

化学工学

【問1】原料ガスとして化学種 A (モル流量 $100 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$) と化学種 B (モル流量 $600 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$) を流通式反応器に供給する。反応器には、原料ガスとともに不活性ガス E を、化学種 B の 4 倍のモル流量で供給する。このとき式(1)および(2)の気相反応により主生成物 C と副生成物 D が生成し、式(1), (2)以外の反応は起きないものとする。また、反応器内の圧力は一定と見なしてよいものとする。



化学種 A はこれらの反応により、反応器において 100% 転化した。また、反応器出口における主生成物 C の収率は、供給される化学種 A に対して 80.0%であった。計算には、表に示す物性値を使用せよ。なお、定圧モル熱容量 C_p は温度によって変化しないものとする。数値は有効数字 3 桁で答えよ。

表 各化学種の熱力学物性値

化学種 (すべて気体)	標準生成モルエンタルピー $\Delta_f H^0$ [$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$] (298 K)	定圧モル熱容量 C_p [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
A	-100.0	10.0
B	0	30.0
C	-200.0	35.0
D	-79.5	25.0
E	0	25.0

- 1) 流通式反応器の外部との熱エネルギーのやり取りはなく、流体 (ガス) の運動エネルギーも位置エネルギーも無視できるものとして以下に答えよ。
- (a) 298 K で原料ガスと不活性ガスを反応器に供給したときの、反応器に流入する 1 分間あたりのエンタルピー H_1 [$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$] を求めよ。
- (b) 反応器出口における化学種 B と化学種 D のモル流量 [$\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$] をそれぞれ答えよ。
- (c) 反応器出口の温度が T [K]であったときの、反応器から流出する 1 分間あたりのエンタルピー H_2 [$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$] を、温度 T の関数として記せ。

解答は、以下の空欄 と に当てはまる適切な数値を答えよ。

$$H_2 [\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}] = \text{ア} + \text{イ} \times (T - 298)$$

- (d) 設問(a)~(c)の解答をもとに、反応器出口での温度 T [K]を求めよ。

- 2) 外部との熱エネルギー交換が可能な流通式反応器に、298 K で原料ガスと不活性ガスを供給した。反応器から Q [$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$]だけ除熱したところ、反応器出口温度は 348 K となった。除熱しても、反応器出口のガス組成には変化が生じなかったものとし、除熱量 Q [$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1}$]を求めよ。ただし、流体 (ガス) の運動エネルギーも位置エネルギーも無視できるものとする。

【問2】身のまわりに広く存在する粘性流体の流動現象を理解することは、流体に関する適切な工業的操作を行う上で極めて重要である。以下の文章中の空欄 **ア** ~ **サ** に当てはまる適切な語句や数字、文字式を答えよ。

分子粘性係数 μ のニュートン流体が、図1に示すように水平円管の中を軸対称かつ定常な層流で流れている。この円管内の円筒状の流体要素（半径 r 、長さ L ）に作用する力のつり合いを考える。流体要素に作用する上流面および下流面の圧力をそれぞれ P_1 および P_2 、流体要素の側面に作用するせん断応力を τ 、円管の半径を R とする。流体要素の上流面に作用する力と流体要素の下流面に作用する力の差が、流体要素の側面に作用するせん断応力とつり合っている定常な流れを形成していると思えることができ、上流から下流に向かって圧力が低下することを考慮して、力のつり合いを等式で表すと、

$$\pi r^2 (\text{ア}) = \text{イ} \cdot \tau \quad (1)$$

となる。式 (1) を整理すると、せん断応力は

$$\tau = \text{ウ} \quad (2)$$

で表される。一方、ニュートン流体では粘性法則が成立する。この法則に基づき、せん断応力を流れ方向の流体の速度 u と半径方向距離 r を用いて表すと、

$$\tau = \text{エ} \quad (3)$$

と表現される。式 (2) と式 (3) より、 τ を消去して整理すると、次式を得る。

$$\frac{du}{dr} = \text{オ} \quad (4)$$

式 (4) を壁面で流体の速度が 0 であることを考慮して積分すると、管内の速度分布を表す次式が得られる。

$$u = \text{カ} \quad (5)$$

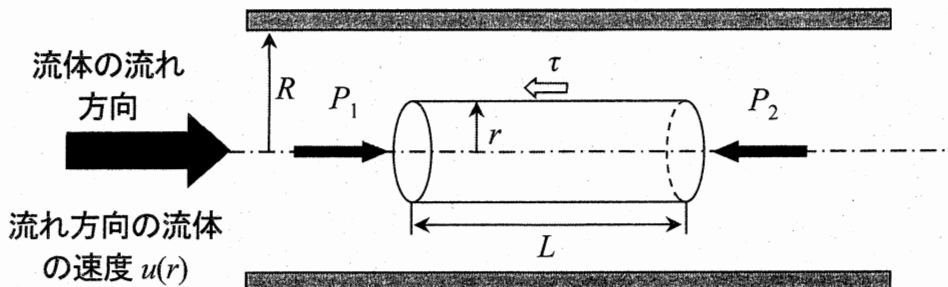


図1 水平管内の流体要素に作用する力

式 (5) はニュートン流体における円管内の層流の速度分布を与えることから、式 (5) を積分して円管を流れる流体の流量を表す式を求めることで、流量と円管の長さ方向の圧力差の関係を求めることができる。この原理を用いた粘度計を **キ** の粘度計という。内径および長さが既知の細管にニュートン流体を流通させ、その流量と圧力差を測定することで、流体の分子粘性係数を求めることができる。

ところが流速が増加すると、運動量の拡散は分子粘性が支配する層流状態から、**ク** の運動が支配する **ケ** 状態に移行する。この、流体の流動状態の変化を支配する無次元数が **コ** の実験により見出された。その発見者にちなんで、流動状態は **コ** 数で整理されている。円管内の流れにおいて層流から **ケ** への遷移は、この無次元数の値が **サ** あたりで起きることが知られている。