令和３年度

第１種

理　　　論

（第１時限目）

第　１　種

理　　　　　論

答案用紙記入上の注意事項等

１．マークシート（答案用紙）は機械で読み取りますので，**濃度ＨＢの鉛筆又はＨＢの芯を用いたシャープペンシルで濃く塗りつぶして**ください。

色鉛筆やボールペンでは機械で読み取ることができません。

なお，訂正は「プラスチック消しゴム」で**きれいに消し**，消しくずを残さないでください。

２．マークシートには，カナ氏名，受験番号，試験地が印字されています。受験票と照合の上，**氏名，生年月日を記入**してください。

氏　名	
生年月日	
カナ氏名 （字数制限の省略あり）	印字あり
試験地	印字あり

マークシートに印字してある
・カナ氏名
・受験番号
・試験地
を受験票と照合の上，記入してください。

受	験	番	号
印	字	あ	り

３．マークシートの余白及び裏面には，何も記入しないでください。

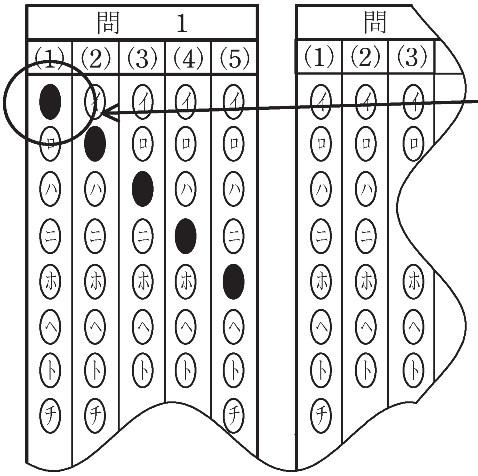
４．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

5．解答は，マークシートの問番号に対応した解答欄にマークしてください。

例えば，問１の $\boxed{(1)}$ と表示のある問に対して(イ)と解答する場合は，下の例のように問１の(1)の ㋑ をマークします。

なお，マークは各小問につき一つだけです。二つ以上マークした場合には，採点されません。

（マークシートへの解答記入例）



正解と思われるものの記号の枠内を，マークシートに印刷されているマーク記入例に従い，濃く塗りつぶす方法で示してください。

6．問６と問７は選択問題です。**どちらか１問を選択**してください。選択問題は両方解答すると採点されません。

7．問題文で単位を付す場合は，次のとおり表記します。

① 数字と組み合わせる場合

（例： 350 W　　f = 50 Hz　　670 kV·A）

② 数字以外と組み合わせる場合

（例： I[A]　抵抗 R[Ω]　面積は S[m^2]）

（この問題は持ち帰ってください。また，白紙部分はメモ用紙として使用できます。）

次ページ以降は試験問題になっていますので，試験開始の合図があるまで，開いてはいけません。 **試験問題に関する質問にはお答えできません。**

第 1 種

理　　　論

A 問題（配点は 1 問題当たり小問各 2 点，計 10 点）

問 1　次の文章は，誘電体の近くに存在する電荷に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図 1 のように，平面 β から上方に距離 a 離れた真空中に点電荷 Q を置く。β より上側は誘電率 ε_0 の真空であり，下側は誘電率 $2\varepsilon_0$ の誘電体で完全に満たされている。このとき，空間中の電界を求めるために，影像電荷の考え方を用いる。

β より上側の電界は，図 2 のように，誘電体を取り除き，β に対して電荷 Q と対称な位置に電荷 Q' を置くことで求める。β より下側の電界は，図 3 のように，全空間を誘電体で満たし，電荷 Q の位置の電荷を Q'' とすることで求める。

Q' 及び Q'' は，β 上の任意の点において，β に平行な電界の成分が同じであることと，β に $\boxed{(1)}$ な電束密度の成分が同じであることにより求められる。ただし，ここでは簡単のため，電荷 Q より β に下ろした垂線の足 H から距離 a 離れた点 P を考える。

図 2 で，電荷 Q と Q' が点 P に作る電界 $\boldsymbol{E}_0$ において，β に平行な成分 $E_{0\mathrm{h}}$ と垂直な成分 $E_{0\mathrm{v}}$ はそれぞれ

$$E_{0\mathrm{h}} = \frac{Q + Q'}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 a^2},\quad E_{0\mathrm{v}} = \boxed{(2)}$$

