

2022 年度（令和 4 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

私費外国人留学生

専門試験問題

（物理工学系プログラム）

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、1 ページから 5 ページまであります。解答用紙は、2 枚あります。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせてください。
3. 下記表の問題番号 5 から 6 の問題を全て解答してください。1 題につき解答用紙 1 枚を使用し  
て解答してください。 解答用紙の追加配付はありません。

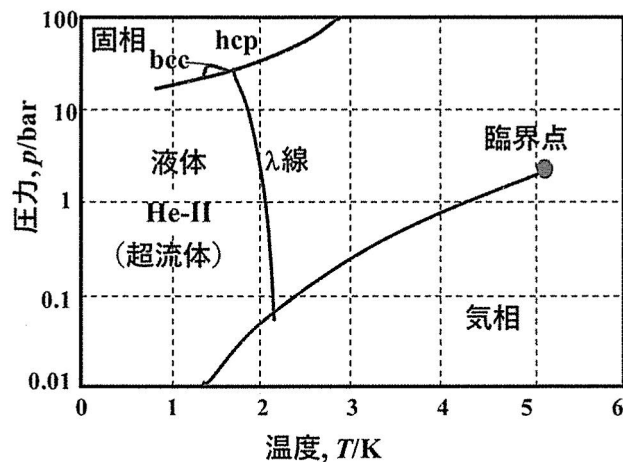
問題番号	出題科目
5	材料科学 Materials science
6	電磁気学 Electromagnetics

4. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 2 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
5. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
6. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
7. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外の物を置くことはできません。
8. コンパス及び定規等は、使用できません。
9. 時計のアラーム（計時機能以外の機能を含む。）は、使用しないでください。
10. スマートフォン、携帯電話、ウェアラブル端末等の音の出る機器を全て机の上に出し、それらの機器のアラームを解除してから、電源を切り、かばん等に入れてください。
11. 試験終了まで退室できません。試験時間中に用がある場合は、手をあげてください。
12. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。

問題5 材料科学 設問すべてについて解答すること。

I 次の問いについて答えよ。

- (1) 斜方硫黄の密度は  $2.070 \text{ g cm}^{-3}$ 、単斜硫黄の密度は  $1.957 \text{ g cm}^{-3}$  である。加圧することで安定化するのどちらか述べよ。また、選んだ理由について簡潔に説明しなさい。
- (2) 下図のヘリウム ( $^4\text{He}$ ) の相図に参考して、超臨界流体 (supercritical fluid) と超流体 (superfluid) について、①物理状態、②相構造及び③温度により説明しなさい。



II 次の (1) ~ (2) の問いについて答えよ。

- (1) 正方晶相 (Tetragonal) と立方晶相 (Cubic) について、それぞれ、ブラベー格子図を描いて、その原子配列と結晶構造の特徴を説明しなさい。
- (2) 相転移に関する分子論的解釈として、二次相転移の種類の一つに、固体の結晶構造の対称性の変化を伴うものがある。問 II (1) に描いた正方晶相と立方晶相のブラベー格子図を利用して、正方晶相と立方晶相における昇温により生じる現象 (原子配列、結晶構造、エネルギーや占有体積など) をそれぞれ説明しなさい。

III 次の問いについて答えよ。

(1) 水  $200 \text{ cm}^3$  に塩化ナトリウム  $2.9 \text{ g}$  を加えた水溶液の①凝固点および②沸点を概算せよ。ただし、この水溶液は理想溶液として扱い、体積変化はしないこととする。原子量：Na-23; Cl-35 ; 水の密度： $1.0 \text{ g cm}^{-3}$

また、水の凝固点降下定数 ( $K_f$ ) は  $1.96 \text{ K kg mol}^{-1}$ 、沸点上昇定数 ( $K_b$ ) は  $0.51 \text{ K kg mol}^{-1}$  である。水の標準凝固点と標準沸点は、それぞれ、 $273.15 \text{ K}$  と  $373.15 \text{ K}$  とする。

(沸点上昇の経験式： $\Delta T_b = K_b b$  ; 凝固点降下の経験式： $\Delta T_f = K_f b$ )

$K_b$  : 溶媒の沸点上昇定数;  $b$  : 質量モル濃度

$K_f$  : 溶媒の凝固点降下定数;)

