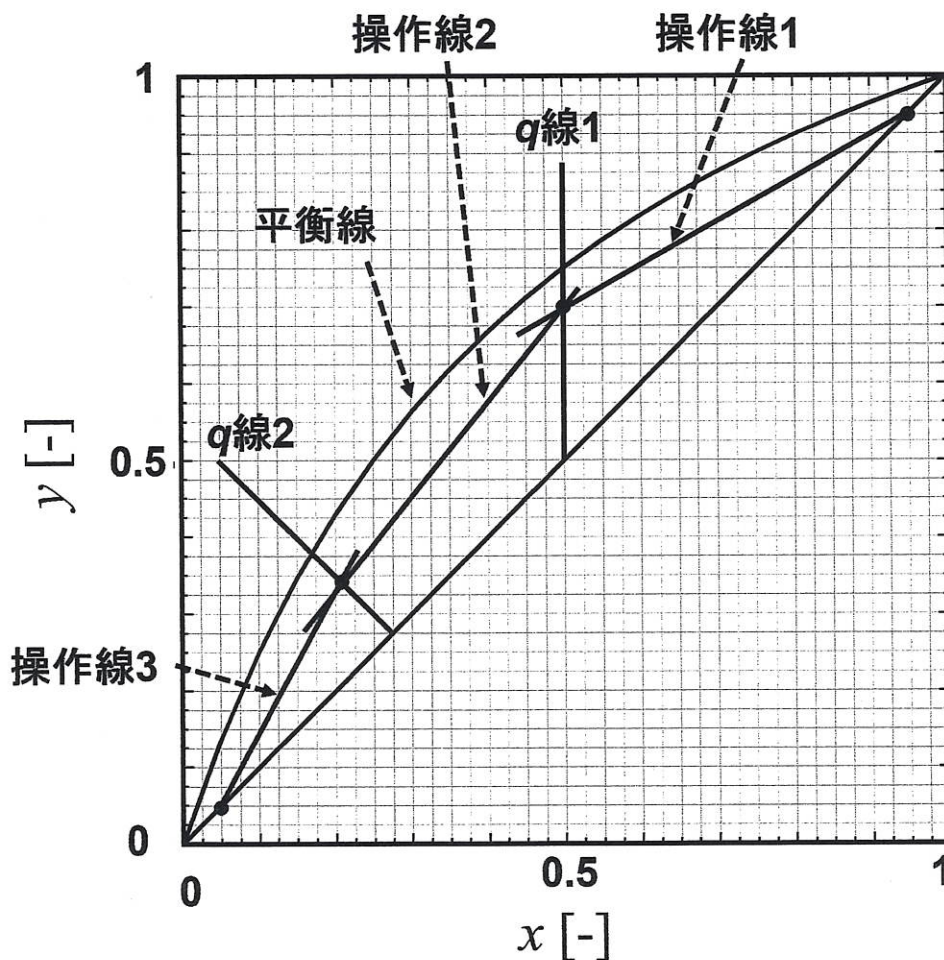


化学工学Ⅱ

以下の5問題全てについて解答せよ。なお、各問題ごとに別々の解答用紙を用い、問題番号を明記すること。

問題1

塔頂で留出液の一部を還流し、塔底から缶出液を回収する精留プロセスを考える。階段作図法 (McCabe-Thiele 法) に必要な気液平衡線、操作線、 q 線を x - y 線図上にまとめて以下に示す。解答には次ページで定義した記号を用い、導出に必要な記号があれば、自分で定義して用いること。



(次ページにつづく)

(問題1のつづき)

(a) 塔頂部に関する以下の問に答えよ。

(a-1) 操作線1を表す式を導出せよ。

(a-2) 操作線1の還流比 R と最小還流比 R_{\min} の比 $(=R/R_{\min})$ を求めよ。

(a-3) R と R_{\min} の平均値 $(=(R+R_{\min})/2)$ に還流比を設定した場合、操作線1の還流比 R と比較して、必要段数は増加するか、減少するか、根拠を簡潔に示して答えよ。

