回覧

平成２５年度機械工学専攻

大学院修士課程入学試験問題

「機械工学」（第１部）

試験日時：平成２４年８月２８日（火）　９：００～１１：００

注意事項

1．試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開かないこと．
2．問題は問題１から問題２まである．全問に解答すること．
3．問題の落丁，乱丁，あるいは印刷不鮮明な箇所があれば申し出ること．
4．答案用紙は２枚配付される．枚数を確認し，過不足があれば申し出ること．
5．１問ごとに１枚の答案用紙を用いて解答すること．解答を表面で書ききれない時は，裏面にわたってもよい．なお，それでも解答するスペースが不足する場合は答案用紙を与えるので申し出ること．
6．答案用紙の指定された箇所に，自分の受験番号，その答案用紙で解答する問題番号を記入すること．記入もれの場合は採点されないことがある．なお，科目名欄には「機械工学（第１部）」と記入すること．答案用紙の右端にある「枚／枚中」については，答案用紙を追加しない場合は空欄のままでよい．但し答案用紙を追加した場合は，問題ごとの枚数を記載する．
7．解答に関係のない記号や符号を記入した答案は無効となることがある．
8．答案用紙は，解答ができなかった分も含め，全てを提出すること．
9．下書き用紙は２枚配付される．左上に自分の受験番号を記入すること．
10．下書き用紙は，使用しなかった分も含め，２枚全部を提出すること．
11．問題冊子は持ち帰ってよい．

問題　1

下記のⅠ，Ⅱの両方について解答せよ．

I. 図 1-1 に示すような，ノズル内で加速する気体の流れを考える．入口において気体の密度，圧力，比内部エネルギー，速度はそれぞれ，ρ_1，p_1，u_1，V_1であり，出口においてはそれぞれ，ρ_2，p_2，u_2，V_2であるとする．ノズルの壁は断熱されており，また，流れ方向の熱伝導や重力によるポテンシャル・エネルギーは無視できるものとする．以下の設問に答えよ．

(1) エネルギー保存則を用いて，ρ_1，p_1，u_1，V_1とρ_2，p_2，u_2，V_2との間に成り立つ関係式を求めよ．また，その関係式から入口から出口の間の，単位質量当りの気体の運動エネルギーの増加量を求めよ．

(2) まず，気体が非圧縮性流体であり，損失は発生しないものとする．入口から出口の間の，単位質量当りの気体の運動エネルギーの増加量をρ_1，p_1，u_1とρ_2，p_2，u_2の中から必要なものを用いて表せ．

(3) 次に，気体が圧縮性流体であり，図 1-2 の$T-s$ 線図上で①に示すように，等エントロピー膨張をしたとする．ここに，Tは温度であり，sは比エントロピーである．図 1-1 に示すような，気体と共に移動する微小な検査体積において，気体の圧力p，比内部エネルギーu，ならびに比体積vの微小変化を考える．この検査体積にエネルギー保存則を適用することにより，これらの間には，

$$\mathrm{d}u + p\mathrm{d}v = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\text{(a)}$$

という関係が成り立つ．ノズル内の膨張過程において気体の運動エネルギーが増加する理由を設問(1)の結果と式(a)を用いて説明せよ．

(4) 気体を比熱ならびに比熱比が一定である理想気体であると仮定すると，上記の式(a)を用いて，入口と出口の圧力と温度との間に以下の式(b)が成り立つことを証明せよ．

$$\frac{T_2}{T_1} = \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad \cdots\cdots\cdots\text{(b)}$$

ただし，$\pi \equiv \dfrac{p_2}{p_1}$ は圧力比，また，κ は比熱比であり，T_1，T_2はそれぞれ，入口，出口における温度を表す．導出の過程で比熱比以外の物性値等が必要となる場合は適宜定義せよ．

