

受験番号	
------	--

(受験番号を記入すること)

2022 年度

東京大学大学院工学系研究科

航空宇宙工学専攻 入学試験問題

専門科目 (午後)

時間： 13:30～16:30

注意事項

1. 試験開始の合図まで、この冊子を開かないこと。
2. 4科目中3科目を選択して解答すること。
3. 解答用紙3枚が渡されるので、1科目ごとに1枚の解答用紙を使用すること。
4. 解答用紙には、科目名及び受験番号を記入すること。
5. 解答用紙及び問題冊子は持ち帰らないこと。



## 流体力学（午後）

図1のように、はじめシリンダー内で静止していた熱量的完全気体があり、等速  $u_p$  でピストンを押して圧縮したところ、気体内に等速  $u_s$  で右に進む垂直衝撃波が発生した。ここで速度  $u_p$  および  $u_s$  は実験室系から見た値であり、また気体の比熱比を  $\gamma$  として以下の問いに答えよ。

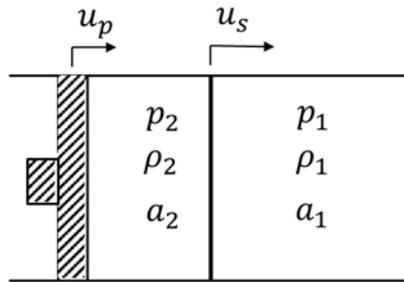


図 1

第 1 問 衝撃波静止系では一般に以下の 3 つの式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \rho_1 u_1 &= \rho_2 u_2 \\ p_1 + \rho_1 u_1^2 &= p_2 + \rho_2 u_2^2 \\ \frac{a_1^2}{\gamma - 1} + \frac{u_1^2}{2} &= \frac{a_2^2}{\gamma - 1} + \frac{u_2^2}{2} \end{aligned}$$

ただし、 $p_1$ ,  $\rho_1$ ,  $a_1$ ,  $u_1$  はそれぞれ衝撃波静止系で見たときの upstream 側の気体の圧力、密度、音速、速度であり、downstream での対応する物理量は添字 2 で表す。図 1 の系において、 $u_1$  と  $u_2$  をそれぞれ  $u_p$  と  $u_s$  を用いて表せ。

第 2 問  $\rho_2/\rho_1$  を  $p_2/p_1$  と  $\gamma$  のみを用いて表せ。

第 3 問 衝撃波マッハ数を  $M_s = u_s/a_1$ 、ピストンマッハ数を  $M_p = u_p/a_1$  とするとき、 $M_s$  を  $M_p$  と  $\gamma$  のみを用いて表せ。また、 $M_p$  を  $p_2/p_1$  と  $\gamma$  のみを用いて表せ。

第 4 問 衝撃波は右側の壁で反射した後、実験室系から見て左向きに等速  $u_r$  で進んだ。この時、衝撃波静止系から見た upstream と downstream の気体の速度をそれぞれ  $u_p$  と  $u_r$  を用いて表せ。

第 5 問 反射した衝撃波と右側の壁の間の気体の圧力を  $p_3$  とするとき、 $p_3/p_2$  を  $p_2/p_1$  と  $\gamma$  のみを用いて表せ。

## 固体力学（午後）

図1に示すように、2枚の金属板（母板）を突き合わせ、外側両面に同じ素材の金属板をあて、ボルト締結した継手構造がある。この構造に単位幅あたり  $P$  の引張荷重が作用する場合の静的な強度設計を考える。全幅は十分長いとして、以下の問いに答えよ。なお、ボルト径を  $d$ 、母板の厚みを  $t$ 、当て板の厚みを  $t_1$ 、ボルト間隔を  $b$  とし、与えられていない必要な用語や記号は各自定義の上で使用すること。

第1問 この金属板と同じ材質の板の単軸引張試験を実施した。試験片形状は厚みが2.0mm、平行部の幅が25mm、平行部長さが100mmであり、長手方向の伸びを計測する伸び計の標点間距離が80mmである。計測データ（伸び計の伸びと引張荷重）を表1に示す。この金属の引張弾性率と引張強さを求めよ。

