

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム 入学試験

解答用紙

【電子工学分野】

2026.8.27

I	電磁気学
---	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

解答例

一義的な解答が示せない記述式の問題については，解答の過程を省略している．

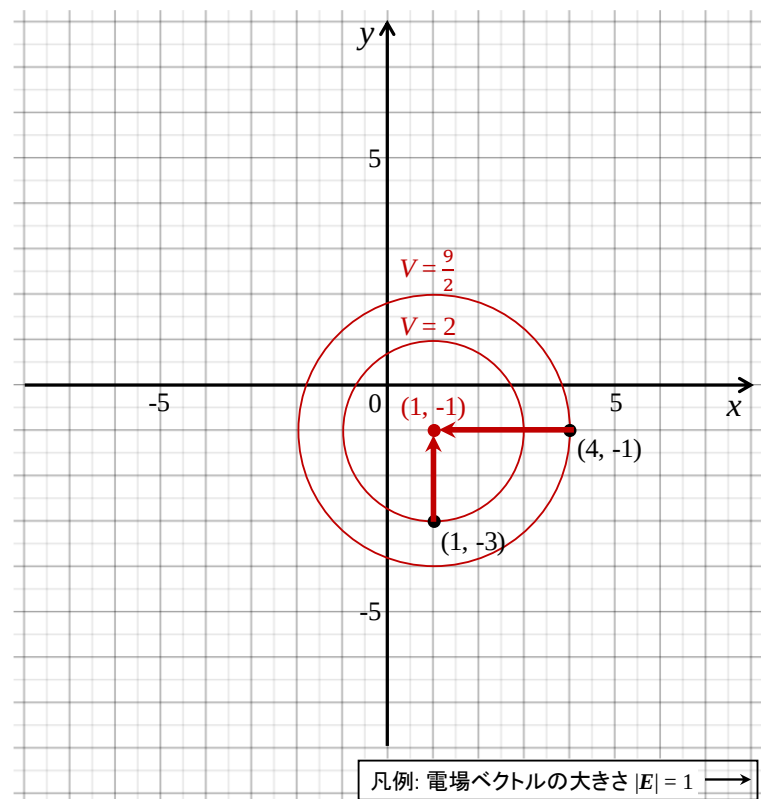
問 1 の意図：ガウスの法則に基づき，同心導体球殻の接地前後における電場・電位・静電エネルギーの理解を問う．

- (1) $E_1(r) = 0 \ (r < a)$
- (2) $E_2(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \ (a < r < 3a)$
- (3) $E_3(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \ (r > 3a)$
- (4) $\phi_{open}(a) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a}$
- (5) $U_{open} = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 a}$
- (6) $E_6(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \ (a < r < 3a)$
- (7) $\phi_{close}(a) = \frac{Q}{6\pi\epsilon_0 a}$
- (8) $U_{close} = \frac{Q^2}{12\pi\epsilon_0 a}$

（説明例）エネルギー減少はスイッチ S を閉じたときに，接地線から導体球殻 B へ負電荷 $-Q$ が移動する過程で生じる．その際に電流が一時的に流れるため，抵抗 R においてジュール熱として失われる．

問 2 の意図：ベクトル解析を用いて，電位分布から等電位線・電場・発散を導く能力を問う．

- (1) $V(1, -1) = 0$
- (2) 右図参照
- (3) $\nabla V(x, y) = (x - 1, y + 1)$
- (4) $\mathbf{E}(x, y) = (-x + 1, -y - 1)$
- (5) 右図参照
- (6) $\nabla \cdot \mathbf{E} = -2$



広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム 入学試験解答用紙 【電子工学分野】

2026.8.27

II	回路工学
----	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

解答例

一義的な解答が示せない記述式の問題については、解答の過程を省略している。

問 1 の意図：回路における過渡現象を理解し、微分方程式の解を導出する能力を問う。

(1) $V = L \frac{d^2}{dt^2} q(t) + R \frac{d}{dt} q(t) + \frac{q(t)}{C}.$

(2) $q_S(t) = CV.$

(3) 過渡解を $q_T(t) = Ae^{pt}$ と仮定する ($A \neq 0, p \neq 0$ は未定係数). 過渡解には直流電源は関与しないので左辺はゼロ、仮定した過渡解を代入する

$$0 = Ae^{pt} \left(Lp^2 + Rp + \frac{1}{C} \right)$$

$A \neq 0$ より特性方程式 $Lp^2 + Rp + \frac{1}{C} = 0$ であり $p = -\frac{R \pm \sqrt{R^2 - 4L/C}}{2L}$. 条件 $R^2 < \frac{4L}{C}$ より根号の中身が負であるため複素数として表現する.