である。ただし，$E_{0\mathrm{h}}$ と $E_{0\mathrm{v}}$ は，それぞれ点 H から点 P へ向かう方向と誘電体に進入する方向を正とする。また，図 3 で，電荷 Q'' が点 P に作る電界 $\boldsymbol{E}$ において，β に平行な成分 E_h と垂直な成分 E_v はそれぞれ

$$E_\mathrm{h} = E_\mathrm{v} = \frac{Q''}{4\pi \cdot 2\varepsilon_0 \cdot 2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{Q''}{16\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 a^2}$$

である。ただし，E_h と E_v の向きの定義は，$E_{0\mathrm{h}}$ と $E_{0\mathrm{v}}$ と同様である。

ここで，β に平行な電界の成分が同じであることにより $E_{0\mathrm{h}} = E_\mathrm{h}$ が成り立ち，β に $\boxed{(1)}$ な電束密度の成分が同じであることにより，$\boxed{(3)}$ が成り立つ。これらから導かれる方程式を解くことで，置くべき影像電荷 Q' と Q'' をそれぞれ $\boxed{(4)}$，$\boxed{(5)}$ と定められる。

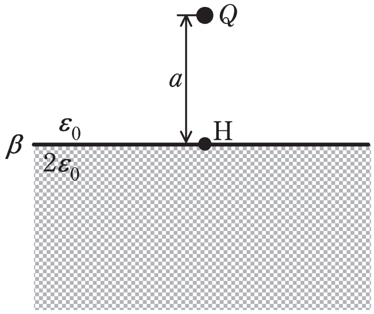


図 1

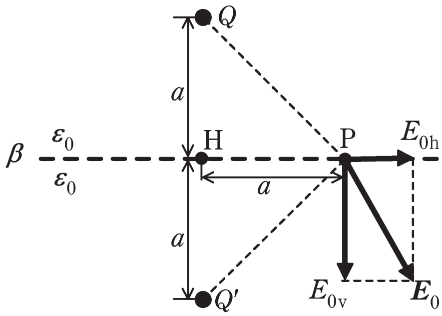


図 2

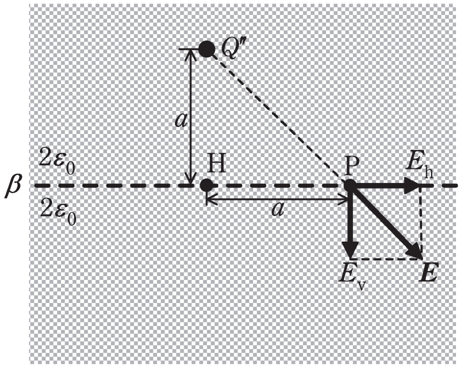


図 3

〔問 1 の解答群〕

(イ) $\dfrac{E_{0\mathrm{v}}}{\varepsilon_0} = \dfrac{E_{\mathrm{v}}}{2\varepsilon_0}$　　(ロ) $\dfrac{\dfrac{QQ'}{Q+Q'}}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 a^2}$　　(ハ) $2\,Q$

(ニ) $\dfrac{2}{3}Q$　　(ホ) $-\dfrac{1}{3}Q$　　(ヘ) $\varepsilon_0 E_{0\mathrm{h}} = 2\varepsilon_0 E_{\mathrm{h}}$

(ト) $\dfrac{Q+Q'}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 a^2}$　　(チ) 0　　(リ) $\dfrac{E_{0\mathrm{h}}}{\varepsilon_0} = \dfrac{E_{\mathrm{h}}}{2\varepsilon_0}$

(ヌ) 垂直　　(ル) 平行　　(ヲ) $\varepsilon_0 E_{0\mathrm{v}} = 2\varepsilon_0 E_{\mathrm{v}}$

(ワ) $\dfrac{4}{3}Q$　　(カ) $-Q$　　(ヨ) $\dfrac{Q-Q'}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 a^2}$

問２　次の文章は，コイルのインダクタンスに関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図１のように，環状鉄心にコイル１とコイル２が巻かれており，コイル１の巻数とコイル２の巻数の比は$1:a$である。各コイルに電流が流れたときには鉄心の内部にのみ磁界が発生するものとする。