(5) 上記の式(b)を用いて，単位質量当りの気体の入口，出口間における内部エネルギーの減少量と運動エネルギーの増加量をT_1，π，κ，c_v，c_pから必要なものを用いて求めよ．ただし，c_v，c_pはそれぞれ定積比熱，定圧比熱を表す．

(6) ノズル内で気体が損失を伴わずに加速されている系を考える．気体が非圧縮性の場合と圧縮性の場合とを比較する．ノズル入口と出口における単位質量当たりの気体が受ける押し込み仕事の差が等しい場合，単位質量当たりの気体の運動エネルギーの増加量が大きいのはどちらの気体か．また，その理由を説明せよ．

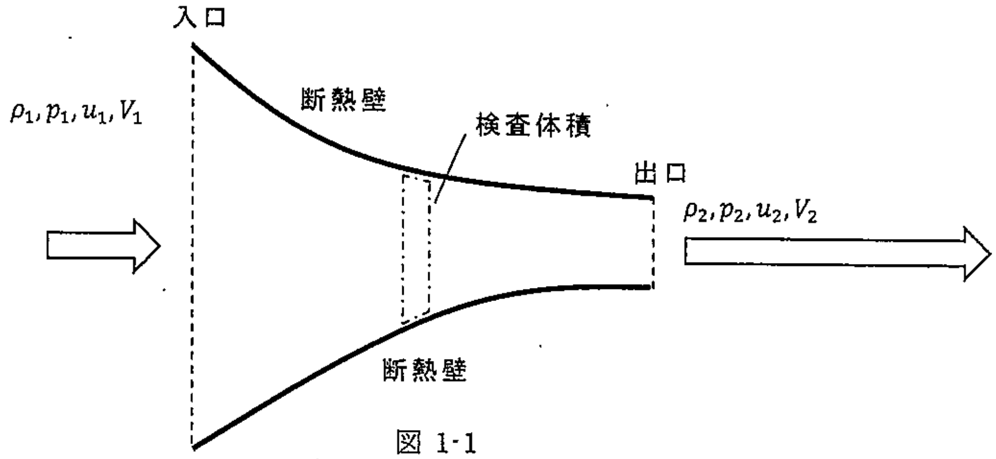

図 1-1

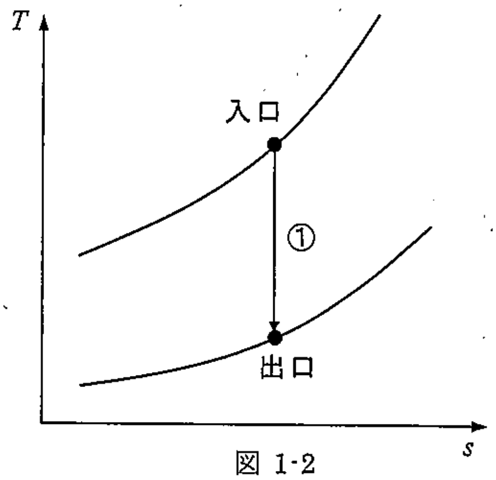

図 1-2

II. 図 1-3 に示すように，表面温度がそれぞれ T_h と T_w の発熱体と壁が対向して置かれ，壁に設置されたフィンに温度 T_∞の空気が吹きつけられている．ここで，T_h と T_∞は一定とする．発熱体から壁への伝熱としては無限平板間を仮定した熱放射のみを考慮すれば良く，系全体は熱的に定常状態にある．なお，発熱体，壁，フィン群の幅を W，奥行きを L とする．また，フィンからの熱伝達は強制対流（層流）のみによって生じ，フィンの間隔 S はフィン表面に発達する境界層の厚さより十分に大きいとする．ここで，フィンの底面（黒く塗り潰されている面）や上端の影響は無視できる．加えて，フィンの熱伝導率は大きく，その温度 T_f は場所によらず一様とする．ステファン・ボルツマン定数を σ とする．