$$p_1 = -\frac{R + \sqrt{-\left(\frac{4L}{C} - R^2\right)}}{2L} = -\alpha + j\beta, \quad p_2 = -\frac{R - \sqrt{-\left(\frac{4L}{C} - R^2\right)}}{2L} = -\alpha - j\beta, \quad \text{ただし } \alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \frac{\sqrt{\left(\frac{4L}{C} - R^2\right)}}{2L}.$$

過渡解は未定係数 A_1, A_2 を用いて次のように表す.

$$q_T(t) = A_1 e^{(-\alpha + j\beta)t} + A_2 e^{(-\alpha - j\beta)t}.$$

(4) 一般解は過渡解と定常解の和であり、電荷、電流それぞれ

$$q(t) = CV + A_1 e^{(-\alpha + j\beta)t} + A_2 e^{(-\alpha - j\beta)t}, \quad i(t) = A_1 (-\alpha + j\beta) e^{(-\alpha + j\beta)t} + A_2 (-\alpha - j\beta) e^{(-\alpha - j\beta)t}.$$

これが初期条件 $i(0) = 0, q(0) = 0$ を満たすので

$$q(0) = 0 = CV + A_1 + A_2, \quad i(0) = A_1 (-\alpha + j\beta) + A_2 (-\alpha - j\beta),$$

より $A_1 = \frac{CV(-\alpha - j\beta)}{2j\beta}, \quad A_2 = \frac{CV(\alpha - j\beta)}{2j\beta}$.よって

$$\begin{aligned} q(t) &= CV \left[1 + \frac{(-\alpha - j\beta)}{2j\beta} e^{(-\alpha + j\beta)t} + \frac{(\alpha - j\beta)}{2j\beta} e^{(-\alpha - j\beta)t} \right] \\ &= CV \left[1 - e^{-\alpha t} \left(\frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{e^{\beta t} - e^{-\beta t}}{2j\beta} + \frac{e^{\beta t} + e^{-\beta t}}{2\beta} \right) \right] \\ &= CV \left[1 - e^{-\alpha t} \left(\frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin \beta t + \cos \beta t \right) \right] \end{aligned}$$

$q(t)$ は式の表し方は複数あるが数学的には全て同一.

問 2 の意図：交流回路における定常状態を理解し、その周波数依存性を説明する能力を問う。

(1) $Z = R_1 + \frac{j\omega LR_2}{R_2 + j\omega L}$

$$(2) T(j\omega) = \frac{I}{V} = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R_1 + \frac{j\omega LR_2}{R_2 + j\omega L}} = \frac{R_2 \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R_2}\right)^2} \cdot e^{j\phi_A}}{R_1 R_2 \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}\right)^2} \cdot e^{j\phi_B}} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R_2}\right)^2} \cdot e^{j(\phi_A - \phi_B)}}{R_1 \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}\right)^2}}$$

よって $A = \frac{\omega L}{R_2}, \quad B = \frac{\omega L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}.$

$$(3) (i) \quad \omega \approx 0 \quad \text{の時,} \quad |T(j\omega)| \approx \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{0L}{R_2}\right)^2}}{R_1 \sqrt{1 + \left(\frac{0L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}\right)^2}} = \frac{1}{R_1}$$

$$(ii) \ \omega \approx \infty \text{ の時 } |T(j\omega)| \approx \frac{\sqrt{\frac{1}{\omega^2} + \left(\frac{L}{R_2}\right)^2}}{R_1 \sqrt{\frac{1}{\omega^2} + \left(\frac{L(R_1+R_2)}{R_1 R_2}\right)^2}} = \frac{1}{R_1+R_2},$$