(b) 本精留プロセスに関する以下の問に答えよ。

(b-1) 解答用紙の x - y 線図を用いて、塔頂から5番目の段に流入する蒸気および液体中の低沸点成分のモル分率の値を図示せよ。

(b-2) 解答用紙の精留プロセス図(未完成)中に、必要な数の棚段を描き、原料供給段を矢印で図示せよ。さらに、原料の状態を明記せよ。

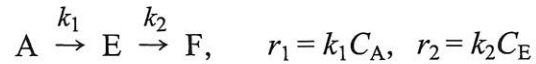
(b-3) 操作線の傾きの大小関係が、操作線3 > 操作線2 > 操作線1となることを各部の物質収支に基づいて説明せよ。

表：使用記号の定義

D	: 留出液のモル流量
x_D	: 留出液中の低沸点成分のモル分率
F_i	: 各原料液 ($i=1, 2, 3, \dots$) のモル流量
L	: 濃縮部の液のモル流量
V	: 濃縮部の蒸気のモル流量
R	: 還流比
n	: 塔頂から数えた濃縮部の段数
x_n	: 濃縮部の液体における低沸点成分のモル分率
y_{n+1}	: 濃縮部の蒸気における低沸点成分のモル分率

問題2

流通式反応器で行う以下の液相反応について考える。



ただし、 r_1 、 r_2 はAからE、EからFが生成する反応の反応速度、 k_1 、 k_2 は反応速度定数 ($k_1 \neq k_2$)、 C_A 、 C_E はA、Eの濃度であり、反応器入口ではAのみが C_{A0} で含まれる。

(a) PFR を用いる場合について、以下の問に答えよ。

(a-1) C_A/C_{A0} と C_E/C_{A0} を空間時間 τ の関数として示せ。

(a-2) C_E/C_{A0} が最大となる τ を示せ。

(b) CSTR を用いる場合について、以下の問に答えよ。

(b-1) C_A/C_{A0} と C_F/C_{A0} (C_F : Fの濃度) が専用の解答用紙の図中に示されるように変化した。 C_E/C_{A0} の変化の概略を同じ図中に示せ。なお、 C_F/C_{A0} と同様に、 $\tau = a, b$ における C_E/C_{A0} の点も図中に示すこと。

(b-2) C_A/C_{A0} と C_E/C_{A0} を τ の関数として示せ。

(c) PFR と CSTR を用いるそれぞれの場合について、Aの反応量のうちEに変化した量の割合を表す選択率 $S_{E/A}$ を考える。各反応器における $S_{E/A}$ をAの反応率 x_A の関数として示した後、 $S_{E/A}$ の変化の概略を専用の解答用紙の図中に示せ。 $x_A = 0.4, 0.8$ における点も図中に示すこと。ただし、 $k_1/k_2 = 2$ とする。

問題3

図1に示すような十分に広い部屋に、温度 T_∞ の風が U_∞ の速度で吹いている。この部屋に、直径 D 、射出率 ε の完全球形の温度計を吊り下げたところ温度計は T_f を示した。部屋の壁温度は T_w で保たれている。また温度計は均熱であり、風による振動や支持棒からの熱の逃げ、温度計や支持棒による気流の乱れは無いものとする。以上の条件のもと、温度計周囲の平均 Nusselt 数 (Nu_D) は式 (1) で表されるものとする。

$$Nu_D = A + 0.6 Re_D^{1/2} Pr^{1/3} \quad (1)$$

ここで Re_D は D 基準の Reynolds 数、 Pr は Prandtl 数である。以下の問に答えよ。

(a) Newton の冷却則と Fourier (フーリエ) の法則より式 (2) を導け。

ただし、 k は熱伝導度、 h は伝熱係数である。

$$Nu_D = hD/k \quad (2)$$

(b) 図2に示す半径 r_i の球と、その周囲を覆う内径 r_o からなる中空球内の伝導伝熱を考える。表面温度がそれぞれ T_i 、 T_o であるとき、半径方向温度分布が式 (3) で表されることを示せ。ただし温度分布は半径方向のみの1次元であり、外側の球殻の厚みは考慮しないものとする。

$$T = T_i - \left(\frac{T_i - T_o}{1/r_i - 1/r_o} \right) \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r} \right) \quad (3)$$

