2024年度（令和６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

（電気・機械工学系プログラム　機械工学）

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８ページまであります。解答用紙は，３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９から13の中から３題を解答してください。<u>１題につき解答用紙１枚を使用して</u>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
9	力学・材料力学 Mechanics, strength of materials
10	流体力学 Fluid dynamics
11	熱力学 Thermodynamics
12	生産加工 Materials and processing
13	制御工学 Control engineering

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３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９　力学・材料力学　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　水平面と θ の角度をなす斜面の上に，円板（質量 M，半径 R）があり，円板の重心に，斜面に平行な力 P が作用し，円板が支えられ，図１のような配置で平衡状態にある。力 P を取り除くと，図２のように，斜面に沿って，滑ることなく転がり落ち，斜面をちょうど３回転した。このとき，次の（１）～（６）の問いについて答えよ。ただし，重力加速度を g，円板が斜面から受ける静止摩擦力を f，半径 R で質量 M の円板の重心を通り，円板に垂直な軸に関する慣性モーメントは，$I_G = MR^2/2$ で与えられる。斜面の長さは，円板が３回転するのに対して十分長く，斜面の状態は均一である。

（１）円板がまさに転がり落ちようとするとき，転がり落ちるのを防ぐために必要な力 P を，M，g，θ，f を用いて示せ。

（２）円板が滑らずに斜面を転がり落ちているとき，重心の加速度 a_G と重心周りの角加速度 α の関係式を，R を用いて示せ。

（３）円板が滑らずに斜面を転がるための静止摩擦係数 μ の条件を，θ を用いて示せ。

（４）平衡状態から，円板がちょうど３回転したときの，円板の重心の速度を V_G とすると，図２に示す円板上の点Ａ（斜面に接する点の反対の点）の速度 V_A は，V_G の何倍かを示せ。

（５）平衡状態から，円板がちょうど３回転したときの，円板の重心の速度 V_G を，g，R，θ を用いて示せ。

（６）平衡状態から，円板がちょうど３回転するまでにかかった時間 T を，g，R，θ を用いて示せ。

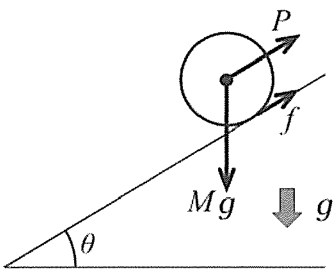

図１

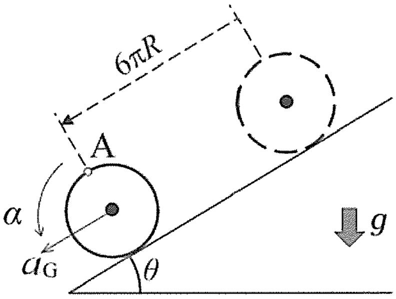

図２

II　図３に示すように，長さが L_1，L_2（$L_1 < L_2$），断面が長方形でその高さが h_1，h_2，幅がともに b の２本のはり AB と CD がある。はり AB は両端を円柱で単純支持され，はり CD の中央にのせてある。はり CD は，両端において単純に支持されている。はり AB の上面に単位長さ当たり w の等分布荷重が作用する。はりと円柱の重量は無視でき，はりの変形は，はりの長さに比べて十分に小さいとして，以下の（１）～（７）の問いに答えよ。

（１）はり AB において，A 点と B 点での反力 R_A，R_B の大きさを求めよ。

（２）はり AB に生じる最大曲げモーメントの大きさ $|M_{AB\_max}|$ と最大曲げ応力の大きさ $|\sigma_{AB\_max}|$ を求めよ。ただし，R_A，R_B を用いずに答えよ。

（３）はり CD において，C 点と D 点での反力 R_C，R_D の大きさを求めよ。

（４）はり CD に生じる最大曲げモーメントの大きさ $|M_{CD\_max}|$ と最大曲げ応力の大きさ $|\sigma_{CD\_max}|$ を求めよ。ただし，R_C，R_D を用いずに答えよ。

（５）$|\sigma_{CD\_max}| > |\sigma_{AB\_max}|$ のとき，L_2/L_1 の満たす条件を示せ。

（６）$L_2 = 2L_1 = 2.0$ [m]，$h_1 = h_2 = 50$ [mm]，$b = 30$ [mm]のとき，はり AB，CD の降伏応力 σ_Y を 200 MPa，安全率を 4 とすると，はり AB に加えることのできる最大の等分布荷重の大きさ $|w_{max}|$ を求めよ。

