平成２５年度　九州大学大学院総合理工学府
先端エネルギー理工学専攻　入学試験問題

専　門　科　目

注意

１．各解答用紙右上部の受験番号欄に受験番号を記入すること。

２．問題１～問題１８のうち３問を選んで解答すること。

３．３問の解答を問題ごとに、それぞれ別の解答用紙に書くこと。
その際、各解答用紙左上部に選択した問題番号を記入すること。
また、選択した問題番号を、解答用紙と別に配られる「専門科目選択番号票」に記入すること。

４．採点は解答用紙の表のみで行うので、紙面が足りない場合は追加解答用紙を請求すること。

５．途中までしか解答できなくても、中間段階までの結果を解答用紙に書いておくこと。

６．配点は各問題共５０点とする。

物　理　学

（問題１～問題５）

問題 1　下図に示すように質量mの箱が、右側に一定の速さVで移動する床の上に置かれている。質量mの箱は、左端を固定されたばね定数kのばねにつながれている。床と質量mの箱の動摩擦係数をμとして以下の問に答えよ。ただし、箱と床には常に動摩擦のみが働いているものとし、箱の速さはV以上にはならないものとする。

（1）ばねの自然長からの伸びをxとして質量mの箱に対する運動方程式を求めよ。

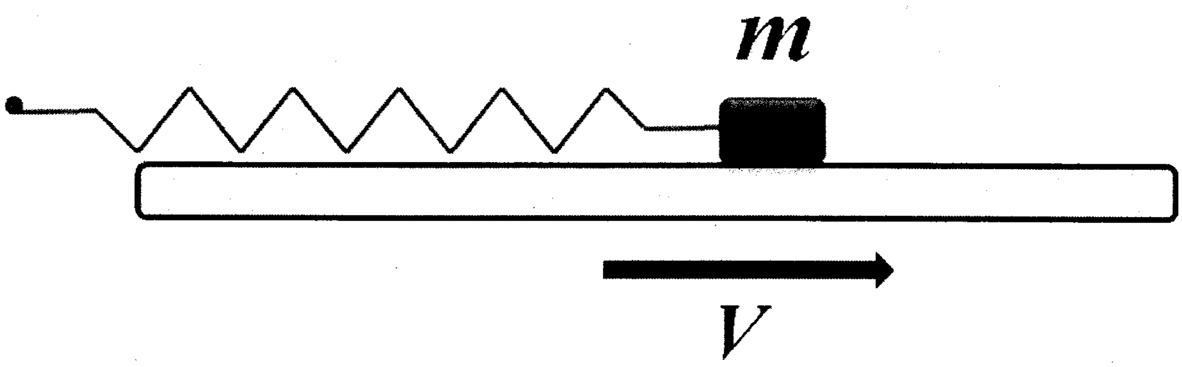
（2）動摩擦係数μが相対速度に依存しない場合に（1）で求めた運動方程式を解け。

ただし、時刻$t=0$で$x=0$、$\dfrac{dx}{dt}=0$とする。

（3）（2）に対し、動摩擦係数μがわずかに相対速度に依存し、次式で与えられる場合を考える。

$$\mu = b - a\left(V - \frac{dx}{dt}\right)$$

ここでa、bは正の定数とし、μは常に正であるとする。aが小さい場合に箱の振幅が時間と共に増大することを示せ。



問題 2　幅が a で1次元の無限に深い井戸型ポテンシャルに束縛された電子について以下の問に答えよ。ただし、数値を解答する際には有効数字２桁で答えよ。

（1）電子の質量およびエネルギーをそれぞれ m および E として波動方程式を記述し、それを解くことにより電子のエネルギー固有値を求めよ。

（2）井戸型ポテンシャルの幅 a を 1.0×10^{-10} [m]とするとき、主量子数 $n=1$ の場合の電子のエネルギーは何 [eV]か。ただし、電子の質量を 9.11×10^{-31} [kg]、プランク定数を $h=6.626\times10^{-34}$ [J s]、1 [eV] = 1.602×10^{-19} [J]とする。

