

第52回 労働安全コンサルタント試験 (化学安全)

061022

化学安全

1/6

注：試験問題は、全部で4問です。問1又は問2から1問、問3又は問4から1問、合計2問を選択して解答用紙に解答を記入してください。また、問3及び問4の解答は、計算過程も記入してください。

問 1 化学反応プロセスの安全性を確立し爆発火災を防止するためには、原料物質、反応中間体、目的とする製品、副生する物質について、物理化学的危険性に関してリスクアセスメント等を行う必要がある。このリスクアセスメント等の実施に関連する以下の設問に答えよ。

- (1) 安全データシート (SDS) の記載項目を五つ挙げ、それぞれ説明せよ。
- (2) 化学品の分類及び表示に関する世界調和システム (GHS) における物理化学的危険性に係る危険有害性クラスを五つ挙げよ。
- (3) GHS に基づくラベル要素のうち、絵表示について目的と内容を説明せよ。
- (4) 物理化学的危険性に関するリスクの見積りの方法について、具体的な方法の例を一つ挙げて説明せよ。
- (5) リスク低減対策の種類と例及びその検討の優先順位について説明せよ。

問 2 図は、危険性を有する粉体について、原料粉から粉体の大きさを調整し、製品粉を製造するプロセスである。プロセスの概略は、次のとおりである。

- ① フレキシブルコンテナに入った原料粉を投入する。
- ② 原料ホッパータンクに一時貯蔵する。
- ③ 鉄ボールが充填してある振動ミルで粉砕する。
- ④ 粉砕した粉体をダクトにより空気移送でサイクロンに送る。
- ⑤ サイクロンで分級して所定の大きさとする。
- ⑥ 製品タンクで回収する。
- ⑦ スクリューフィーダーで製品となる粉体を逐次送る。
- ⑧ 計量器に載せた受け容器で計量する。
- ⑨ パッキング工程で袋詰めする。
- ⑩ サイクロンでの分級で生じた微粉は集じん機 (バグフィルター) に送られる。
- ⑪ 空気移送は送風機の吸引により行われる。