（７）図４に示すように，直径 d の丸棒から断面が長方形のはりを切り出す場合を考える。最も大きな曲げモーメントに耐えうるはりの長方形断面の幅 a は，d の何倍になるか求めよ。

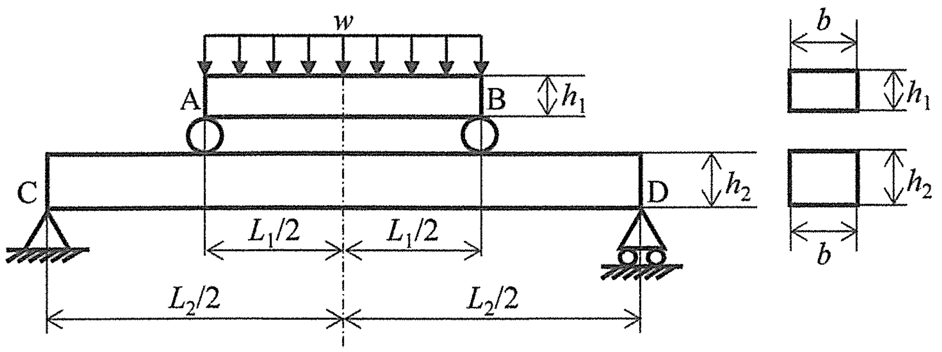

図３

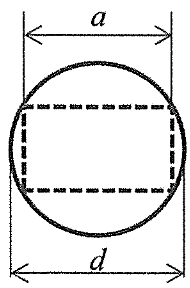

図４

問題 10　流体力学　設問すべてについて解答すること。

解答の注意：設問Ⅰの解答を解答用紙の表面，設問Ⅱの解答を解答用紙の裏面に記入すること。また，各設問の小問について，たとえば（1）$\underline{x=y+z}$ のように，最終的な解答に小問の番号を付して下線で明示すること。

Ⅰ　図1に示す通り，断面積 A の空気噴流が一定速度 U で上方向に運動している羽根列に流入し，断面積を変化して流出する。流入，流出の絶対速度はそれぞれ V_1，V_2，流入，流出流れの静止系における角度はそれぞれ α_1，α_2 である。空気密度を ρ として，摩擦損失ならびに重力の影響は無視すると共に，羽根列前後の圧力は大気圧で一定とする。次の（1）～（4）の問いについて答えよ。

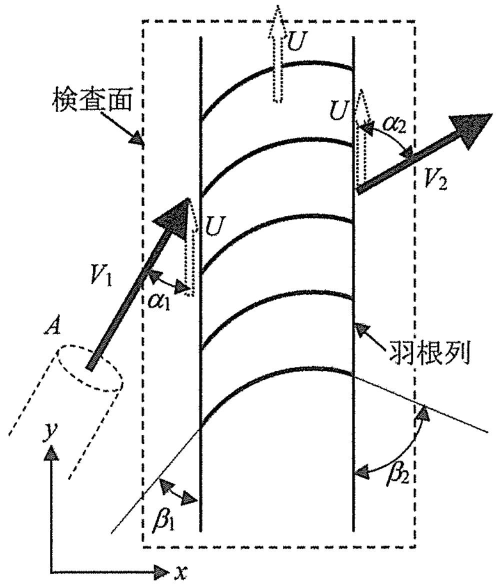

図1

（1）　運動量の法則を用いることにより，空気噴流が羽根列に及ぼす力の上下方向成分 F_T（上向きを正とする）を求め，A，V_1，V_2，α_1，α_2，ρを用いて示せ。

（2）　空気噴流が羽根列に対して単位時間に行う仕事（仕事率）P は，単位時間に空気噴流が失うエネルギーに等しい。仕事率 P を求め，A，V_1，V_2，ρを用いて示せ。