（3）この電子が主量子数 $n=3$ の状態から $n=2$ の状態へ遷移するとき、放射される光の波長を求めよ。

問題　3　無限に長い半径 a の円柱導体に z 軸方向に全電流 I が流れている。電流密度分布が

$$j(r) = j_0\left(1-\left(\frac{r}{a}\right)^2\right) \qquad (1)$$

と与えられるとき以下の問に答えよ。円柱座標系（ r、θ、z ）および 透磁率 μ_0 を用いよ。

（1）磁束密度 $\vec{B}$ 電流密度 $\vec{j}$ の関係をしめすマックスウェル方程式を微分形で書け。この方程式を閉曲線 $\vec{C}$ で囲まれた閉曲面 $\vec{S}$ に関して面積積分を実行して、アンペールの公式を導け。

（2）電流密度分布が（1）式を満たす時、j_0 と全電流 I との関係を計算せよ。

（3）$r > a$ における磁場 B_θ を求めよ。

（4）$r = a/\sqrt{2}$ における磁場 B_θ を計算せよ。

問題　4　確率分布関数について以下の問に答えよ。

（1）　質量 m の単原子分子が温度 T のマックスウェル分布をしている。平衡状態でのその速度分布関数 f_0 を速度空間の直角座標を用いて書け。

（2）　更に密度が n となる規格化を行え。

（3）　y 方向に平均速度 u を持つ分布に変形せよ。

（4）　ビーム（Beam）状態を記述しようとした場合、分布関数に関してどのような極限をとればよいか述べよ。

問題 5　以下の問に答えよ。

（1）熱中性子とは、原子との衝突などにより運動エネルギーが原子の熱エネルギー $3/2\ kT$ と同程度になった中性子のことである。ここで k はボルツマン定数、T は絶対温度である。$T = 300$ [K]のとき、熱中性子の速さとド・ブロイ波長はそれぞれいくらになるか。有効数字２桁で答えよ。ただし、中性子の質量を 1.67×10^{-27} [kg]、プランク定数を $h = 6.626 \times 10^{-34}$ [Js]、ボルツマン定数を $k = 1.38 \times 10^{-23}$ [J/K]とする。

（2）水素原子の中の電子をミュー粒子に置き換えて、水素原子核とミュー粒子とで原子を構成した。この原子はボーアの原子モデルに従うものとする。すなわち、水素原子核は動かず、ミュー粒子はクーロン力と遠心力とがつりあいながら運動し、さらにボーアの量子条件を満たすとする。このとき、この原子の基底状態の平均半径は通常の水素原子の場合の何倍か。また、この原子の基底状態のエネルギーは通常の水素原子の場合の何倍か。ただし、水素原子内でのミュー粒子の換算質量を電子の186倍とする。

化学・化学工学

（問題６～問題８）

問題 6　理想気体について以下の問に答えよ。

（1）　等温状態における理想気体の内部エネルギー U は、その体積 V に無関係である（ $(\partial U/\partial V)_T = 0$ ）ことを示せ。ここで、 T は絶対温度である。なお、解答に必要なパラメータは適宜定義せよ。

（2）　理想気体 1 モルについて、定容比熱 C_V と定圧比熱 C_P との間には、

$$C_P = C_V + R$$

の関係が成り立つことを示せ。ここで、R はガス定数である。なお、解答に必要なパラメータは適宜定義せよ。

（3）（2）は何の関係式と呼ばれるか？　関係式名を答えよ。

問題 7　気液平衡について以下の問に答えよ。

（1）　A、B の二成分からなる系が気液平衡の状態にある。この系が理想混合系（理想溶液）である場合、液相中の成分 A のモル分率 x_A と、気相（蒸気相）中の成分 A が形成する圧力（分圧）P_A、および、同じ温度の純物質 A の蒸気圧 $P_A{}^{\circ}$ との間に成り立つ関係を記せ。また、成分 B の関係についても同様に答えよ。必要なパラメータは適宜定義せよ。

（2）　（1）の関係は何の法則と呼ばれるか？　法則名を答えよ。

（3）　トルエンとベンゼンの混合物は理想混合系とみなせる。トルエン - ベンゼン混合液中のベンゼンのモル分率を x_A とした時のそれぞれの成分の分圧、および全圧を x_A に対して同一図上に描け。ただし、その系の温度は 25[℃]、その温度での純トルエンと純ベンゼンの蒸気圧を 3.0 [kPa]、9.7 [kPa]とする。