(4) 抵抗のインピーダンスは R_1 , R_2 であり周波数(角速度)に依存しない．インダクタのインピーダンスは $j\omega L$ であり ω が十分小さいとき 0 (短絡)と見なせ，逆に ω が十分大きいとき無限大(解放)と見なす事ができる．回路のアドミタンスの大きさは， (i) ではインダタクタを短絡とみなし R_2 には電流が流れないため $1/R_1$ に， (ii)ではインダタクタを解放とみなし R_1 , R_2 の直列回路と見なせるので $1/(R_1 + R_2)$ になる．

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム 入学試験

解答用紙

【電子工学分野】

2026.8.27

Ⅲ	半導体工学
---	-------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

解答例

一義的な解答が示せない記述式の問題については，解答の過程を省略している．

1．出題の意図：半導体のエネルギーバンド図に関する理解を問う

（1）図(A)：Ge、図(B)：Si、図(C)：GaAs

（2） $\Gamma = \frac{2\pi}{a}(0,0,0)$ 、 $X = \frac{2\pi}{a}(1,0,0)$ 、 $L = \frac{2\pi}{a}\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$

（3）(b)のバンド 有効質量はバンドの曲率 $\frac{d^2E}{dk^2}$ に反比例するため、曲率の大きな(b)のバンドの方が有効質量が小さい

（4）図(C)の半導体 直接遷移型の半導体であるため

2．出題の意図：半導体におけるキャリアの注入現象に関する理解を問う

（1）A： p_n 、B： p_{n0} 、C： τ_p

（2）

$$p_n = \tau_p G_p + p_{n0}$$

（3）

$$p_n(t) = p_{n0} + \tau_p G_p e^{-t/\tau_p}$$

広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）
量子物質科学プログラム 入学試験 **解答用紙** **【電子工学分野】**

2026.8.27

IV	量子力学
----	------

受験番号	M								
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

解答例

一義的な解答が示せない記述式の問題については、解答の過程を省略している。

問1の意図：確率の流れの理解度を問う。

(1) 確率密度の時間微分は

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \psi^* \frac{\partial \psi}{\partial t} + \psi \frac{\partial \psi^*}{\partial t}$$

であり、これに時間に依存するシュレーディンガー方程式とその複素共役

$$-i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi^*(x, t) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right] \psi^*(x, t)$$

を代入することにより、

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\frac{1}{i\hbar} \left[\psi^* \left\{ \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - V \right\} \psi - \psi \left\{ \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - V \right\} \psi^* \right] \\ &= -\frac{\hbar}{2mi} \left[\psi^* \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi - \psi \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi^* \right] \\ &= -\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\hbar}{2mi} \left\{ \psi^* \frac{\partial}{\partial x} \psi - \psi \frac{\partial}{\partial x} \psi^* \right\} \right] = -\frac{\partial J}{\partial x} \end{aligned}$$

(2)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_a^b \rho dx &= \int_a^b \frac{\partial \rho}{\partial t} dx = - \int_a^b \frac{\partial J}{\partial x} dx \\ &= J(a) - J(b) \end{aligned}$$

となるが、これは区間 $[a, b]$ に粒子が存在する確率の変化が、 $x = a$ から流れ込む量 $J(a)$ と $x = b$ から流れ出る量 $J(b)$ の差で表されることを意味しているため、 J は確率の流れであると言える。

問2の意図：一次元散乱問題に対する理解度を問う。

$$(1) \quad k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}, \quad k' = \frac{\sqrt{2m(E-U)}}{\hbar}$$

$$(2) \quad A = \frac{k-k'}{k+k'}, \quad B = \frac{2k}{k+k'}$$

$$(3) \quad R = \left(\frac{k-k'}{k+k'} \right)^2, \quad T = \frac{4kk'}{(k+k')^2}$$

$$(4) \quad J(x < 0) = \frac{\hbar k}{m} T, \quad J(x > 0) = \frac{\hbar k}{m} T, \quad J(x < 0) = J(x > 0)$$

(5) 透過率は透過波が運ぶ確率の流れと入射波が運ぶ確率の流れの比であり、確率の流れは粒子の速度に比例する。本問題では、 $x < 0$ と $x > 0$ でポテンシャルの値が異なるため、入射する粒子の速度と透過する粒子の速度に差が生じ、その比が存在確率の比 $|B|^2$ に掛かったものが透過確率になるから。