（3）　羽根列の運動速度 U を F_T と P を用いて示せ。

（4）　図1に示す通り，羽根列の羽根角度は，羽根列の入口と出口においてそれぞれβ_1，β_2 と定義されている。羽根列の入口と出口において，運動している羽根列に対する空気噴流の相対流れが，羽根角度β_1，β_2 と同一の方向となる。羽根角度β_1，β_2 を V_1，V_2，α_1，α_2，U を用いて示せ。ただし，羽根列の運動速度 U は以下の条件を満足する。

$$V_2 \cos\alpha_2 < U < V_1 \cos\alpha_1$$

Ⅱ　二次元流れ場における x および y 方向の速度成分 u および v が以下の通り与えられている。

$$u = Ax + By,\quad v = Cx + Dy,\quad \text{ここで } A,\ B,\ C,\ D \text{ は定数。}$$

次の（1）～（3）の問いについて答えよ。

（1）この流れが非圧縮性の場合，定数 A，B，C，D 間で成立する関係を求めよ。

（2）この流れが渦無しの場合，定数 A，B，C，D 間で成立する関係を求めよ。

（3）この流れ場が非圧縮性かつ渦無しの場合，流れの関数ψを求め，x，y，A，B を用いて示せ。

問題 11　熱力学　設問すべてについて解答すること。

理想的な基本ランキンサイクルについて考える。作動物質の質量流量は 1 kg/s とする。この基本ランキンサイクルは，次の可逆状態変化で構成される。

- 状態 1 → 状態 2：ポンプで可逆断熱圧縮し，飽和液を圧縮液にする。
- 状態 2 → 状態 3：ボイラで等圧加熱し，圧縮液を，湿り蒸気を経由させて乾き飽和蒸気にする。
- 状態 3 → 状態 4：タービンで可逆断熱膨張し，乾き飽和蒸気を湿り蒸気にする。
- 状態 4 → 状態 1：復水器で等圧冷却し，湿り蒸気を飽和液にする。

状態 3（タービン入口）の圧力は 10000 kPa，状態 4（タービン出口）における圧力は 10 kPa とする。また，このサイクルで用いる作動物質の比エンタルピー h [kJ/kg]および比エントロピー s [kJ/(kg・K)]の値は，表 1 に示す通りである。以降において，熱の符号は，熱が系に入る場合を正，出る場合を負とする。仕事の符号は，系が仕事をする場合を正，仕事をされる場合を負とする。

（1）　このサイクルの温度 – 比エントロピー（T - s）線図を描きなさい。ただし，T - s 線図中には，飽和液線，乾き飽和蒸気線，臨界点を図示するとともに，状態 1，2，3，4 がどこであるのかを明記しなさい。

（2）　状態 1 → 状態 2 における比体積の変化は無視できるものとする。このとき，単位時間あたりのポンプ仕事 L_p [kJ/s]を，状態 1 の比体積 v_1 [m^3/kg]，状態 1 の圧力 p_1 [kPa]，状態 2 の圧力 p_2 [kPa]のみを用いて示しなさい。

（3）　状態 2 → 状態 3 における作動物質の蒸発熱 r [kJ/kg]の値を有効数字 4 桁で求めなさい。

（4）　状態 4 の温度 T_4 [K]の値を有効数字 3 桁で求めなさい。

（5）　状態 4 の湿り蒸気の乾き度 x_4 を s_c'，s_c''，s_b'' のみを用いて示しなさい。また，x_4 の値を有効数字 2 桁で求めなさい。

（6）　状態 4 → 状態 1 における単位時間あたりの熱の出入り Q_c [kJ/s]の値を有効数字 4 桁で求めなさい。

（7）　ポンプ仕事は無視できるものとする。このサイクルの理論熱効率 η_b を h_c'，h_b''，状態 4 の比エンタルピー h_4 のみを用いて示しなさい。また，η_b の値を有効数字 2 桁で求めなさい。

（8）　基本ランキンサイクルの状態 3 → 状態 4 が，状態 3 → 状態 4' の不可逆断熱膨張過程となる不可逆ランキンサイクルを考える。状態 4' において，圧力は 10 kPa であり，作動物質は湿り蒸気である。状態 3 → 状態 4' の断熱効率を η_t とするとき，状態 4' の湿り蒸気の乾き度 $x_{4'}$ を η_t のみを用いて示しなさい。

（9）　基本ランキンサイクルにおいてボイラでの加熱量を増加させることで，タービン入口における作動物質の状態を過熱蒸気とする，過熱ランキンサイクルを考える。このとき，タービン入口，出口の状態を 5，6 とし，状態 5 → 状態 6 は可逆断熱膨張過程とする。また，状

態6において，圧力は10 kPaであり，作動物質は湿り蒸気である。状態5の比エンタルピー h_5および比エントロピー s_5の値は，表1に示す通りである。この過熱サイクルの理論熱効率η_sの値を有効数字2桁で求め，η_sがη_bより大きくなることを確認しなさい。なお，ポンプ仕事は無視できるものとする。