（4）　25[℃]のトルエン - ベンゼン混合液中のベンゼンのモル分率を x_A 、それと平衡にある混合蒸気のベンゼンのモル分率を y_A として、x_A と y_A の関係を式で表わせ。また、その結果（$x_A - y_A$ の関係）を図示せよ。

（5）　二成分が理想混合系でない場合、それぞれの成分の蒸気圧の成分分率依存性はどのようになるか、簡単に述べよ。

問題 8　触媒反応容器を使い、エチレンを水和してエタノールを製造するプロセスを考える。

$$C_2H_4 + H_2O = C_2H_5OH$$

この反応は反応容器を一回通過するだけでは完結しないため、水および生成したエタノールを凝縮分離した後、未反応のエチレンを循環させ補給原料に加える必要がある。反応容器入口のエチレンの流量[mol/s]に対する水の流量[mol/s]の比は 0.6 に保たれており、エチレンの一回通過当たりの転化率（単通転化率）は 4.2 [%]であるとする。以下の問に答えよ。

（1）本プロセスのフローシートを描け。

（2）エチレンの循環比を求めよ。ただし、循環比を下記のように定義する。

循環比 ≡ 循環原料中のエチレンの流量／補給原料中のエチレンの流量

（3）補給原料中のエチレンの組成（mol 比）を求めよ。

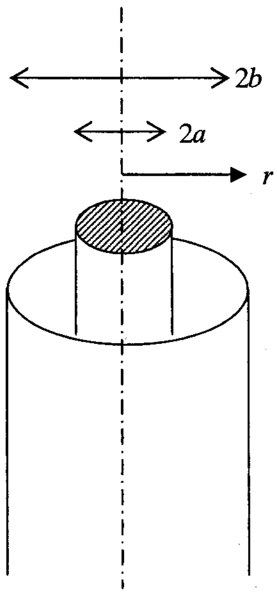
（4）エチレンの総括転化率を求めよ。ただし、総括転化率を下記のように定義する。

総括転化率 ≡ 反応したエチレンの流量／補給原料中のエチレンの流量

電気・電子工学

（問題９～問題１２）

問題 9　下図に示すように、十分に長い同心円筒導体について、以下の問に答えよ。単位はMKSA単位系、または国際単位系（SI）で統一するものとする。外側導体は十分薄いとし、導体間の媒質は真空とみなす。内側及び外側の導体の抵抗は無視できるほど小さいとする。真空の誘電率、透磁率はそれぞれε_0、μ_0とする。導体の軸を中心として半径をrとする。



（1）内側及び外側の導体に単位長さあたりそれぞれ$+Q$及び$-Q$の一様電荷を与えた場合、$0 \le r \le a$、$a \le r \le b$および$b \le r$における電場を求めよ。

（2）導体間の単位長さあたりの静電容量 Cを求めよ。

（3）内側及び外側の導体にそれぞれ$+I$及び$-I$の電流を流した場合、$0 \le r \le a$、$a \le r \le b$および$b \le r$における磁場を求めよ。但し、電流は一様に流れるとする。

（4）導体間の単位長さあたりのインダクタンスLを求めよ。ここでは a は非常に小さく$a \le r \le b$の部分だけがインダクタンスに関係するとして計算せよ。

