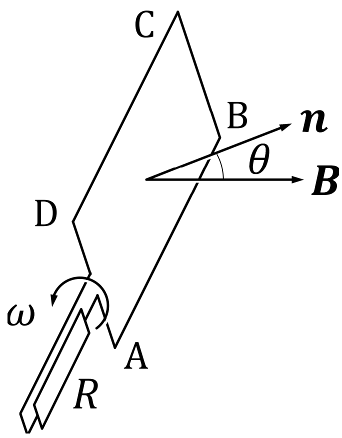

図 1　静磁場中で回転する正方形回路

2　ポインティングベクトル

図 2 のように, 一様な電場 $\boldsymbol{E}$ 中に電場と平行に円柱状の導線をおいたところ, 導線に定常電流が流れた. 以下では, （伝導）電子の質量を m, 電子の電気量を $-e$, 単位体積あたりの電子の数を n とせよ.

問 2-1. 導体中の電子が同じ速度 $\boldsymbol{v}$ で運動しているとして, 図を使って説明しながら, 電流密度 $\boldsymbol{i}$ を求めよ.

問 2-2. 導線中の電子の運動が方程式 $m\dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -e\boldsymbol{E} - \dfrac{m}{\tau}\boldsymbol{v}$ にしたがうとき, 電流密度と電場の関係を求めよ.

問 2-3. エネルギーが保存するという観点から, 電場中の電子の速度が一定である現象を説明せよ.

問 2-4. 電流 I（$I = A|\boldsymbol{i}|$, A は導線の断面積）により導線の外部に発生する磁束密度 $\boldsymbol{B}$ を, アンペールの法則を使って求めよ.

問 2-5. 導線外部におけるポインティングベクトル $\boldsymbol{S}$（$= \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{H}$）を求めよ.

問 2-6. ポインティングベクトルの物理的意味を述べよ.

問 2-7. 電磁場のエネルギー, ポインティングベクトル, ジュール熱, エネルギー保存をキーワードとして, 上の現象を説明せよ.

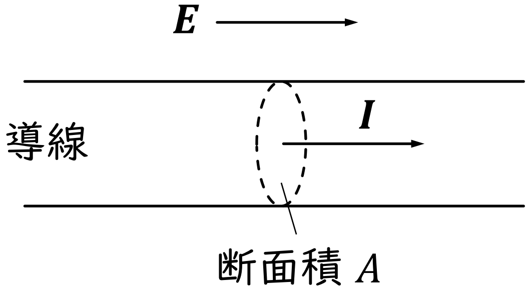

図 2　一様な静電場中の導線に流れる電流