

(問1) 25℃の部屋に設置された厚さ 5.00 mm の窓ガラス (熱伝導度 0.750 W/m・K) から伝熱により熱損失がある。部屋側の窓ガラスの表面温度が 25℃、外側が 5℃であった。この窓ガラスの部屋側に熱伝導度 0.0500 W/m・K の断熱材を張り付けて熱損失を 50 分の 1 にしたい。何 cm の断熱材を張り付ければいいのか。ただし、伝熱以外の熱損失はないものとする。また張り付けた断熱材の部屋側の表面温度は 25℃になる。(配点 15 点)

本問は、熱移動の基本原則である「フーリエの法則 (熱伝導)」の理解度と、直列に組み合わされた複数の抵抗体における定常状態の計算能力を問うものです。単なる公式の暗記ではなく、現象を数理モデルとして捉え、工学的に設計 (この場合は断熱材の厚さを決定) する基礎的な思考力を評価します。

径 30 mm 外径 40 mm の鋼管 ($k=46.5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) の内部を流れるアルコールを管外から水で冷却する伝熱装置がある。管内アルコール側、管外水側の境膜伝熱係数をそれぞれ 1000, 2000 W/(m²・K) とする。総括伝熱係数については以下の式を適宜使ってもよい。

$$\frac{1}{U_1} = \frac{1}{h_1} + \frac{x A_1}{k A_{lm}} + \frac{A_1}{h_2 A_2} + \frac{1}{h_{s1}} + \frac{A_1}{h_{s2} A_2}$$

本問は、化学プラントなどで多用される二重管式熱交換器などの設計・運用を念頭に、円管壁を通した伝熱計算の基本を理解しているかを問うものです。平板とは異なる円管特有の幾何学的形状 (内面積と外面積の違い) を考慮した「総括伝熱係数」の概念、および実際の操業で必ず問題となる「汚れ (スケール)」が伝熱性能に与える影響を正しく評価できるかを判定します。

(1) 管内面基準の総括伝熱係数を求めよ。(配点 10 点)

内径と外径で伝熱面積が異なる円管において、「管内面基準」という指定に合わせ、各項の面積比 (または直径比) を正しく考慮して総括伝熱係数を一元化できるかを問います。

(2) 管内側、管外側の汚れ係数をそれぞれ 6000, 3000 W/(m²・K) としたときの総括伝熱係数を計算し、汚れの付着により総括伝熱係数が何%低下するかこたえよ (配点 10 点)

実際の装置運用で生じる「汚れ」を伝熱モデルに組み込めるか、また、それが全体の伝熱性能をどれだけ低下させるかを定量的に評価できるかを問います。

問3) 内径 300 mm の鋼管を用いて比重 0.87、粘度 $0.050 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の油を $300 \text{ m}^3/\text{h}$ の割合で貯槽 A から 800m 離れた貯槽 B に送るとき、摩擦による流れのエネルギー損失はいくらになるか。ただし、鋼管の粗管として以下のグラフと式を適宜用いても良い (配点 10 点)

本問は、プラント設計や流体輸送プロセスにおいて必須となる、円管内を流れる流体の「摩擦によるエネルギー損失 (圧損)」を定量的に評価できるかを問うものです。単に公式へ数値を代入するだけでなく、流体の物性や流速から流れの状態 (層流・乱流) を判別し、グラフ (ムーディ線図等) や実験式から適切な摩擦係数を見極めて計算を進めるといふ、実践的な工学的アプローチの習得度を判定します。

(問4) 密度 $\rho_p=2600 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、最小粒径 $120 \mu\text{m}$ の粒子を含む懸濁液を水平流速 $0.1\text{m}/\text{s}$ で深さ 1m の沈降槽内を水平に流すとき、粒子をすべて沈降させるのに必要な沈降室の長さを求めよ。ただし、水の粘度 $\mu=1 \times 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$ とする。以下の式を用いても良い。(配点 15 点)

本問は、排水処理や物質精製プロセスで広く用いられる「重力沈降分離」の基本原理を理解しているかを問うものです。静止流体中における微粒子の沈降挙動 (ストークスの式) の理解度と、沈降槽内における流体の水平移動と粒子の垂直沈降という「二次元的な運動の重ね合わせ」を論理的に処理し、装置設計 (必要な槽の長さの決定) へ応用できる能力を評価します。