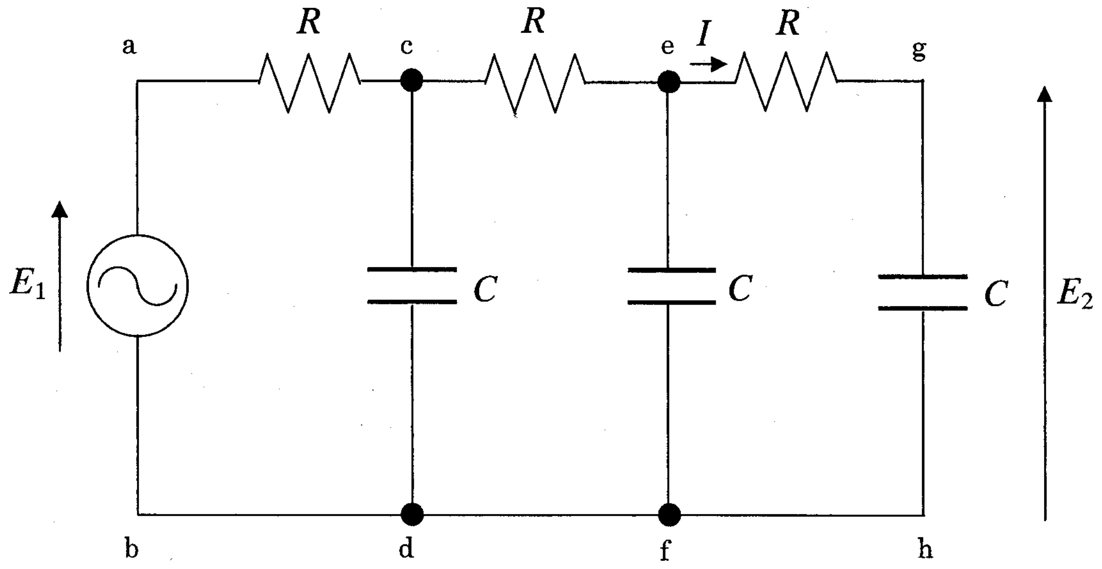
（5）この同心円筒導体の特性インピーダンスZ_0を求めよ。

問題　１０　下図に示す RC 回路の端子 ab に交流電圧 E_1 を加えた場合を考える。以下の問に答えよ。

（１）端子 gh の電圧を E_2 とする。E_2 を用いて電流 I および端子 ef の電圧 E_{ef} を表わせ。

（２）E_2 を用いて電圧 E_1 を表わせ。

（３）電圧 E_2 が電圧 E_1 と同位相となる条件を求めよ。



問題　１１　下図に示す対称三相回路における過渡現象を考える。三相交流電源の相電圧は次のとおりとする。

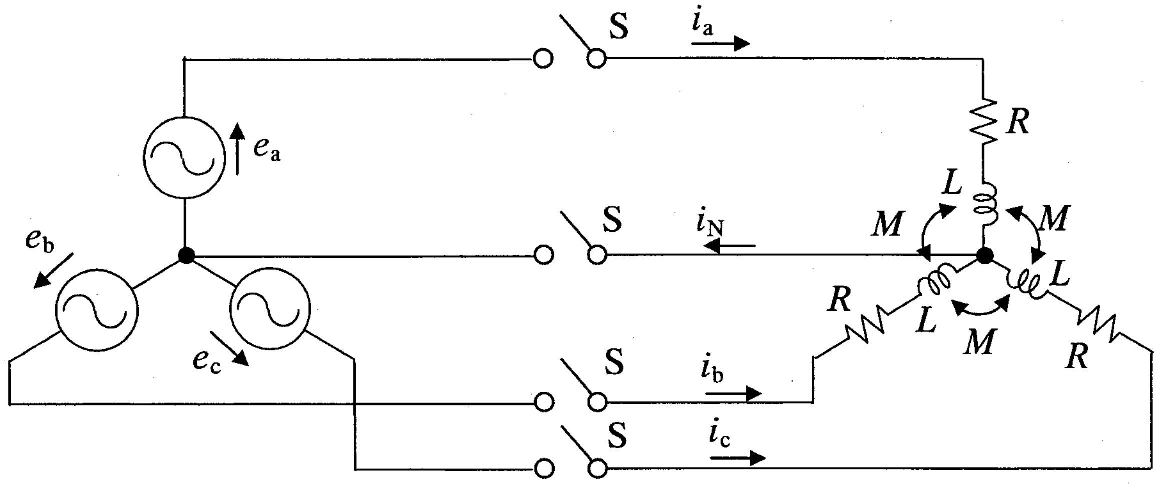
$$\begin{cases} e_a = \sqrt{2}E\cos(\omega t) \\ e_b = \sqrt{2}E\cos(\omega t - 2\pi/3) \\ e_c = \sqrt{2}E\cos(\omega t - 4\pi/3) \end{cases}$$

