

化学工学 I 最終試験 (実施日: 2008/1/16)

水曜 3 限、担当: 山口由岐夫

制限時間 80 分 (13:10~14:30)

持ち込み禁止、関数電卓のみ使用可。学科、学籍番号、名前を忘れずに記入すること。

1 5 点 × 3 = 15 点

以下の物性値の単位を [m], [kg], [s], [mol] のみを用いて答えよ。

- (a) 拡散係数  $D$       (b) 粘度  $\mu$       (c) ガス側物質移動係数  $k_g$

2 5 点 × 3 = 15 点

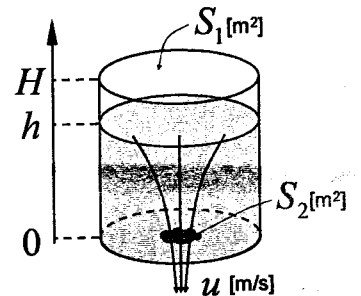
以下の無次元数を次に与えた文字のみを用いて答えよ。

線速  $u$ 、粘度  $\mu$ 、密度  $\rho$ 、拡散係数  $D$ 、代表長さ  $L$ 、物質移動係数  $k$

- (a) レイノルズ数  $Re$       (b) シャーウッド数  $Sh$       (c) シュミット数  $Sc$

3 5 点 × 5 = 25 点

右図に示すように、底面積  $S_1$  [m<sup>2</sup>] の円筒状のお風呂に水が満たされているとする。お風呂の底面中央には面積  $S_2$  [m<sup>2</sup>] の栓があり、時刻  $t=0$  [sec] で栓を開け、水を抜き始めた。水は完全流体とする。



問1. 完全流体とはどのような流体か。

問2. (水面高さの減少量) × 底面積 = 流出量という関係をもとに、流体のマスバランス式を立てよ。任意の時刻  $t$  [sec] における水面高さを  $h$  [m]、流出量を  $u$  [m · s<sup>-1</sup>] とする。

問3. 完全流体についてはベルヌーイの法則が成立し、重力項を含めて配管抵抗を無視することによって以下の式が成立する。  $g$  [m · s<sup>-2</sup>] は重力加速度である。

$$\frac{1}{2}u^2 = gh \quad \dots(1)$$

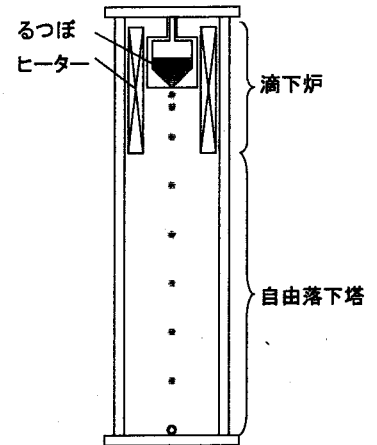
(1)式と問2のマスバランス式から、 $h$ の時間変化に関する微分方程式を立てよ。

問4. 水面の初期高さを  $H$  として微分方程式を解き、すべての水が抜けるまでの時間を、 $S_1, S_2, g, H$  を用いて表せ。

問5.  $S_1 = 5.0 \times 10^{-1}$  [m<sup>2</sup>]、 $H = 5.0 \times 10^{-1}$  [m]、 $g = 9.8$  [m · s<sup>-2</sup>] とする。栓の面積  $S_2$  が  $9.0$  [cm<sup>2</sup>]、 $1.6 \times 10^1$  [cm<sup>2</sup>] の2種類について、水が抜けるまでの時間をそれぞれ求めよ。有効数字は2桁とする。

4 5点×7=35点

右図のような太陽電池用球状 Si 製造塔を考える。上部の滴下炉内で Si を熔融させ滴下する。表面張力によって熔融した Si は球状になり、落下しながら冷却される。滴下炉内で球状 Si は終端速度  $v_t$  に達し、自由落下塔内では速度  $v$  は一定である。Si の熱伝達は十分に速く、球状 Si 内には温度分布が無いとする。自由落下塔内の空気温度も一定である。また、放射伝熱は無視する。



球状 Si の流体抵抗力は下式で与えられる。

$$\pi R^2 f \left( \frac{1}{2} \rho_{air} v^2 \right), \quad f = \frac{10}{\sqrt{Re}}$$

このとき以下の問に答えよ。なお、本問で使用する物性値は表に与えてある。数値計算に関しては有効数字 3 桁で答えよ。

- 問1. 球状 Si の運動方程式を文中や表で与えられた文字のみを用いて記述せよ。
- 問2. 球状 Si の終端速度  $v_t$  [ $m \cdot s^{-1}$ ] と与えられた文字のみを用いて表せ。
- 問3. プラントル数  $Pr$  と、終端速度における粒子レイノルズ数  $Re$  を数値として求めよ。

$T_{air}$	自由落下塔内空気温度	$2.98 \times 10^2$ [K]
$T_0$	球状 Si 初期温度	$1.60 \times 10^3$ [K]
$\rho_{air}$	空気密度	$1.20 \times 10^0$ [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$\rho_{Si}$	Si 密度	$2.33 \times 10^3$ [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$R$	Si 粒子半径	$5.00 \times 10^{-4}$ [m]
$C_{Si}$	Si 比熱	$7.40 \times 10^2$ [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$g$	重力加速度	$9.81 \times 10^0$ [ $m \cdot s^{-2}$ ]
$C_{Air}$	空気比熱	$1.00 \times 10^3$ [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$\kappa_{air}$	空気熱伝導度	$2.44 \times 10^{-2}$ [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$\mu_{air}$	空気粘度	$1.80 \times 10^{-5}$ [Pa·s]
$L$	自由落下塔高さ	$1.20 \times 10^1$ [m]

- 問4. 終端速度における、伝熱係数  $h$  を数値として求めよ。ただし、ヌッセルト数は下式で定義する。

$$Nu = 2.0 + 0.6 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

- 問5. 自由落下塔に入った瞬間を  $t = 0$  [s] とし、冷却過程における球状 Si に関するエネルギー収支式を導出せよ。
- 問6. 任意時間  $t$  [s] における、球状 Si の温度  $T$  [K] を求めよ。  $t = 0$  [s] での温度は  $T_0$  とする。
- 問7. 自由落下塔底面に到達したときの、球状 Si の温度 [K] を求めよ。

5 10点

化学工学 I で習った「境界膜」、「律速」の内いずれかの概念を使って説明できる身近な現象を選び、現象と理由の概要を論理的に記せ。定性的な説明で構わない。

試験に関する質問は TA 奥(koku@chemsys.t.u.tokyo.ac.jp)まで。