このプロセスにおける爆発・火災の危険性及び防止対策に関して、以下の設問に答えよ。なお、原料粉及び製品粉の危険性に関するデータは表のとおりである。

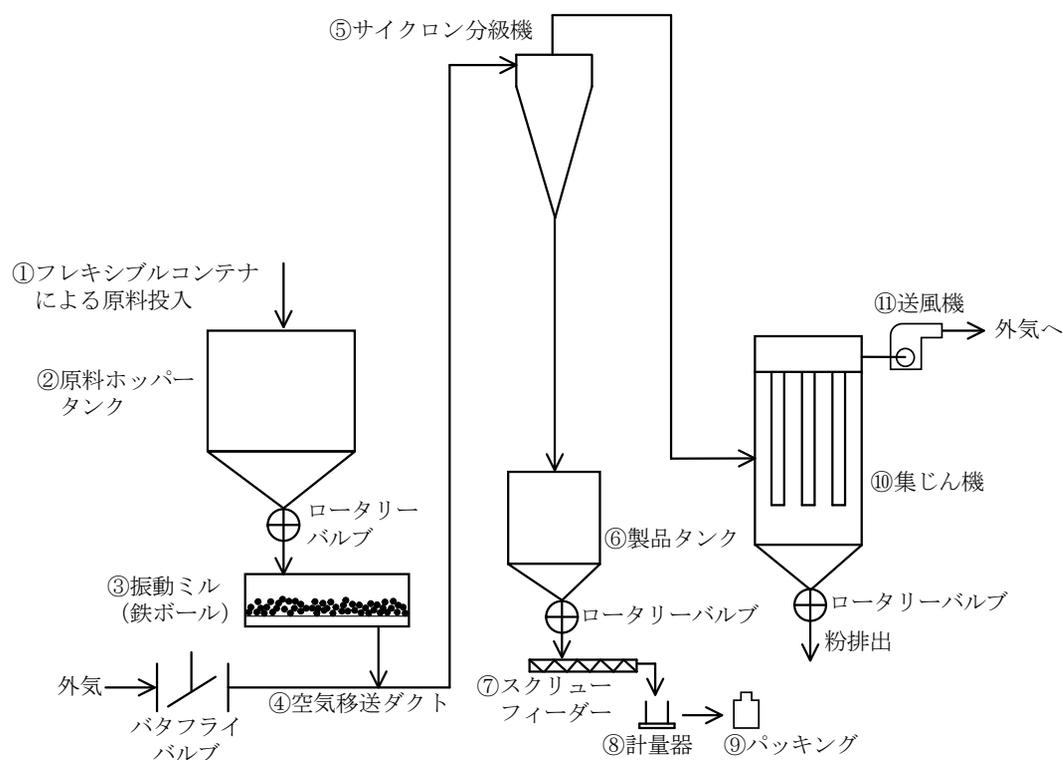


図 粉体の製造プロセス

表 粉体の危険性に関するデータ

粉体	中位径 [μm]	爆発下限 濃度 [g/m^3]	爆発の激しさ K_{max} [$\times 100\text{kPa}$]	最大圧力 P_{max} [$\times 100\text{kPa}$]	最小着火 エネルギー MIE [mJ]	浮遊粉じんの 発火温度 [$^{\circ}\text{C}$]
原料粉	500	500	10	7.0	1000 超	580
製品粉	30	30	500	15	3 ~ 10	550

- (1) 粉体の製造プロセスのうち、①～④及び⑩の装置・工程の中から粉じん爆発が発生する可能性があるものを三つ選び、
- 着火源
 - その着火源により発生する可能性のある粉じん爆発のシナリオ
 - その発生防止対策又は被害軽減対策
- について述べよ。
- (2) 送風機の風量が低下した場合、粉じん爆発の発生に関してどのような影響が生じるか述べよ。また、送風機の風量の低下を防止するために考えられる対策を述べよ。
- (3) 粉体の製造プロセスにおける異物の混入を考えると、異物の混入例を一つ挙げ、
- その混入経路
 - 混入防止対策
- について述べよ。

問 3 バッチ化学反応プロセスにおいて、化学反応の安全を確保するためには、内容物の加熱・冷却能力を見積もることが重要である。反応容器内で生成した高温の生成物を、反応容器を覆う冷却ジャケットにより冷却するプロセスについて、図に示すようにモデル化する。また、以下の仮定をおく。

- ① 反応容器内の生成物の温度は十分な攪拌により均一である。
- ② 生成物自体の吸熱・発熱はなく、生成物の温度変化は全て冷却ジャケットを介した外部からの熱移動による。
- ③ 容器の熱容量は無視できる。
- ④ 冷却ジャケットの温度は均一かつ一定である。

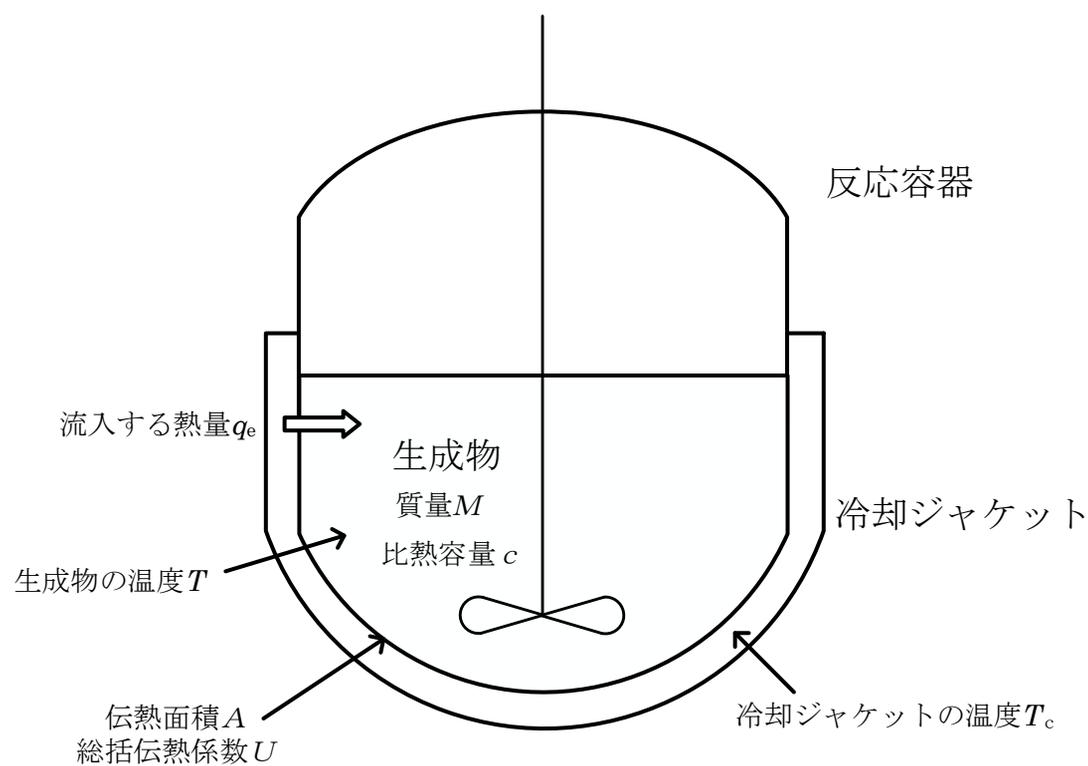


図 反応容器と冷却ジャケット

この冷却プロセスについて、以下の(1)～(6)の設問に答えよ。なお、解答に当たっては、必要に応じて次の記号を用いること。

M : 生成物の質量[kg]

c : 生成物の比熱容量[J・kg⁻¹・K⁻¹]