スイッチ S は時刻$t=0$において同時に閉じるものとする。簡単のため、（3相鉄心入りリアクトルと同様に）$M=-L/2$とする。以下の問に答えよ。

（1）i_a、i_b、i_c、i_Nに関する過渡回路方程式を求めよ。

（2）i_Nを求めよ。

（3）i_aを求めよ。



問題 １２　３ビットの２進数Xを$X=x_2x_1x_0$と表わす。例えば$X=010$ならば、それぞれのビットは$x_0=0, x_1=1, x_2=0$である。この３ビットの２進数を入力し、それが10進数表記で２から５の範囲にあれば１を、そうでなければ０を出力する論理回路を考える。以下の問に答えよ。

（１）出力をfとした時、以下の真理値表を完成させよ。

x_2	x_1	x_0	f

（２）fをx_0、x_1、x_2と以下の論理演算子を用いて表わせ。$x_1 \bullet x_2$はAND、$\bar{x}_1$はNOT、x_1+x_2はORを表わす。

（３）入力をx_0、x_1、x_2、出力をfとする論理回路をNANDゲートのみで描け。

（４）論理関数を簡略化する際に、ベン図、ベイチ図、カルノー図、クワイン・マクラスキー法が用いられる事がある。これら簡略化手法のうちどれか一つについて、５～１０行で説明せよ。図表を用いてもよい。

材　料　科　学

（問題１３～問題１５）

問題 13 結晶構造に関する以下の問に答えよ。

（1） 多くの純金属の結晶構造は、面心立方、体心立方、または最密六方格子である。この内、面心立方格子と最密六方格子は、球状と考えた原子を平面にできるだけ密に並べ、さらに、重ねていったときにできる構造となっている。この面心立方及び最密六方の格子の重なりの配置について図を用いて説明せよ。

（2） (1)の面心立方格子の例を用いて、積層欠陥について説明せよ。

（3） 体心立方格子の場合の格子配置を(1)の場合と同様に図示すると共に、重なりの配置について説明せよ。

（4） 金属結合の特徴と結晶構造の関係を説明せよ。

（5） ダイヤモンドの結晶構造を図示すると共に、このような結晶構造をとる理由を電子構造をもとに説明せよ。

問題 14　下記の状態図に関する以下の問に答えよ。

（1）この状態図は何と呼ばれるか述べよ。

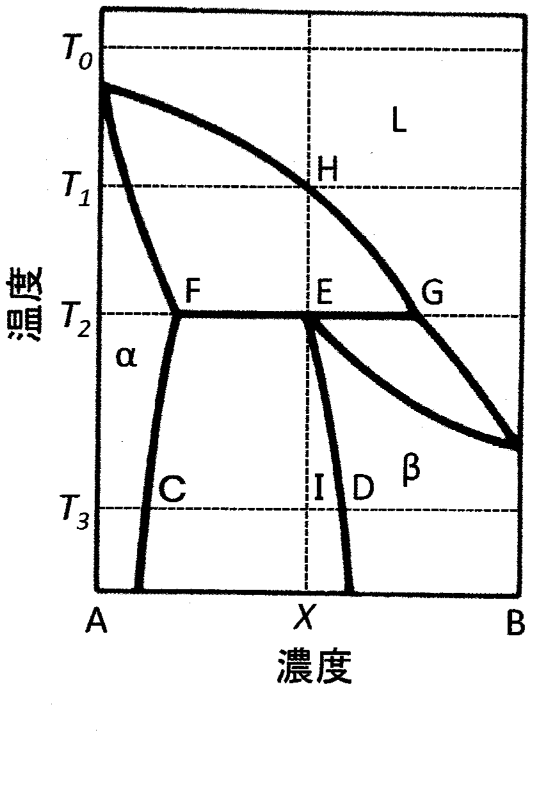
（2）以下、E点を通る組成 X の合金をゆっくりと冷却する場合を考える。温度 T_0 の融解状態から温度が下がって温度 T_1 に達した時に発生する現象を説明せよ。