コイル１の自己インダクタンスをL_1とすると，コイル２の自己インダクタンスL_2は $\boxed{(1)}$ ，コイル１の端子 ab とコイル２の端子 cd の間の相互インダクタンスMは $\boxed{(2)}$ と表される。図１に示す向きにI_1，I_2の電流が各コイルに流れている場合には，蓄積された磁界のエネルギーは，

$$W=\frac{1}{2}L_1I_1^2+\frac{1}{2}L_2I_2^2+MI_1I_2$$

と表されるので，$I_1=-aI_2$の場合には磁界のエネルギーは $\boxed{(3)}$ となる。

図１のコイル１の端子 b とコイル２の端子 c を接続すると，端子 ad 間の自己インダクタンスは $\boxed{(4)}$ となる。これに対して図２のように，図１で用いたものと同じ特性を有する２個の環状鉄心にそれぞれ巻かれているコイル１の端子 b とコイル２の端子 c を接続した場合には，端子 ad 間の自己インダクタンスは $\boxed{(5)}$ となる。

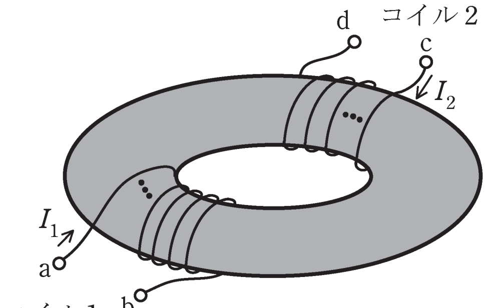


図1

●F1－R 006

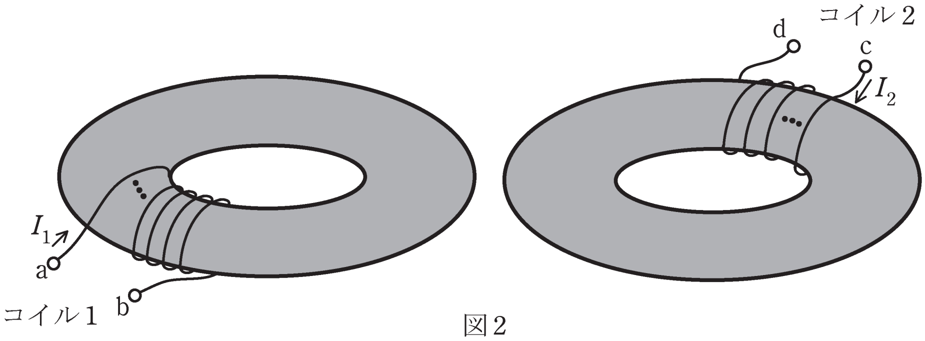


図2

〔問2の解答群〕

(イ) aL_1	(ロ) $\dfrac{L_1}{\sqrt{a}}$	(ハ) $\dfrac{L_1}{a^2}$
(ニ) a^2L_1	(ホ) $(a+1)^2L_1$	(ヘ) $2L_1I_1^2$
(ト) $(a+1)L_1$	(チ) a^3L_1	(リ) $(a^3+1)L_1$
(ヌ) $(a^2+1)L_1$	(ル) $\sqrt{a+1}L_1$	(ヲ) 0
(ワ) $4a^2L_1I_1^2$	(カ) $\dfrac{L_1}{a}$	(ヨ) $\sqrt{\lvert a-1\rvert}L_1$

●F1－R 007

問３　次の文章は，２端子対抵抗回路の電流，電圧に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように２端子対抵抗回路の電流と電圧を定義する。オームの法則とキルヒホッフの法則を使って，$\dfrac{V_1}{I_1}$ と $\dfrac{V_2}{I_2}$ を求めてみる。

端子対 a－b 間の電位差 V_1 は，経路 a → c → b での電圧降下の和で表すと，

$$V_1 = R_a I_a + R_b \left(\boxed{(1)} \right) \cdots\cdots ①$$

となり，経路 a → d → b での電圧降下の和で表すと，

$$V_1 = R_a I_b + R_b \left(\boxed{(2)} \right) \cdots\cdots ②$$

となる。$I_1 = I_a + I_b$ を利用すると，①式と②式より $\dfrac{V_1}{I_1} = \boxed{(3)}$ となる。

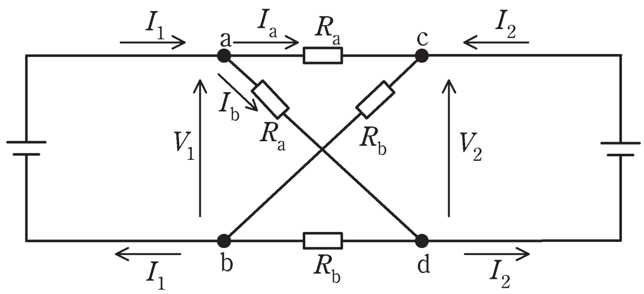
一方，端子対 c－d 間の電位差 V_2 は経路 c → a → d での電圧降下の和で表すと，