第2問 この継手構造の破壊モードとして、母板の引張破壊、ボルトのせん断破壊を考える。これらの破壊モードについて簡易に説明すると共に、それぞれに対応した強度設計式を示せ。

第3問 第2問以外に考えられる破壊モードのうち3つを列挙し、その破壊モードを略図により説明せよ。

第4問 形状パラメータを  $t = 2.5\text{mm}$ 、 $t_1 = 1.5\text{mm}$ 、 $d = 6.0\text{mm}$  と設定した。ボルトのせん断強さが  $150\text{MPa}$  であるとき、第2問の結果から破壊時の  $P$  が最大となるボルト間隔  $b$  を決定せよ。

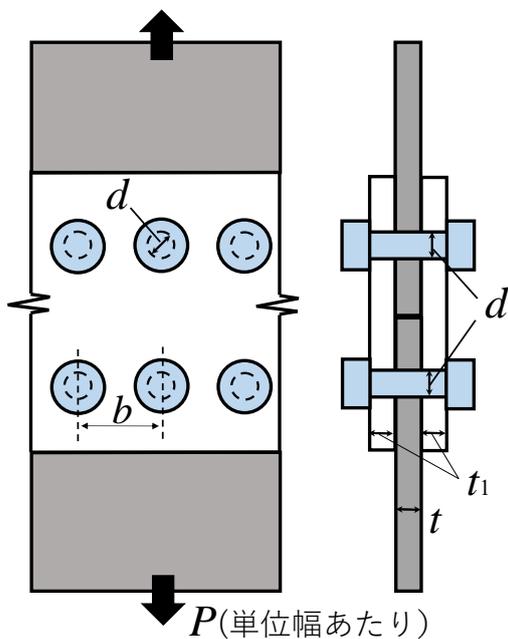


図1

表1

伸び [mm]	引張荷重 [N]
0.000	0
0.024	1007
0.048	2016
0.064	2838
0.080	3533
0.138	4424
0.278	5227
0.448	5665
0.640	5820
0.801	5928
1.696	5933
2.480	5933
3.288	5933
4.200	5933

## 航空宇宙システム学（午後）

図1に示すように，時刻 $t$ において，粘性減衰トルクを発生させる軸受（粘性減衰係数は $c$ ）で支えられた慣性モーメント $J$ の回転系に，トルク $\tau(t)$ が働く。回転の角速度を $\omega(t)$ とする。時刻 $t < 0$ において， $\omega(t)$ はゼロである。以下の設問に答えよ。

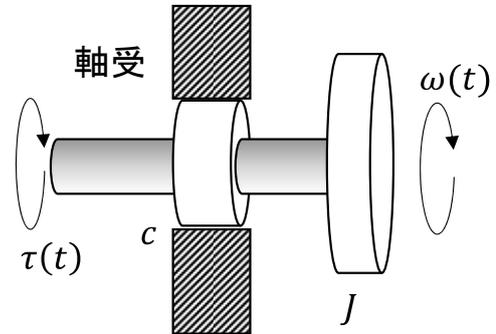


図 1

第1問 系の運動方程式を記せ。

第2問 トルクから角速度への伝達関数 $G(s)$ を求めよ。 $s$ はラプラス変換のパラメータで，トルクおよび角速度のラプラス変換をそれぞれ $T(s)$ ， $\Omega(s)$ とする。

第3問  $G(s)$ および  $sG(s)$ のベクトル軌跡を描け。

第4問 目標角速度との偏差をフィードバックして，角速度を比例制御する。比例制御のゲインを $K_p$ とするとき，目標値から出力までの伝達関数およびステップ応答を求めよ。

第5問 目標角速度との偏差をフィードバックして，角速度を積分制御する。積分制御のゲインを $K_I$ とするとき，目標値から出力までの伝達関数を求めよ。また，ステップ応答のグラフの概略を描け。さらに，トルクのラプラス変換 $T(s)$ を求めよ。