(2)  $293 \text{ K}$  におけるベンゼンとメチルベンゼンの蒸気圧は、それぞれ、 $75 \text{ Torr}$  と  $21 \text{ Torr}$  である。ベンゼンの溶液モル分率が  $0.25$  であるような混合物と平衡にある①気相の組成および②全蒸気圧を計算せよ。なお、この混合液は理想溶液とする。

IV 図1は代表的な炭素鋼の相図の一部である。次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

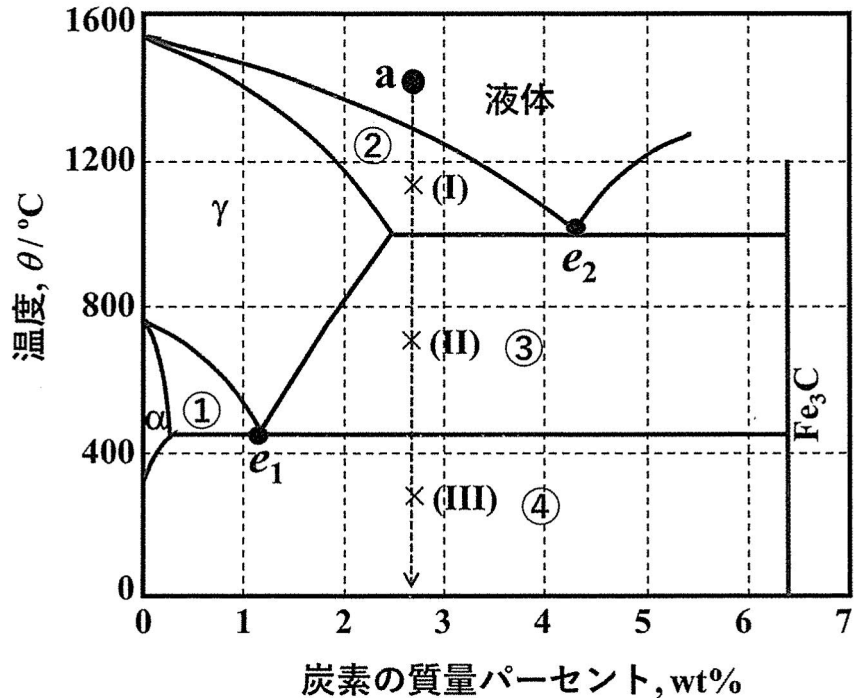


図1 代表的な炭素鋼の相図の一部

- (1) 図1における $\alpha$ 相, $\gamma$ 相と  $\text{Fe}_3\text{C}$  の名称を記述しなさい。
- (2) 図1における①～④の各領域に存在する相を, 記号もしくは名称を用いて記述しなさい。
- (3) 図1に示す点 ' $e_1$ 'および' $e_2$ ' の名称を述べ, それぞれの点において共存する相を記号もしくは名称を用いて記述しなさい。
- (4) 組成 ' $a$ ' の溶融液体を室温まで冷却したときに観察される相の変化を, 冷却曲線を描いて説明しなさい。
- (5) 組成 ' $a$ ' の溶融液体を室温まで冷却した場合, (I), (II), (III)で示す温度で生成する化合物の組織の模式図を描いて説明しなさい。

問題6 電磁気学 設問すべてについて解答すること。

I 次の(1)～(7)の問いについて答えよ。

図1に示すように、2つの円形状極板(半径  $a$ )からなる平行板コンデンサー(電気容量  $C$ )を充電したのち、時刻  $t=0$  で回路のスイッチを入れて放電させる。極板間において、中心軸から距離  $r$  ( $r \leq a$ )にある点 P(円周上の点)を考える。ただし、極板は十分に広く、極板間の電場は一様に生じるとみなしてよいものとする。時刻  $t$  ( $t \geq 0$ )に蓄えられている正の電荷を  $Q(t)$ とし、正極から負極に向かう導線中の電流および極板間の変位電流の向きを正とすると、導線を通る電流は  $-dQ(t)/dt$  となる。真空の誘電率を  $\epsilon_0$ 、透磁率を  $\mu_0$  とする。