$$V_2 = R_a(-I_a) + R_a I_b \cdots\cdots ③$$

となり，経路 c → b → d での電圧降下の和で表すと，

$$V_2 = R_b \left(\boxed{(1)} \right) + R_b \left(\boxed{(4)} \right) \cdots\cdots ④$$

となる。③式から $\dfrac{V_2}{R_a}$ を求め，④式から $\dfrac{V_2}{R_b}$ を求めて加算すると，$\dfrac{V_2}{I_2} = \boxed{(5)}$ となる。



〔問３の解答群〕

(イ) $R_a + R_b$	(ロ) I_b	(ハ) $I_a - I_2$
(ニ) R_a	(ホ) $I_b + I_2$	(ヘ) $I_a + I_2$
(ト) $I_b - I_2$	(チ) I_a	(リ) $-I_b$
(ヌ) $I_2 - I_b$	(ル) $-I_a$	(ヲ) $\frac{1}{2}\left(R_a + R_b\right)$
(ワ) $\frac{2R_aR_b}{R_a + R_b}$	(カ) $\frac{R_aR_b}{R_a + R_b}$	(ヨ) R_b

問４　次の文章は，三相交流回路に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図１のように，実効値が１V である対称三相交流電源に，二つのΔ形不平衡負荷が並列接続されている。図１の各線間電圧は $\dot{E}_{ab}=1\angle 0°$ [V]を基準に，$\dot{E}_{bc}=a^2\dot{E}_{ab}$，$\dot{E}_{ca}=a\dot{E}_{ab}$ とする。ただし，$a=e^{j\frac{2}{3}\pi}$ である。

図２は，アドミタンス $\dot{Y}_{ab}$，$\dot{Y}_{bc}$ 及び $\dot{Y}_{ca}$ を用いて表した図１の等価回路であり，$\dot{Y}_{ab}$ 及び $\dot{Y}_{ca}$ は $\boxed{(1)}$ S，$\dot{Y}_{bc}$ は $\boxed{(2)}$ S となる。

線電流 $\dot{I}_a$ の実効値及び位相角を求めると，それぞれ $\boxed{(3)}$ A 及び $\boxed{(4)}$ °となる。ただし，位相角の符号は進みを正とする。