U : 生成物と冷却ジャケットの間の総括伝熱係数[W・m²・K⁻¹]

A : 生成物と冷却ジャケットの間の熱交換における伝熱面積[m²]

T : 反応容器内の生成物の温度[K]。時間とともに変化する。

T_c : 冷却ジャケットの温度[K]。時間によらず一定。

- (1) 単位時間当たりに容器を覆う冷却ジャケットから反応容器内の生成物に流入する熱量 q_e [W] を、生成物の温度 T と、冷却ジャケットの温度 T_c を用いた式で表せ。ただし、 q_e の値は冷却ジャケットから生成物の方向に熱が流れる状態のときを正にとること。

(2) 単位時間に生成物に蓄えられる熱量 q_a [W] は、時間を t [s]、温度 T の変化速度を dT/dt とすると、

$$q_a = M \times c \times \frac{dT}{dt} \quad \dots \text{式(1)}$$

となる。また、冷却ジャケットと生成物の温度差 ΔT [K] ($\Delta T = T_c - T$) を導入すると、 T_c は一定であるので、

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = -\frac{dT}{dt} \quad \dots \text{式(2)}$$

となる。生成物の蓄熱量は冷却ジャケットとの熱交換量に等しく、

$$q_a = q_c \quad \dots \text{式(3)}$$

が成り立つことから、設問(1)で得た式も利用し、 ΔT についての微分方程式を求めよ。

(3) ジャケット壁面での内容物と壁面との温度差 ΔT と経過時間 t の関係が、

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = -\frac{\Delta T}{\tau} \quad \dots \text{式(4)}$$

と表されるとき、 τ [s] は反応容器の時定数と呼ばれる。設問(2)の結果を用いて τ を表す式を示せ。

(4) $t=0$ のときの ΔT を ΔT_0 、 $t=t_1$ のときの ΔT を ΔT_1 とするとき、式(4)から ΔT_1 を表す式を求めよ。

必要であれば、公式 $\int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x} = \ln x_1 - \ln x_0$ 及び $\int_{x_0}^{x_1} dx = x_1 - x_0$ を利用せよ。

(5) T の初期値 ($t=0$ のときの値) を T_0 とすると $\Delta T_0 = T_c - T_0$ と表すことができる。これを用いて設問(4)の結果を変形し、 ΔT_1 を表す式を示せ。

(6) 初期温度 T_0 が 400 K の生成物が入れた反応容器を T_c が 300 K の冷却ジャケットで冷却する。このときの時定数 τ は 2 時間 (= 7200 s) であった。冷却を開始してから 1 時間、2 時間及び 4 時間経過後の生成物の温度 T [K] をそれぞれ求めよ。必要であればネイピア数 (e) の値は 2.72 を用い、温度は小数点以下を四捨五入し 1 の位まで求めよ。

問 4 U字管マンノメーターとは、図に示すように、管の途中にオリフィス板を装着し、その上流及び下流に圧力測定孔を設け、液柱高さから圧力を求める圧力計である。管内を流れる気体の流量は圧力から求めることができる。ここで管内を流れるのは気体で、マンノメーターの作動流体は液体（水）とする。これに関し、以下の設問に答えよ。なお、図に示す記号の意味は表1のとおりであり、計算に用いる数値は表2のとおりである。また、必要に応じて、表3に示すベルヌーイの式を利用すること。

