

## 化学工学

【問1】以下の文章を読み、設問1)～4)に答えよ。

ある流体が図1に示すような管路を流れている。入口1（高さ $Z_1$ ）での流体1 kgあたりの内部エネルギーを $U_1[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$ 、比容積を $v_1[\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}]$ 、平均流速を $\bar{u}_1[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ 、圧力を $P_1[\text{Pa}]$ とし、出口2（高さ $Z_2$ ）での内部エネルギー、比容積、平均流速、圧力をそれぞれ $U_2[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$ 、 $v_2[\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}]$ 、 $\bar{u}_2[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ 、 $P_2[\text{Pa}]$ とする。

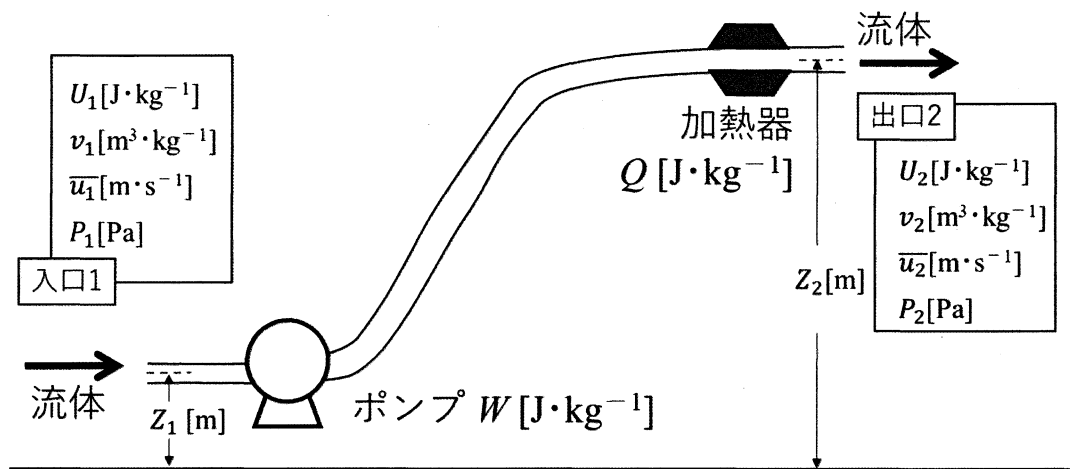


図1 管路を流れる流体の概略図

また、管路を流れる過程でポンプおよび加熱器により外界から与えられる流体1 kgあたりの仕事と熱をそれぞれ $W[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$ と $Q[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$ とする。機械的エネルギー損失が無視できる場合、流体1 kgあたりのエネルギー収支式は、重力加速度の大きさを $g[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ とし入口1と出口2について整理すると、式(1)のように表すことができる。

$$gZ_1 + \frac{\bar{u}_1^2}{2} + P_1 v_1 + U_1 + W + Q = \boxed{\text{ア}} \quad (1)$$

一方、入口1から出口2まで流れる過程で流体の機械的エネルギーの一部が内部摩擦などによって熱エネルギーに変化する。この摩擦に伴う損失エネルギー（摩擦損失エネルギー）を $F[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$ とすると、式(1)は、熱力学第一法則から、次のように表すことができる。

$$gZ_1 + \frac{\bar{u}_1^2}{2} + W = gZ_2 + \frac{\bar{u}_2^2}{2} + \boxed{\text{イ}} + F \quad (2)$$

式(2)は機械的エネルギー収支式と呼ばれる。管路を流れる流体が水のような非圧縮性の場合、流体の密度 $\rho[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ を一定と見なすことができるので、外界から与えられる仕事 $W$ は式(3)で表すことができる。

$$W = g(Z_2 - Z_1) + \boxed{\text{ウ}} + F \quad (3)$$

式(3)を用いると流体1 kgを輸送するのに必要な仕事 $W[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$ を求めることができる。

- 1) 式(1)中の空欄  にあてはまる適切な文字式を答えよ。  
 2) 式(2)中の空欄  にあてはまる適切な文字式を、次の解答群から選んで答えよ。

①  $\int_{v_1}^{v_2} P dv$       ②  $-\int_{v_1}^{v_2} P dv$       ③  $\int_{P_1}^{P_2} v dP$       ④  $-\int_{P_1}^{P_2} v dP$

- 3) 式(3)中の空欄  にあてはまる適切な文字式を答えよ。  
 4) 大気開放された水槽 A と B が、図 2 のように設置されている。内径 40.0 cm の配管とポンプを使って、水槽 A に大量に貯められた水（流体）を、高さ 5.00 m に設置された出口（水槽 B）まで体積流量  $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  で汲み上げたい。この汲み上げ過程における摩擦損失エネルギーは、 $5.00 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  であった。水槽 A の貯水面積は十分に大きく、水を汲み上げても水槽 A の水面は低下しないと見なしてよい。また、高低差 5.00 m による気圧差は無視できるものとする。この汲み上げ過程において配管を流れる水の平均流速  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$  と、ポンプが水  $1.00 \text{ kg}$  に与えなければならない仕事  $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$  をそれぞれ有効数字 3 桁で求めよ。ただし、重力加速度の大きさは  $9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  として計算せよ。