図１で消費する有効電力は $\boxed{(5)}$ W である。

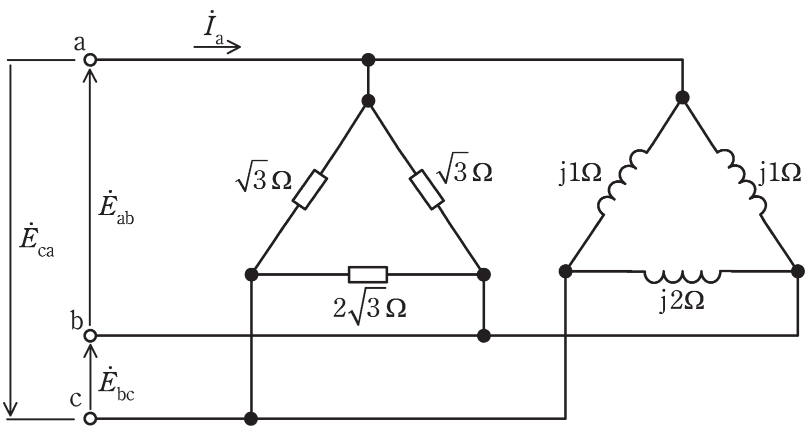


図1

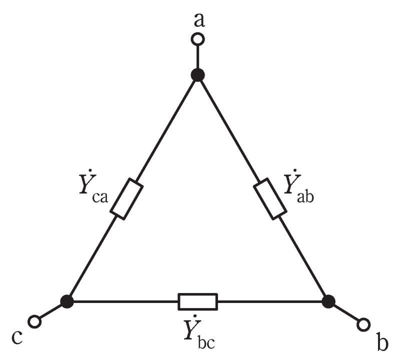


図２

●F１－R 010

〔問４の解答群〕

(イ)　$\dfrac{5\sqrt{3}}{3}$	(ロ)　-45	(ハ)　$\dfrac{\sqrt{3}}{3}e^{-j\frac{1}{3}\pi}$
(ニ)　$2\sqrt{3}\,e^{-j\frac{1}{3}\pi}$	(ホ)　$\sqrt{3}\,e^{-j\frac{1}{3}\pi}$	(ヘ)　$\sqrt{3}$
(ト)　$\dfrac{5\sqrt{3}}{2}$	(チ)　$\dfrac{\sqrt{3}}{3}e^{-j\frac{2}{3}\pi}$	(リ)　2
(ヌ)　-90	(ル)　$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}e^{-j\frac{2}{3}\pi}$	(ヲ)　$\dfrac{5\sqrt{3}}{6}$
(ワ)　-60	(カ)　$2\sqrt{3}$	(ヨ)　$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}e^{-j\frac{1}{3}\pi}$

B問題（配点は1問題当たり計20点）

問5　次の文章は，交流回路の過渡現象に関する記述である。文中の $\boxed{\qquad}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図の RL 回路において，時刻 $t<0$ ではスイッチ S は開いている。時刻 $t=0$ でスイッチ S を閉じ，回路に正弦波交流電圧 $v(t)=V_{\mathrm{m}}\sin(\omega t+\theta)$ が印加されるものとする。

回路の電流を $i(t)$ とすれば，時刻 $t\geqq 0$ では次式の回路方程式が成立する。

$$\boxed{(1)}+Ri(t)=V_{\mathrm{m}}\sin(\omega t+\theta)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ ①$$

時刻 $t\geqq 0$ における電流 $i(t)$ は，①式の定常解 $i_{\mathrm{s}}(t)$ と過渡解 $i_{\mathrm{T}}(t)$ の和として与えられる。

定常解 $i_{\mathrm{s}}(t)$ は，正弦波交流回路の定常電流として，

$$i_{\mathrm{s}}(t)=\frac{V_{\mathrm{m}}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\sin(\omega t+\theta-\phi)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ ②$$

となる。ただし，$\phi=\boxed{(2)}$ である。

一方，過渡解 $i_{\mathrm{T}}(t)$ は，①式の右辺を 0 とした場合の解であるので，任意定数を K とすれば次式となる。

$$i_{\mathrm{T}}(t)=K\times\boxed{(3)}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ ③$$

したがって，電流 $i(t)$ の一般解は，②式及び③式より，次式で与えられる。

$$i(t)=i_{\mathrm{s}}(t)+i_{\mathrm{T}}(t)=\frac{V_{\mathrm{m}}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\sin(\omega t+\theta-\phi)+K\times\boxed{(3)}\ \cdots\cdots\ ④$$

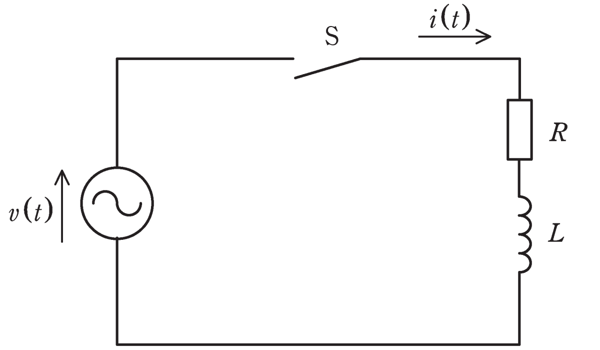
時刻 $t=0$ における回路の電流 $i(0)=0$ であることに注意すれば，④式より任意定数 K は次式で与えられる。

$$K=\boxed{(4)}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ ⑤$$

以上より，時刻 $t\geqq 0$ における回路の電流 $i(t)$ は，次式で与えられる。

$$i(t)=\frac{V_{\mathrm{m}}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\sin(\omega t+\theta-\phi)+\boxed{(4)}\times\boxed{(3)}\ \cdots\cdots\ ⑥$$

なお，⑥式において $\theta-\phi=\boxed{(5)}$ が成立する場合には，時刻 $t\geqq 0$ における回路の電流 $i(t)$ は定常解 $i_{\mathrm{s}}(t)$ のみで表される。



〔問５の解答群〕

(イ) $\tan^{-1}\dfrac{1}{\omega LR}$　(ロ) $\mathrm{e}^{-\frac{1}{RL}t}$　(ハ) 0

(ニ) $\tan^{-1}\dfrac{\omega L}{R}$　(ホ) $\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t}$　(ヘ) $\omega Li(t)$