(1) 図 1-4 に(A)発熱体と壁の間の熱放射と，(B)壁の熱伝導およびフィンの熱伝達の一次元等価回路を示す．ここで，Q は単位時間当たりに通過する熱量である．なお，(A)の熱放射の場合は，σT^4 を電位に対応させる．また，図 1-3 に示すように，壁の厚さ，フィンの高さ，フィンの幅はそれぞれ H_w，H_f，S とする．さらに，壁の熱伝導率を λ とする．発熱体と壁は黒体とみなして以下の設問に答えよ．

(a) 等価回路の抵抗 R_1，R_2，R_3 をそれぞれ求めよ．なお，フィン表面からの平均熱伝達率を $\bar{h}$ とする．

(b) T_w を R_1，R_2，R_3，T_h，T_∞，σ を用いて表せ．ただし，$T_h^4 >> T_w^4$ とする．

(c) フィン間の主流速度が U_0 のとき R_2 と R_3 が等しくなるとする．主流速度を 4 U_0 にした場合，壁と空気の温度差$(T_w - T_\infty)$が何倍になるか求めよ．ただし，$T_h^4 >> T_w^4$ とする．

(2) 発熱体と壁がそれぞれ射出率 ε_h と ε_w の灰色面である時の等価回路を図 1-5 に示す．なお，図中の G_h と G_w は発熱体と壁の射度であり，G_h は $\left\{\varepsilon_h \sigma T_h^4 + (1-\varepsilon_h) G_w\right\}$で与えられる．

(a) 等価回路の抵抗 R_4，R_5，R_6 を求めよ．

(b) 射出率を一定量 $\Delta\varepsilon$ だけ下げることのできる反射塗料を，発熱体と壁のいずれかに塗布することで，壁の温度をできるだけ低くし