第6問 トルクを与えるためのモータを電圧で制御する。電圧，電流のラプラス変換をそれぞれ $E(s)$ ， $I(s)$ とするとき， $(Ls + R)I(s) = E(s) - K\Omega(s)$ および $T(s) = DI(s)$ の関係がある。ここで， $L, R, K, D$ は正の定数である。電圧から角速度への伝達関数を求めよ。

第7問 第6問において，目標角速度との偏差をフィードバックして，角速度を積分制御（ゲインは $K_I$ ）する。制御の安定性について議論せよ。

## 推進工学（午後）

図1の模式図および図2の  $T$ - $S$  線図で表される理想的な熱サイクル  $O \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow O$  (中間冷却ガスタービンサイクル) を考える。作動流体は、理想気体の状態方程式に従うものとし、作動流体の圧力を  $P$ 、絶対温度を  $T$ 、単位質量あたりのエントロピーを  $S$  と表す。また、定圧比熱  $C_P$ 、定積比熱  $C_V$  を共に定数とし、比熱比を  $\kappa = C_P/C_V$  と定義する。全ての状態変化は準静的であるとする。

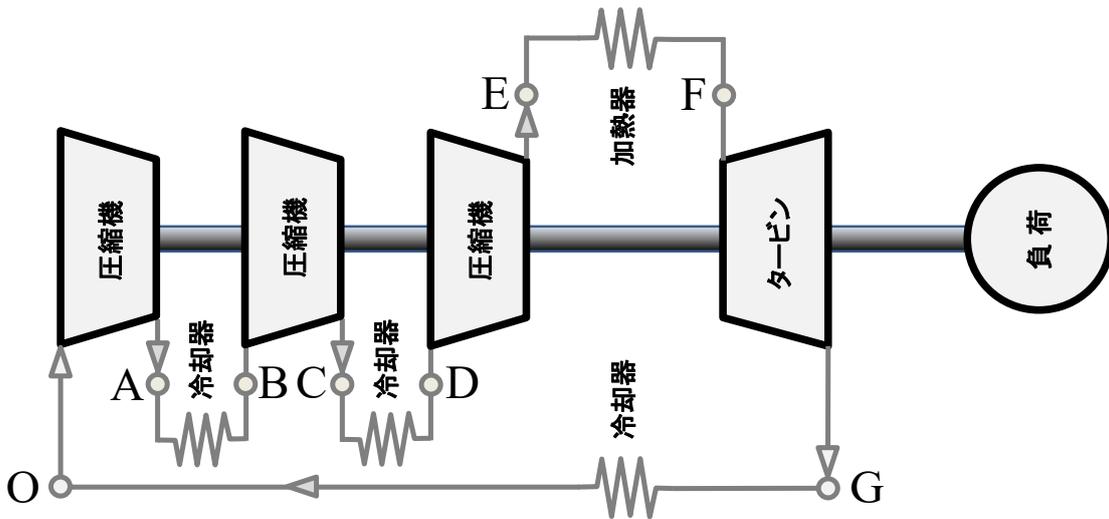


図 1

作動流体の  $P$  と  $T$  は、

状態  $O (P_O, T_O)$  から、断熱圧縮過程を経て、状態  $A (P_A, T_A)$  へ、  
 状態  $A (P_A, T_A)$  から、定圧冷却過程を経て、状態  $B (P_B, T_B)$  へ、  
 状態  $B (P_B, T_B)$  から、断熱圧縮過程を経て、状態  $C (P_C, T_C)$  へ、  
 状態  $C (P_C, T_C)$  から、定圧冷却過程を経て、状態  $D (P_D, T_D)$  へ、  
 状態  $D (P_D, T_D)$  から、断熱圧縮過程を経て、状態  $E (P_E, T_E)$  へ、  
 状態  $E (P_E, T_E)$  から、定圧加熱過程を経て、状態  $F (P_F, T_F)$  へ、  
 状態  $F (P_F, T_F)$  から、断熱膨張過程を経て、状態  $G (P_G, T_G)$  へ、  
 状態  $G (P_G, T_G)$  から、定圧冷却過程を経て、状態  $O (P_O, T_O)$  へ変化する。