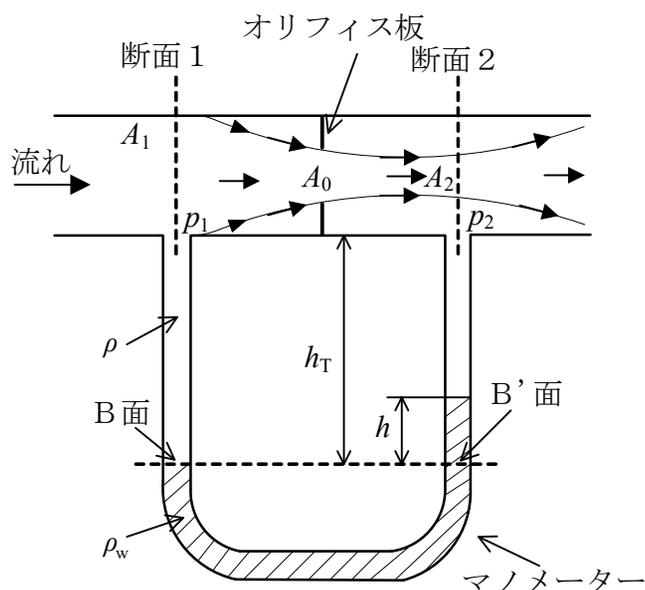


図 U字管マンノメーター

表1 図に示す記号の意味

A_1 : 管路の断面1での断面積 [m ²]
A_2 : オリフィス開口部下流の縮流による断面2での断面積 [m ²]
A_0 : オリフィス板の開口部の断面積 [m ²]
h : 液柱高さ [m]
h_T : B面からU字管の上端までの高さ [m]
ρ : 気体の密度 [kg/m ³]
ρ_w : 液体の密度 [kg/m ³]

表2 計算に用いる数値

管の直径（内径） : 25 mm
オリフィス開口部の直径 : 18 mm
A_2/A_0 （オリフィスの収縮係数） : 0.7
空気の体積組成（割合） : 酸素 21 %・窒素 79 %
重力加速度 : $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
空気の密度 : 1.2 kg/m ³ 、水の密度 : 1000 kg/m ³ 、メタンの密度 : 0.66 kg/m ³
（空気、水及びメタンの密度について、圧力による変化は無視できるものとする。）

表3 ベルヌーイの式

$$\text{ベルヌーイの式 : } p + \frac{\rho u^2}{2} + \rho g h = \text{一定}$$

p : 流体の圧力 [Pa]、 ρ : 流体の密度 [kg/m³]、 u : 流速 [m/s]、 h : 流体の高さ [m]
 g : 重力加速度 [m/s²]

- (1) 管の断面1における気体の圧力を p_1 、断面2における気体の圧力を p_2 とすると、液柱高さ h に関して、 p_1 と p_2 の圧力差が式(1)で表されることを導け。

$$p_1 - p_2 = (\rho_w - \rho) g h \quad \dots \text{式(1)}$$

- (2) 気体の流量 q が式(2)で表されることを次の手順によって導け。

- ① 管の断面1における気体の流速を u_1 、断面2における気体の流速を u_2 とすると、ベルヌーイの式を使い、 $p_1 - p_2$ を u_1 、 u_2 及び ρ を用いて式で表せ。
- ② 気体の流量は、管の断面1と断面2において一定である関係を u_1 、 u_2 、 A_1 、 A_2 を用いて式で表せ。
- ③ 式(1)並びに上記①及び②の結果から、気体の流量 q が式(2)で表されることを示せ。

$$q = \frac{(A_1 A_2)}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{2(\rho_w - \rho) g h}{\rho}} \quad \dots \text{式(2)}$$

- (3) オリフィス板においては、板の厚さ、開口部の形状・寸法、エッジの仕上げ、縮流などが圧力損失に影響するため、実際の流量 q^* は式(2)で表される q と異なる。補正係数を α として、一般に式(3)で表すことができる。

$$q^* = \alpha q \quad \dots \text{式(3)}$$

管にメタンを流し、 $h = 50 \text{ mm}$ で、体積流量計による測定結果が $q^* = 0.070 \text{ m}^3/\text{s}$ であるとき、 α の値を求めよ。解答は有効数字2桁で求めること。設問(4)において同じ。

なお、計算の簡略化のため、式(2)を式(4)に置き換えてよい。

$$q = 1.91 \times 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{2(\rho_w - \rho) g h}{\rho}} \quad \dots \text{式(4)}$$

- (4) 小型の燃焼装置に空気とメタンを供給して燃焼させることにする。メタンの流量測定には設問(3)で α を求めたU字管のマノメーターを用い、所定の流量となるようにマノメーターの液柱高さを設定する。次の間に答えよ。

- ① 空気過剰率 λ を1.2とすると、供給するメタンと空気の体積比を求めよ。
なお、空気過剰率とは、燃料を完全燃焼させるときに必要な理論上の空気量に対する実際に供給される空気量の比である。
- ② 空気流量を $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 λ を1.2とすると、供給するメタン流量に相当する液柱高さ h_1 [mm]を求めよ。