(ト) $\tan^{-1}\dfrac{R}{\omega L}$　(チ) $\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$　(リ) $\dfrac{\pi}{4}$

(ヌ) $L\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$　(ル) $\dfrac{\pi}{2}$　(ヲ) $\mathrm{e}^{-\frac{L}{R}t}$

(ワ) $\dfrac{-V_\mathrm{m}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\sin(\theta-\phi)$

(カ) $\dfrac{V_\mathrm{m}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\sin(\theta-\phi)$

(ヨ) $\dfrac{V_\mathrm{m}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\sin(\theta+\phi)$

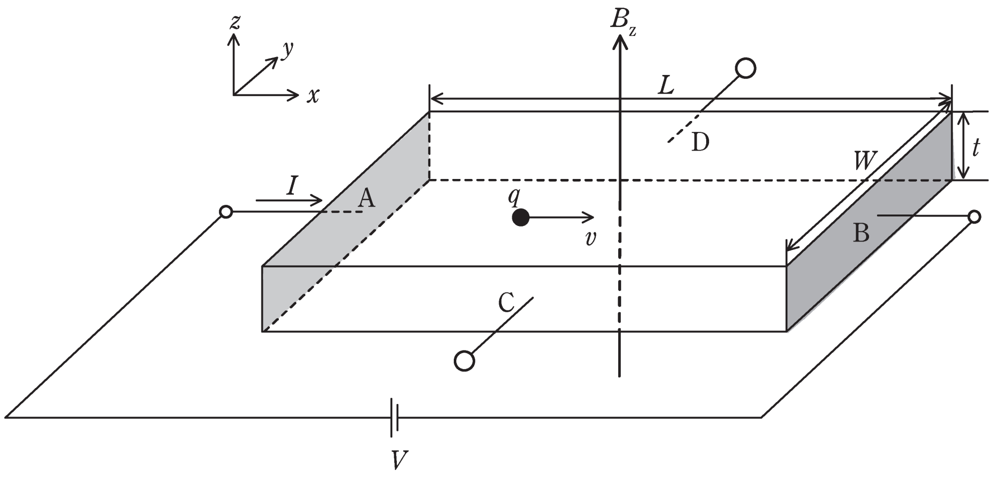
問６及び問７は選択問題であり，問６又は問７のどちらかを選んで解答すること。
両方解答すると採点されません。

（選択問題）

問６　次の文章は，ホール効果測定に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，板状の半導体(長さ L，幅 W，厚さ t)の A 面と B 面の間に電圧 $V(>0)$ を印加する。半導体中のキャリヤが電界から力を受けて一定速度 v で運動している状況を考える。キャリヤが正の電荷量 q を持つ正孔の場合，正孔の濃度を p，移動度を μ_h と仮定すると，運動の方向は x 軸の正方向となり，$v=$ $\boxed{(1)}$ と表されることから，回路を流れる電流 I は，$I=$ $\boxed{(2)}$ と表される。

この半導体に，図の z 軸の正方向に磁束密度 $B_z(>0)$ の磁界を印加すると，正孔がローレンツ力を受けることで，C 面の電位が D 面に対して $\boxed{(3)}$ くなる。この電位差をホール電圧 V_H と定義する。定常状態では，V_H による電界から受ける力と，ローレンツ力が釣り合うことから，$V_H=$ $\boxed{(4)}$ と表される。以上の関係を用いると，V_H と I を実測することにより μ_h と p が得られ，$p=$ $\boxed{(5)}$ と算出される。



●F1－R 014

〔問６の解答群〕

(イ) 高	(ロ) 等し	(ハ) $\dfrac{\mu_h V}{W}$	(ニ) $\dfrac{qp\mu_h V}{L}$
(ホ) 低	(ヘ) $\dfrac{qB_z}{t}\dfrac{I}{V_H}$	(ト) $\dfrac{\mu_h V}{L}$	(チ) $\dfrac{q\mu_h VB_z W}{L}$
(リ) $\dfrac{\mu_h VB_z W}{L}$	(ヌ) $\dfrac{B_z}{qt}\dfrac{I}{V_H}$	(ル) $\dfrac{B_z}{qt}\dfrac{V_H}{I}$	(ヲ) $\dfrac{qp\mu_h VtW}{L}$
(ワ) $\dfrac{qp\mu_h VtL}{W}$	(カ) $\dfrac{\mu_h L}{V}$	(ヨ) $\dfrac{\mu_h VB_z W}{Lt}$	