表1　作動物質の比エンタルピーと比エントロピー

	比エンタルピー [kJ/kg]	比エントロピー [kJ/(kg・K)]
飽和液（10 kPa）	$h_c' = 175.0$	$s_c' = 0.650$
飽和液（10000 kPa）	$h_b' = 1405$	$s_b' = 3.150$
乾き飽和蒸気（10 kPa）	$h_c'' = 2675$	$s_c'' = 8.150$
乾き飽和蒸気（10000 kPa）	$h_b'' = 2775$	$s_b'' = 5.450$
過熱蒸気（10000 kPa）	$h_5 = 3575$	$s_5 = 6.650$

問題 12　生産加工

I　次の（1）～（4）の問いについて答えよ。

（1）　鉛とスズの二元系状態図の模式図を描き，電気回路などに用いる，はんだの組成を模式図上に指示せよ。ただし，融点は，鉛のほうがスズより高い。

（2）鉄鋼材料において熱処理中の冷却速度を大きくする（拡散変態が起こる範囲内で）に従って熱処理後の引張試験時の降伏点が高くなった。この理由を説明せよ。

（3）図１の応力状態になったら降伏した剛塑性体の降伏点は何 MPa か，トレスカの降伏条件によって求めよ。ただし，z 面は自由面である。

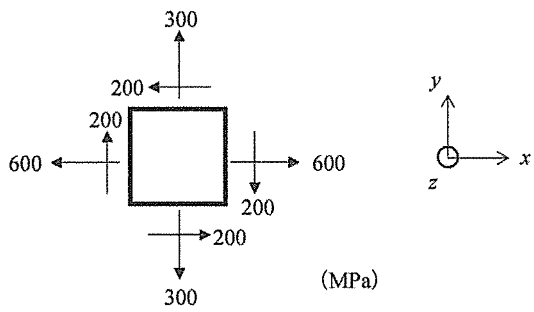

図 1

（4）上記問い（3）で，相当ひずみ増分は x 方向のひずみ増分の何倍になっているか計算せよ。

問題 13　制御工学　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　入力を $u(t)$，出力を $y(t)$ とする，あるシステムの時刻 $t \geq 0$ における微分方程式は次式で表せる。ただし，L は正の実数である。このシステムの伝達関数 $G(s)$ を答えよ。

$$\dot{y}(t) + y(t) = u(t-L), \qquad y(0) = 0$$

Ⅱ　図１のフィードバック制御系において，次の（１）～（４）の問いに答えよ。ただし，K と T は実数であり，t は時刻である。

（１）　入力を $r(t)$，出力を $y(t)$ とした伝達関数 $G_{yr}(s)$ と，入力を $r(t)$，出力を $u(t)$ とした伝達関数 $G_{ur}(s)$ をそれぞれ求めよ。

（２）　図１のフィードバック制御系が安定となる K と T の範囲を求めよ。

（３）　$T = 0$，$K = 12$, $r(t) = \sin 2t$ としたときの定常応答が $y(t) = A\sin(\omega t + \phi)$ となった。A, ω，ϕ をそれぞれ求めよ。

（４）　K と T は図１のフィードバック制御系が安定となる範囲とし，$r(t)$ として以下の信号を入力した。

$$r(t) = \begin{cases} 5t & (0 \leq t \leq 2) \\ 10 & (2 < t) \end{cases}$$

$r(t)$ をラプラス変換せよ。さらに，$y(t)$ の定常値を求めよ。

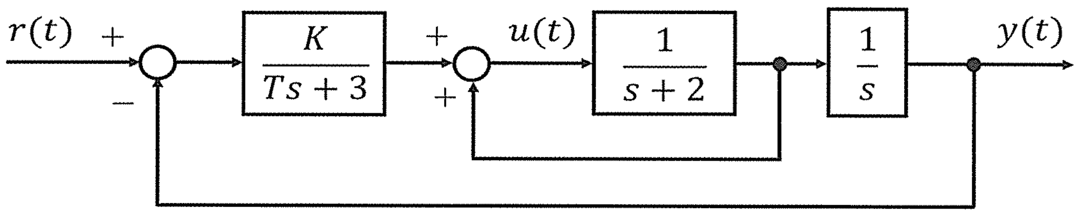

図１

Ⅲ　伝達関数 $G(s)$ は，極を3つ，零点を1つ持つとする。ただし，極および零点はすべて非正の実数であり，極零相殺は存在しないものとする。このとき，伝達関数 $G(s)$ のゲイン線図（折れ線近似）として不適当なものを図２の①～⑥から2つ選択せよ。なお，横軸は対数目盛であり，図示されていない折れ点周波数は存在しないものとする。