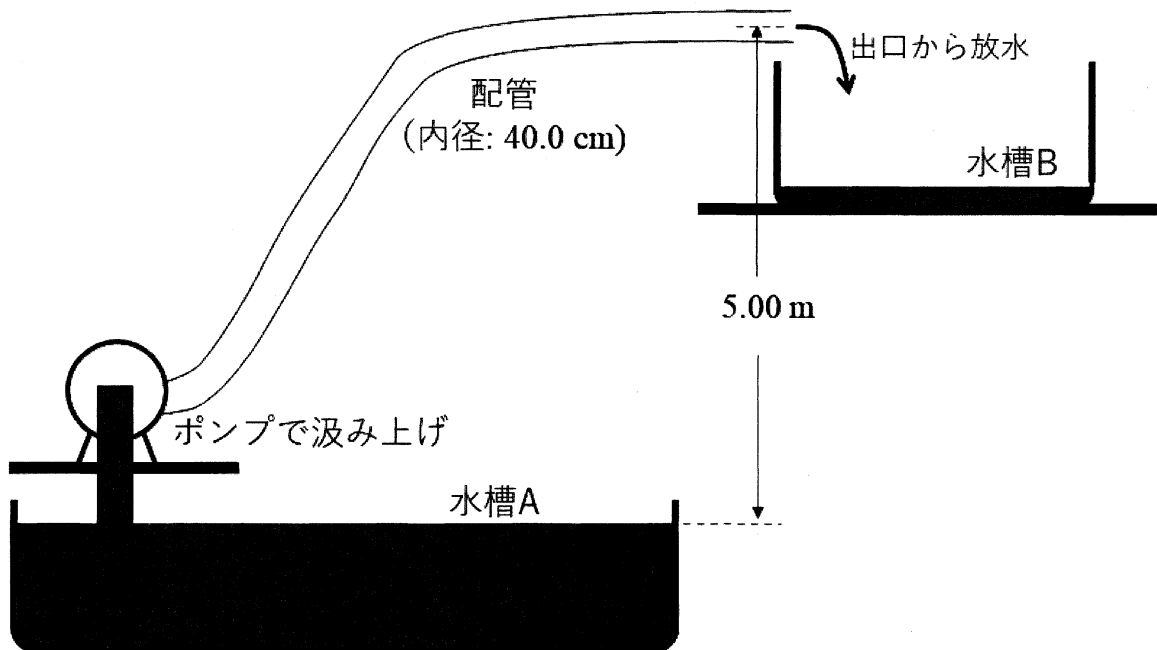


図 2 ポンプを利用した水の汲み上げ過程の概略図

【問2】 伝熱と調湿に関する以下の文章を読み、設問1), 2) に答えよ。

温度を測定する場合には、 効果を利用する熱電対が広く用いられている。熱電対は裸線のまま用いられることもあるが、耐食性の金属製や磁製の保護管などで先端の測温部周辺を封印し、気体や液体に直接触れないようにして使用する場合が多い。

図3に示す加熱炉がある。炉内のガスの温度  $T_g$  [K] と内壁面の温度  $T_w$  [K] は、それぞれ場所によらず一様と見なせるものとする。ガスの温度を測定するために、炉内に磁製保護管で覆われた熱電対を吊り下げて設置した。炉内にはバーナーによる穏やかな気流が生じており、また熱電対を通しての熱損失はないものとする。ここで炉内の熱平衡状態を仮定すると、熱電対の測温部の示す温度  $T_t$  [K] は、対流と熱放射による伝熱によって決定される。まず、測温部の熱伝達係数を  $h$ 、表面積を  $A_t$  とすれば、周囲気流により測温部に伝達される対流伝熱量  $Q_c$  は、

$$Q_c = \text{イ} \quad (1)$$

となる。続いて熱放射について考える。ここで炉の内壁面は黒体と見なすことができ、炉の内容積は測温部の大きさに対して十分に大きく、ガスの関与する熱放射は無視できるものとする。測温部の磁製保護管の放射率を  $\epsilon_t$ 、ステファン・ボルツマン定数を  $\sigma$  とすると、測温部から炉壁に伝達される伝熱量  $Q_r$  は、

$$Q_r = \text{ウ} \quad (2)$$

と表される。 $Q_c$  と  $Q_r$  は熱平衡状態では相等しいため、式(1)と式(2)よりガスの温度  $T_g$  は

$$T_g = \text{エ} \quad (3)$$

と表される。式(3)より、高温下では放射伝熱が支配的であり、熱電対の測温部の指示する温度と真のガス温度には大きな温度差が生じ得ることがわかる。この温度差を減少させるためには、測定時に \_\_\_\_\_ することなどが有効である。これらを目的として

温度計が市販されている。

調湿(空気調和)の分野では、湿度を測定する方法として乾湿球湿度計が利用される。正確な湿度を測定するためには、 温度の原理より、 \_\_\_\_\_ することが有効であるのは、上記の炉内ガス温度の正確な測定の場合と同様である。

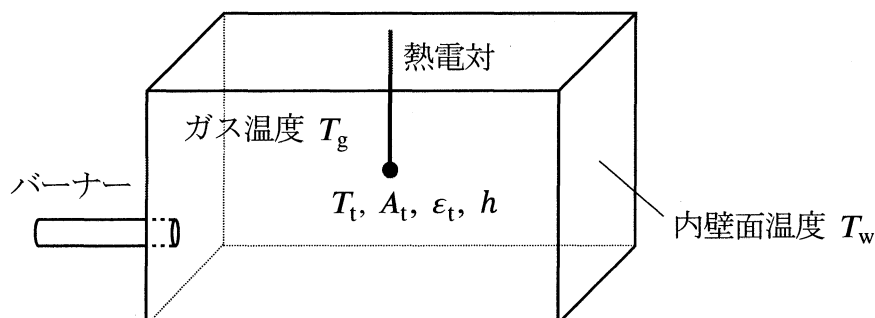


図3 加熱炉内のガス温度計測の模式図

- 1) 文章中の空欄  ~  に当てはまる適切な語句または文字式を答えよ。
- 2) 文章中の二カ所の下線部に共通して入れるべき、有効な手段をふたつ答えよ。