(c) 式 (3) において $r_o \rightarrow \infty$ とすることにより、式 (1) 中の A の値が2となることを示せ。

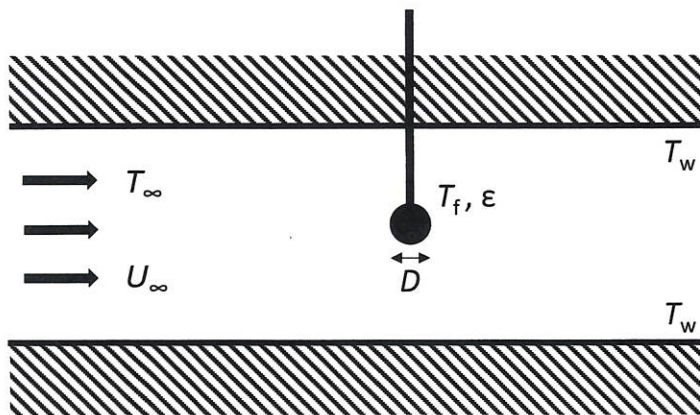


図1

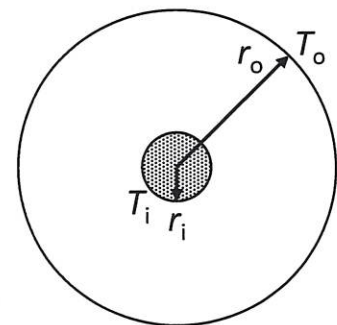


図2

(次ページにつづく)

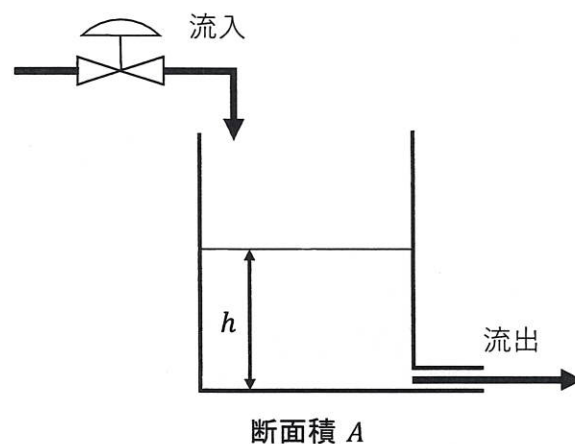
(問題3のつづき)

図1において、 $Pr=1$ であり、かつ壁と温度計間では輻射によってのみ熱交換がされていると近似可能なとき、以下の間に答えよ。

- (d) $U_\infty=0$ の場合、 T_w を T_∞ と T_f を用いて表せ。ただし形態係数 (view factor) は 1、 $T_\infty \neq T_f$ 、Stefan-Boltzmann 係数は σ とする。
- (e) 上記 (d) において $U_\infty \neq 0$ かつ $T_\infty > T_f$ のとき、温度計が示す温度と実際の空気との温度差 $T_\infty - T_f$ を現在の半分にするためには、 U_∞ の何倍の流速で空気を流さないといけないか求めよ。ただし、壁温度 T_w は不変であり、風が強いため式 (1) において $A \ll 0.6 Re_D^{1/2}$ が成立するものとする。

問題4

図のように貯留タンクにバルブで調節された液が連続的に供給され、同時にタンク底面から液が流出している。このタンクにおける定常状態からの液面高さの変化を考える。ここで、タンクは断面積 A の円筒形とする。また、流出流量 v_o はタンクの液面高さ h の平方根に比例 ($v_o = \alpha\sqrt{h}$) し、流入流量 v_i はバルブ開度 x に比例 ($v_i = \beta x$) する。なお、 α 、 β は正の定数とする。以下の問に答えよ。