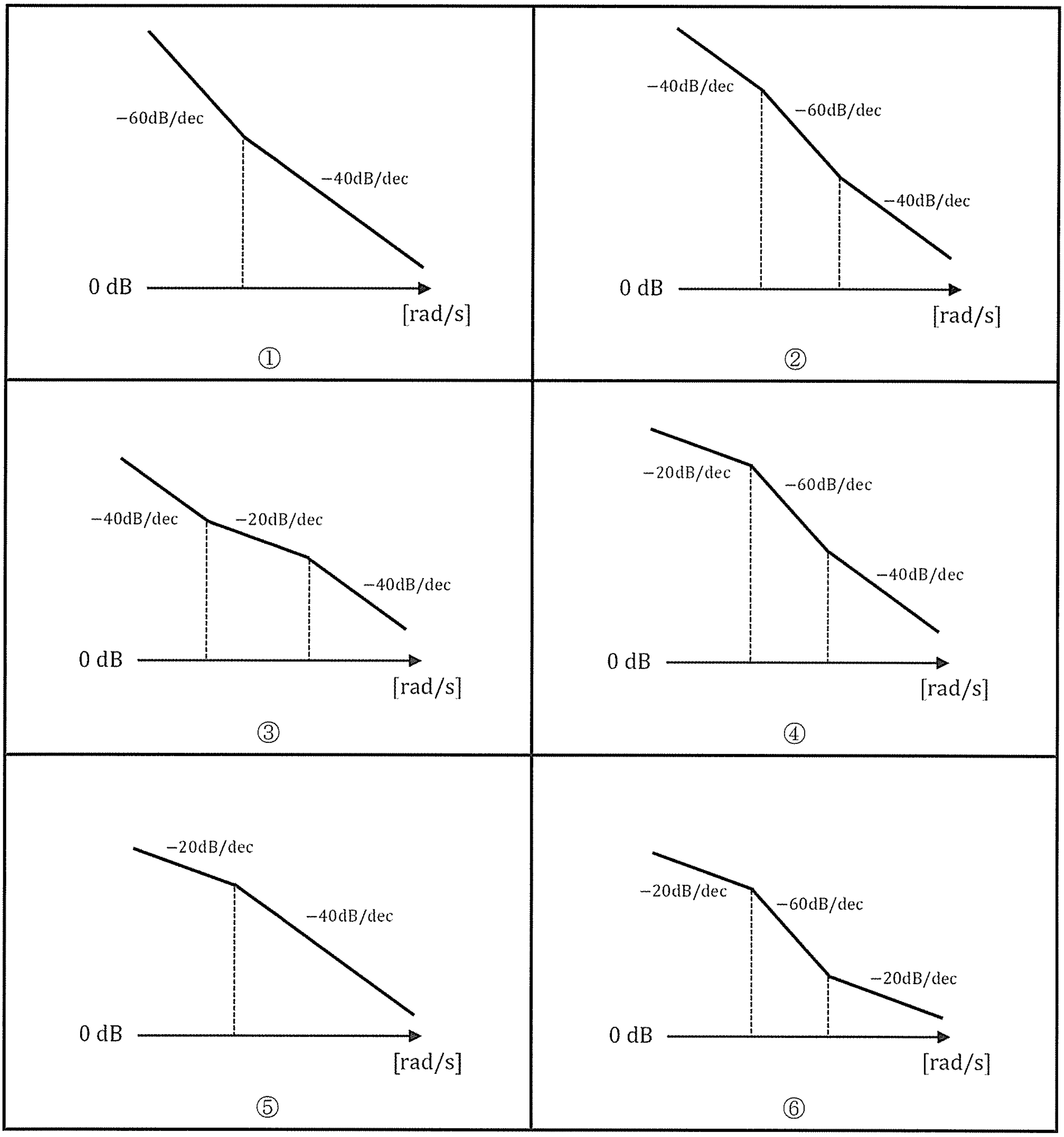

図２