問６及び問７は選択問題であり，問６又は問７のどちらかを選んで解答すること。
両方解答すると採点されません。

（選択問題）

問７　次の文章は，バイポーラトランジスタに関する記述である。文中の $\boxed{\quad\quad}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

バイポーラトランジスタの各端子を流れる電流を図１のように定義するとき，コレクタ電流 I_C とエミッタ電流 I_E 及びベース電流 I_B の間には，

$$I_C = \alpha I_E \quad \cdots\cdots \quad ①$$

$$I_C = \beta I_B \quad \cdots\cdots \quad ②$$

の関係がある。ここで α と β はそれぞれベース接地電流増幅率とエミッタ接地電流増幅率である。バイポーラトランジスタの α の大きさは $\boxed{(1)}$ 。トランジスタを流れる電流は，

$$I_E = I_B + I_C \quad \cdots\cdots \quad ③$$

であるから，エミッタ電流 I_E をベース電流 I_B と α を用いて表すと，

$$I_E = \boxed{(2)}\ I_B \quad \cdots\cdots \quad ④$$

となる。①式，②式及び④式より，α は β を用いて，

$$\alpha = \boxed{(3)} \quad \cdots\cdots \quad ⑤$$

とかける。

次に，図２に示す回路の $\dfrac{I'_C}{I'_B}$ を求める。このとき Tr1 及び Tr2 のベース接地電流増幅率はそれぞれ α_1 及び α_2 であり，エミッタ接地電流増幅率を β_1 及び β_2 とすると，

$$\frac{I'_C}{I'_B} = \frac{I_{C1} + I_{C2}}{I'_B} = \beta_1 + \beta_2 \frac{I_{B2}}{I'_B} = \beta_1 + \beta_2 \frac{I_{E1}}{I'_B} \quad \cdots\cdots \quad ⑥$$

となる。ここで Tr1 に④式及び⑤式の関係を考慮すると，

$$\frac{I'_C}{I'_B} = \boxed{(4)} \quad \cdots\cdots \quad ⑦$$

が得られる。図２の接続はダーリントン接続と呼ばれ，図２は⑦式で表される大きなエミッタ接地電流増幅率を有する等価的なトランジスタとして用いられる。図２

の回路についても等価的なエミッタ接地電流増幅率 β' とベース接地電流増幅率 α' の間には⑤式の関係が成り立つ。このことから，図 2 の回路の等価的なベース接地電流増幅率 α' は α_1 及び α_2 を用いて，

$$\alpha' = \frac{I'_C}{I'_E} = \boxed{\quad(5)\quad}$$

とかける。

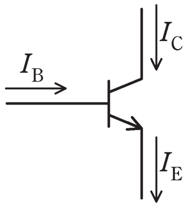


図1

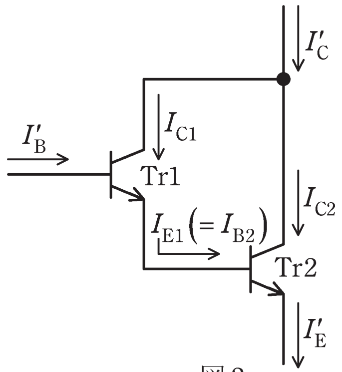


図2

〔問 7 の解答群〕

(イ) ちょうど 1 である　(ロ) 1 より大きい　(ハ) 1 より小さい

(ニ) $\dfrac{\alpha_1\alpha_2}{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)}$　(ホ) $\dfrac{\beta}{1+\beta}$　(ヘ) $\beta_1+\beta_2$

(ト) $\dfrac{\beta}{\beta-1}$　(チ) $2\beta_1\beta_2$　(リ) $\beta_1+\beta_2+\beta_1\beta_2$

(ヌ) $1-\alpha$　(ル) $\dfrac{1}{1-\alpha}$　(ヲ) $\alpha_1+\alpha_2-\alpha_1\alpha_2$

(ワ) $\dfrac{1}{\alpha-1}$　(カ) $\dfrac{1}{1-\beta}$　(ヨ) $\dfrac{\alpha_1}{1-\alpha_1}+\dfrac{\alpha_2}{1-\alpha_2}$