- (1) 充電時にコンデンサーに蓄えられたエネルギーを  $Q(0)$ を用いて答えよ。
- (2) 時刻  $t$ における極板間での電場の大きさ  $E(t)$ を  $Q(t)$ を用いて答えよ。
- (3) 時刻  $t$ における極板間の変位電流密度の大きさ  $i_d(t)$ を  $dQ(t)/dt$ を用いて答えよ。ただし、極板間の電場と変位電流の向きが反対であることを注意せよ。
- (4) 点 Pにおける磁束密度の大きさ  $B(r, t)$ を  $dQ(t)/dt$ を用いて答えよ。
- (5) 点 Pにおけるポインティングベクトルの向きを図2の(a)～(d)から選べ。
- (6) 点 Pにおけるポインティングベクトルの大きさを  $d\{Q(t)\}^2/dt$ を用いて答えよ。
- (7) 放電で  $Q(t)=0$ になるまでにコンデンサーから流出するエネルギーを  $Q(0)$ を用いて答えよ。

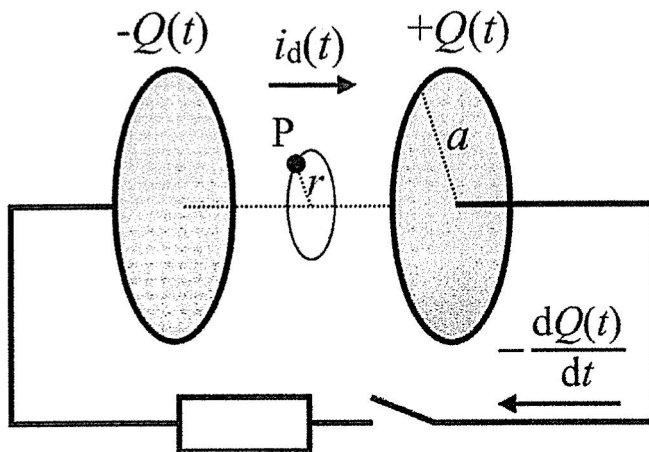


図1

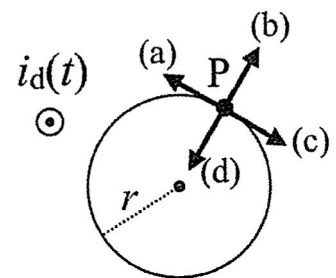


図2

II 次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

図3に示すように、cd間距離が無視できるほど小さく、一辺の長さ  $a$  の正方形とみなせるコイルを考える。コイルを磁束密度  $B$  の一様な磁場 ( $B=|B|$ ) の中におき、磁場に垂直な軸の周りに一定の角速度  $\omega$  で回転させる。回転軸は ps 及び qr の中点を通る。時刻  $t=0$  ではコイルの面の法線が磁場と平行であり、図3は時刻  $t=0$  直後の様子を示している。

必要に応じて以下の公式を用いてもよい。

$$\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta, \quad \cos 2\theta = 1 - 2\sin^2\theta$$

cd間が繋がっていない場合を考える。

- (1) コイルの中の電子を考える。pq 内の一個の電子(電荷  $-e$ )について、pq 方向に作用するローレンツ力  $F(t)$  を求めよ。ただし、p から q に向かう方向を正とする。
- (2) ローレンツ力によって pq 間に生じる起電力  $V(t)$  を求めよ。答えに  $F(t)$  を用いてはいけない。
- (3) コイルを貫く磁束  $\Phi(t)$  を求めよ。
- (4) コイル内に生じる誘導起電力  $\phi_{em}(t)$  を求めよ。答えに  $V(t)$  と  $\Phi(t)$  を用いてはいけない。

cd間が短絡している場合を考える。ただし、誘導電流が作る磁場は無視してよい。

- (5) コイルの抵抗が  $R$  のとき、コイルが一回転する周期  $2\pi/\omega$  の間に発生するジュール熱  $J$  を求めよ。

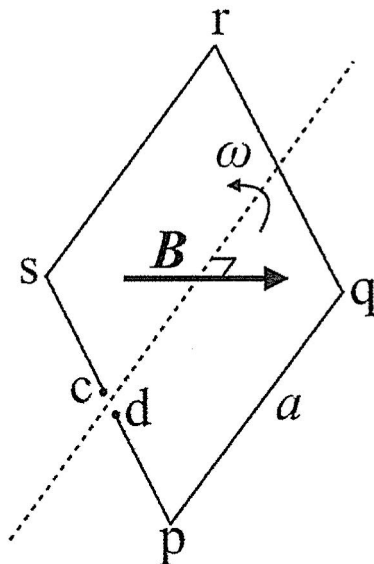


図3