ただし、 $P_F = P_E \geq P_D = P_C \geq P_B = P_A \geq P_O = P_G$  である。また、行程  $A \rightarrow B$  と行程  $C \rightarrow D$  (中間冷却過程) では理想的な熱交換が行われるとして  $T_O = T_B = T_D$  とする。サイクル最高最低温度比を  $\theta = T_F/T_O$ 、全体圧力比を  $\pi = P_E/P_O$ 、行程  $O \rightarrow A$  と行程  $B \rightarrow C$  における温度比をそれぞれ  $\alpha = T_A/T_O$ 、 $\beta = T_C/T_B$  とする。以下の問いに答えよ。

(次ページへ続く)

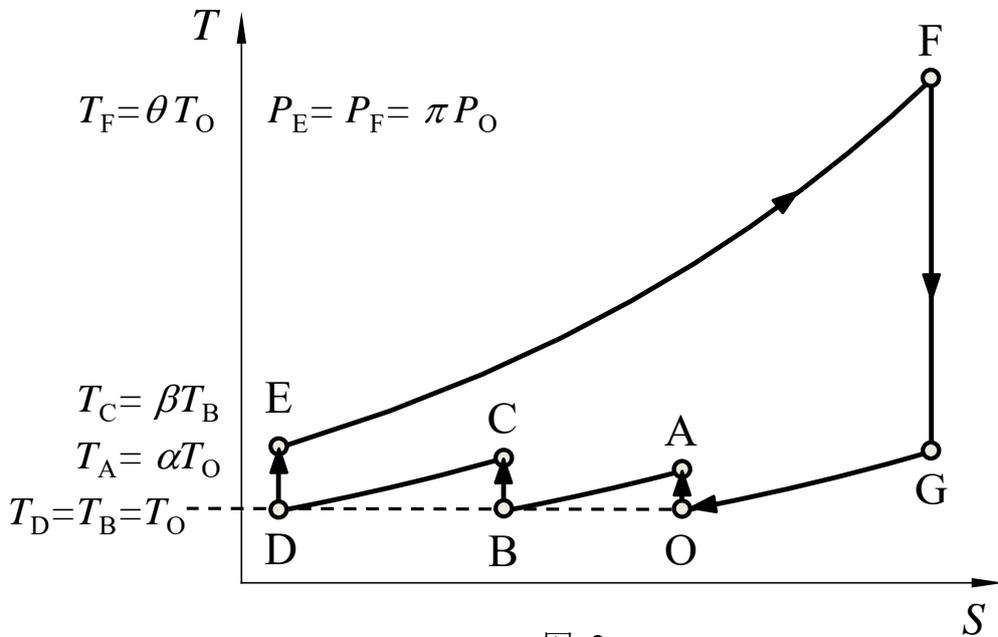


図 2

第1問  $P_A$  を,  $P_0, \kappa, \alpha$  を用いて表せ。

第2問  $T_E$  を,  $T_0, \kappa, \alpha, \beta, \pi$  を用いて表せ。

第3問  $T_G$  を,  $T_0, \kappa, \theta, \pi$  を用いて表せ。

このサイクルの, 比出力(単位質量の作動流体が 1 サイクルあたりにする仕事)を  $W$ , 熱効率を  $\eta$  と表す。

第4問  $W$  を,  $C_p, T_0, \kappa, \theta, \alpha, \beta, \pi$  を用いて表せ。

第5問  $T_0$  と  $\theta$  を固定したとき,  $W$  を最大にする  $\alpha, \beta, \pi$  を求め,  $\alpha, \beta, \pi$  を  $\kappa$  と  $\theta$  を用いてそれぞれ表せ。また, その時の  $W$  を,  $C_p, T_0, \theta$  を用いて表せ。

第6問  $W$  が最大となるときの  $\eta$  を  $\theta$  を用いて表せ。