- (a) 物質収支式を導け。
- (b) 定常状態におけるバルブ開度 x_s からの変化量、液面高さ h_s からの変化量をそれぞれ Δx 、 Δh とする。 Δx を入力、 Δh を出力としたときの伝達関数を導け。 $|a| \ll 1$ のとき、 $(1+a)^b \approx 1+ab$ が成り立つことを用い、 Δx 、 Δh の2次以上の項は無視せよ。
- (c) 単位ステップ応答を求めよ。
- (d) 液面高さの制御を比例制御で行う場合、定常偏差が残ることを示せ。ラプラス変換における最終値の定理 $\lim_{s \rightarrow 0} sF(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$ を用いてもよい。

問題5

定常状態で圧力 0.1 MPa、温度 200 K の純メタンガスを供給速度 $1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ (図1 流路①) で液化するプロセスを考える。メタンガスが圧縮機を通過し (流路②)、冷却装置から排出されたときの圧力と温度は、それぞれ 10 MPa と 200 K である (流路③)。その後、絞り弁を通過し (流路④)、フラッシュ缶に導入される。フラッシュ缶は断熱され、0.1 MPa で運転される。圧縮機は可逆的かつ断熱的に操作できるが、大きな圧力変化を伴うため、内部冷却装置を備えた二つの段階でメタンガスを圧縮する。第一段階では 0.1 MPa から 1.0 MPa に、第二段階では 1.0 MPa から 10 MPa に圧縮する。圧縮過程の第一段階と第二段階の間で、メタンガスは等圧的に 220 K まで冷却される。以下の問に答えよ。必要があれば、次式で表される流れ系の質量収支式、エネルギー収支式を参考にせよ。

$$\frac{dm}{dt} = \sum_k \dot{m}_k$$

$$\frac{dE}{dt} = \sum_k \dot{m}_k H_{m,k} + \dot{Q} + \dot{W}$$

m [kg]: 流体の全質量、 t [s]: 時間、 \dot{m}_k [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]: 質量流量、 E [kJ]: 流体の全エネルギー、 $H_{m,k}$ [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]: 単位質量あたりのエンタルピー、 \dot{Q} [kW]: 単位時間に系に流入した熱、 \dot{W} [kW]: 単位時間に系に流入した仕事、 k : 流路の番号、 T [K]: 温度、 P [MPa]: 圧力

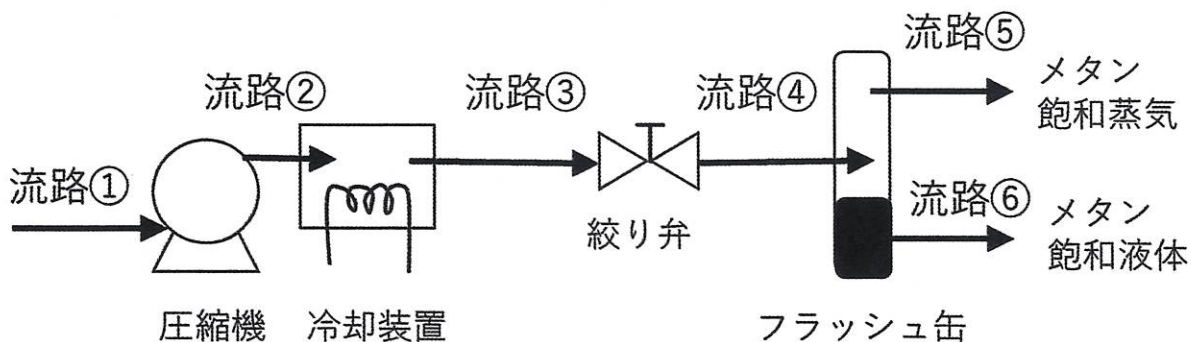


図1 メタン液化プロセス

(次ページへつづく)