（3）温度 T_2 に達した時の液相と固相の量の比を求めよ。なお、濃度は適宜定義せよ。

（4）点Eにおける反応式を記せ。

（5）温度 T_3 に達した時の α 固溶体と β 固溶体の存在量の比を求めよ。

（6）温度 T_3 に達した時の組織について図を用いて説明せよ。



問題 15 鋼の性質として重要な延性 - 脆性遷移温度に関して以下の問に答えよ。

（1） 延性 - 脆性遷移温度を測定する試験方法について説明せよ。

（2） 延性 - 脆性遷移温度について、吸収エネルギーと試験温度との観点から図を書いて説明せよ。

（3） 鋼は脆化すると一般に硬度が上昇する。脆化に伴い硬度が上昇する理由を説明せよ。

（4） 水素脆化について説明し、その防止方法を述べよ。

機械・エネルギー工学

（問題１６～問題１８）

問題 １６ スターリング（Stirling）サイクルはスコットランドの牧師である Robert Stirling によって考案されたサイクルで、以下の過程からなる。

1→2 等温圧縮

2→3 等容加熱

3→4 等温膨張

4→1 等容放熱

ただし、状態１，２，３，４における、温度、圧力および体積をそれぞれ T_1, T_2, T_3, T_4, p_1, p_2, p_3, p_4, V_1, V_2, V_3, V_4 とする。また定圧比熱 c_p と定容比熱 c_v の比である比熱比（c_p/c_v）をκ、圧縮比（V_1/V_2）をε、低温側と高温側の温度比（T_1/T_3）をτとする。

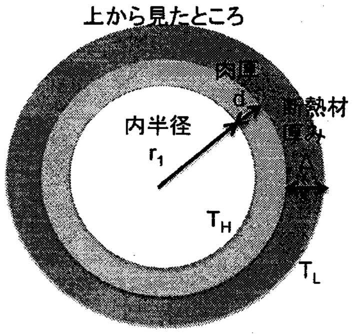
（1） このサイクルの p-V 線図および T-S 線図をかけ。

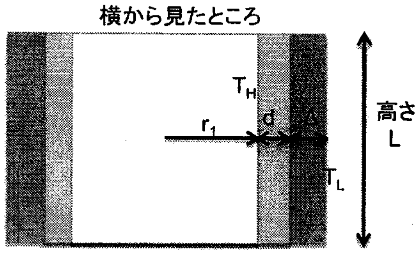
（2） 理想的な熱交換器をつけ、等容変化 4→1 の熱量 Q_{41} を可逆的に等容変化 2→3 の加熱 Q_{23} に使うことが可能とすると、このときの熱効率η_{th} を求めよ。

（3） Q_{41} の一部、すなわちηQ_{41} のみ（ただし $0<\eta<1$）等容変化 2→3 の加熱に再利用できる時の熱効率 η_{th} をη, ε, κ, τを用いて表せ。

（4） 上記（3）の条件において、作動ガスがアルゴンの場合と二酸化炭素では、熱効率η_{th} はどちらがいいといえるか、理由とともに述べよ。

問題 １７　肉厚 d、内半径 r_1、高さ L の円筒があり、円筒内壁の表面温度が T_H に均一かつ一定に維持されている。円筒胴部外側に厚み Δ だけ断熱材を巻き熱の逃げを抑える。断熱材表面温度が T_L に維持されているとき、定常状態で断熱材外側へ逃げる単位時間あたりの熱量 Q を求めよ。但し、熱は一次元半径方向のみに逃げるとする。必要なパラメーターは適宜定義せよ。





問題　１８　内半径 a、外半径 b の同心二重円管部を粘性流体が中心軸方向に層流状態で流れている。次の問に答えよ。必要なパラメーターは適宜定義せよ。

（１）円筒座標系 (r,θ,z) における中心軸 z 方向の Navier-Stokes 方程式を示せ。

（２）重力の影響を無視し、z 方向圧力損失が r 方向に均一に働き、定常状態で発達した速度分布に達したとき、上の式がどのように簡略化されるかを理由とともに示し、そのときの境界条件を示せ。

（３）発達した速度分布を求めるとともに、速度分布を図示せよ。