たい．そのためには発熱体と壁のどちらに塗布するのが良いか，理由とともに答えよ．

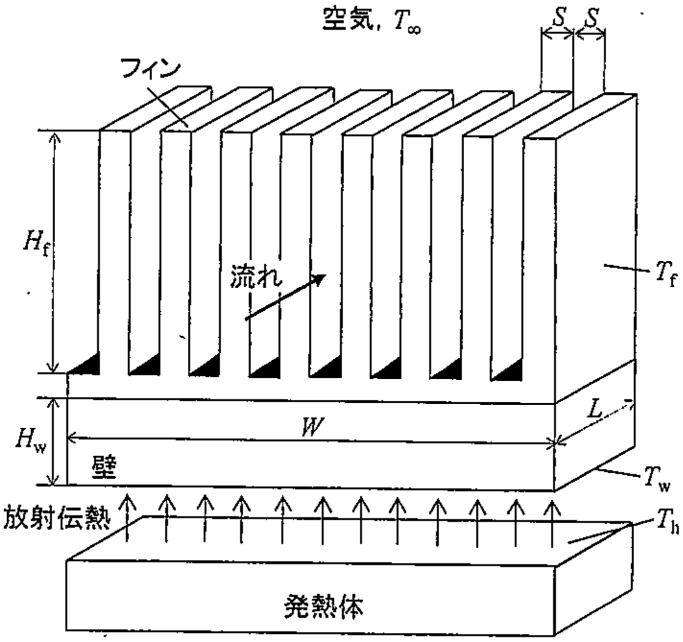

図 1-3

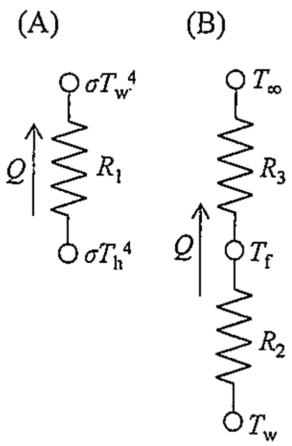

図 1-4

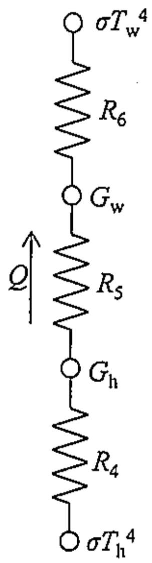

図 1-5

問題　2

下記の I, II の両方について解答せよ．なお，I, II の両方の設問に関して，重力と流体の圧縮性の影響は無視してよい．

I.　図 2-1 に示すような分岐部を持つ円管から大気中に液体が流出している系を考える．図に示すように，管 1 は分岐部で，図中 x 方向に対して，x-y 平面内で角度α傾いた２つの管（管２，管３）に分岐する．液体の密度をρとする．管１の流入部の圧力は，ゲージ圧で p_1 となっている．管 1～３の断面積をそれぞれ A_1，A_2，A_3 とする．損失の影響を無視して，以下の設問に答えよ．

(1) 管１の流入部における流速 u_1 を求めよ．

(2) 図 2-1 に示された分岐管にかかる x 方向の力 F_x を求めよ．

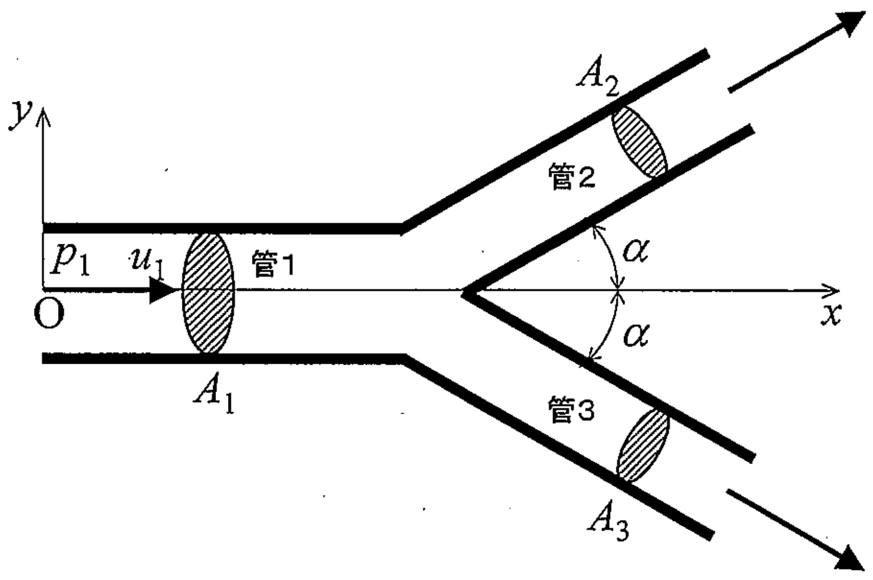

図 2-1

II. 非圧縮性ニュートン流体に関する以下の設問に答えよ．ただし，流体の粘性係数をμとする．

(1) 単一のまっすぐの円管内の流れを考える．流れを層流とし，十分発達した定常状態にあるとする．このとき，図 2-2 に示すように，半径r，長さΔxの円柱型の検査体積を考える．この検査体積に作用する圧力p_a，p_bとせん断応力τの関係を，検査体積に運動量法則を適用することにより求めよ．

(2) 設問(1)において，半径rの位置の検査面に働くせん断応力τは，円管内の流速分布$u(r)$を用いて，次式で与えられる．

$$\tau = \mu \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}r}$$

円管の半径をRとして，$u(r)$を p_a，p_b，r，R，μ，Δx により表せ．

(3) 設問(2)で求めた結果を利用して，円管を流れる流量Qを求めよ．

次に，設問 I の分岐管に関して，分岐部前後の管摩擦損失の影響が無視できない場合を考える．ただし，ここでは，分岐後の管 2，管 3 の長さは等しいとする．図 2-3 に示すように，分岐部のx座標をx_B，管端のx座標をx_Tとする．図に示すように位置x_Tにおいて，x軸から距離hだけ離れた位置で，液体は流出しているとする．すなわち，管 2，管 3 の長さは，$\sqrt{h^2+(x_T-x_B)^2}$で与えられるとする．管 1～3 の管内の流れについて，十分発達した定常状態における層流の速度分布を仮定し，分岐部での損失は無視して，以下の設問に答えよ．

(4) 管 1 の流入部の圧力p_1を，管 1 への流入流量Q_1を用いて表せ．

(5) 図 2-3 において，管 2 と管 3 の断面積が等しい場合を考える（$A_2 = A_3 \equiv S$）．また，$A_1 > 2S$とする．このとき，管 1 の流入部，管 2，管 3 の流出部の位置を固定したまま，分岐位置を変化させることを考える．図 2-3 に示した部分における圧力損失を最小にする分岐点のx座標x_Bを求めよ．

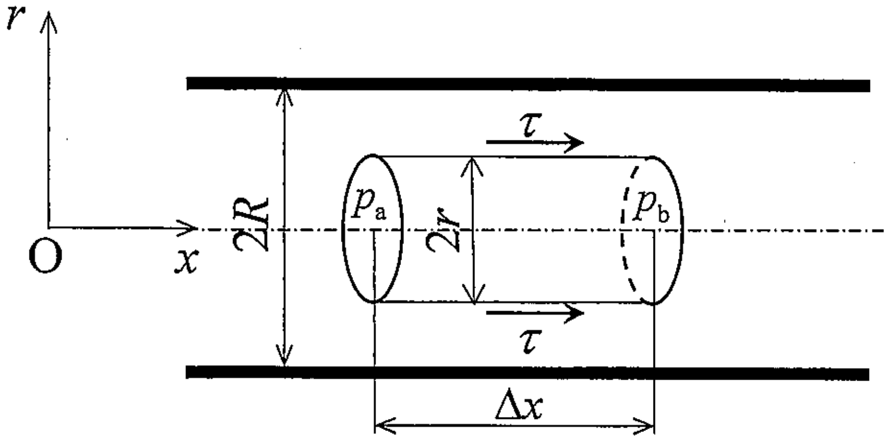

図 2-2

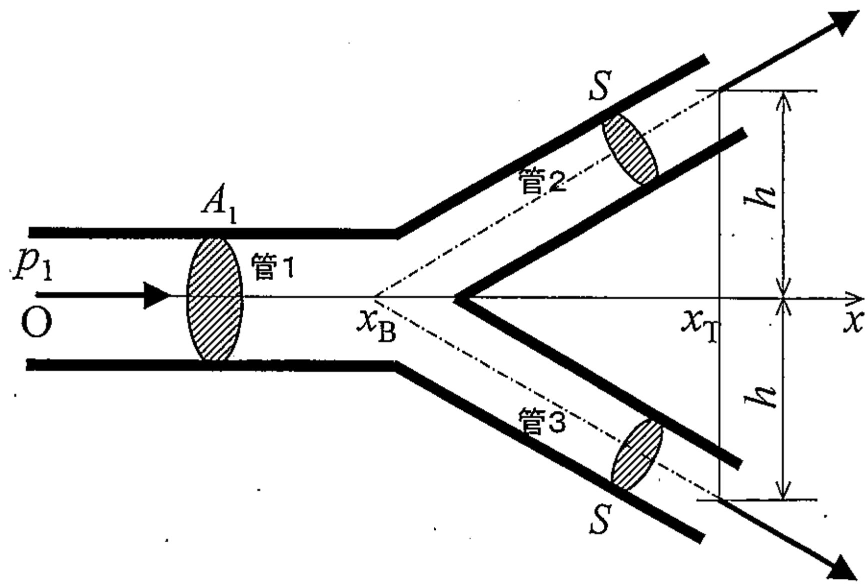

図 2-3