

化学工学

【問1】合成プロセスに関する以下の文章を読み、空欄 ア ~ コ に当てはまる適切な文字式や数値を答えよ。なお、数値は有効桁数を3桁とし、導出過程も記述すること。

触媒を使用した連続合成のフローを図1に示す。ここで、原料となる分子 A_2 と分子 B_2 が供給され、触媒反応器における温度は 700 K で一定、圧力は 197 atm で一定である。冷却・気液分離器では、製品である分子 AB_3 を液化して系外に取り出す。

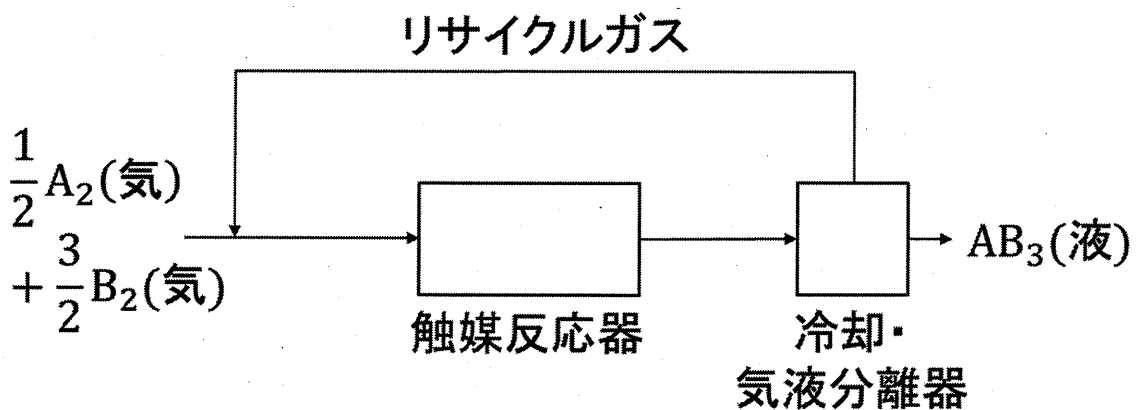
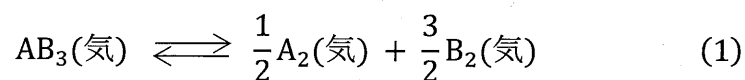


図1 触媒を用いた連続合成のフロー

本プロセスでは AB_3 の生成反応のみが起こり、その平衡は、式 (1) で与えられる。



$$K_p = \frac{p_{A_2}^{\frac{1}{2}} p_{B_2}^{\frac{3}{2}}}{p_{AB_3}} = 80.0$$

ここで、 K_p [atm] は平衡定数、 p_i ($i=A_2, B_2, AB_3$) は反応器における各成分の分圧 [atm] である。

触媒反応器で平衡に達することを前提に、本装置を連続定常運転する際の物質収支をとる。

式 (1) の量論比から、原料として供給する A_2 の分圧は、ア atm、 B_2 の分圧は イ atm である。また、式 (1) より、生成する 1.00 mol の AB_3 に対

して供給される A_2 は 0.500 mol, 供給される B_2 は 1.50 mol である。平衡時における A_2 の反応率を x_{A_2} とすると, 平衡時における各成分の分圧は, x_{A_2} を用いてそれぞれ次式で表される。

$$p_{A_2} = \boxed{\text{ウ}} \quad (2)$$

$$p_{B_2} = \boxed{\text{エ}} \quad (3)$$

$$p_{AB_3} = \boxed{\text{オ}} \quad (4)$$

式 (2)~(4) と式 (1) の関係から, x_{A_2} に関する方程式が得られ, これを解くと平衡時における A_2 の反応率は, $x_{A_2} = \boxed{\text{カ}}$ と求まる。したがって触媒反応器出口での各成分のモル比は, AB_3 が 1.00 mol に対して A_2 が $\boxed{\text{キ}}$ mol, B_2 が $\boxed{\text{ク}}$ mol となり, この組成のガスが冷却・気液分離器で冷却され, 液化した AB_3 が系から製品として除去されて, 残りがリサイクルガスとして入口側に戻される。

生成した AB_3 が冷却・気液分離器で全て液化し, 系外に除去されると仮定すると, リサイクルガス量は生成する AB_3 1.00 mol あたり $\boxed{\text{ケ}}$ mol である。したがって反応器には原料ガスと合わせて AB_3 1.00 mol あたり $\boxed{\text{コ}}$ mol の混合ガスが供給されることになる。

【問2】流動に関する以下の文章を読み, 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ~ $\boxed{\text{ソ}}$ に当てはまる適切な文字や文字式を答えよ。

図2に示す流管について定常流れを考え, エネルギー保存の法則を適用する。なお, 流管におけるエネルギーの損失は無視できるものとする。断面1, 2における流体の密度, 断面中心の高さ, 流体の管断面平均速度, 流体の圧力および断面積をそれぞれ $\rho_1, \rho_2, h_1, h_2, u_1, u_2, p_1, p_2, A_1, A_2$ とし, g を重力加速度の大きさとする, 断面1に流入する流体のエネルギーは, 断面2から流出する流体のエネルギーに等しいため,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(\rho_1 u_1 A_1) u_1^2 + (\rho_1 u_1 A_1) \boxed{\text{ア}} + \boxed{\text{イ}} u_1 \\ & = \frac{1}{2}(\rho_2 u_2 A_2) u_2^2 + (\rho_2 u_2 A_2) \boxed{\text{ウ}} + \boxed{\text{エ}} u_2 \quad (5) \end{aligned}$$

が成り立つ。式 (5) の両辺の第1項は運動エネルギー, 第2項は位置エネルギー, 第3項は圧力エネルギーを表す。非圧縮性流体では $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ であり, 流体力学における $\boxed{\text{オ}}$ の式

$$\rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2 = \text{constant} \quad (6)$$

を適用すると, 式 (5) は

$$\frac{1}{2}\rho u_1^2 + \boxed{\text{カ}} + \boxed{\text{キ}} = \frac{1}{2}\rho u_2^2 + \boxed{\text{ク}} + \boxed{\text{ケ}} \quad (7)$$

と表される。このような流体のエネルギーの保存式は $\boxed{\text{コ}}$ の式と呼ばれる。

$\boxed{\text{コ}}$ の式は種々の流体の測定法で用いられている。例として、圧力の測定には、図3に示すU字管圧力計（マンオメーター）が用いられている。測定したい流体（密度 ρ ）とは混じり合わない密度 ρ_l の液体をU字管内に入れて、左右の円管面の圧力差 $\Delta p (= p_3 - p_4)$ を、液柱差 Δh を測定することで求めることができる。圧力差に時間的変動がなければ、式(7)中の左右の第1項は0となる。U字管の左右の上端面を基準位置として、非圧縮性流体における式(7)を適用する。ここで $h_3 = h_4 + \Delta h$ なので、 Δp を Δh を用いて表すと、

$$\Delta p = \boxed{\text{サ}} \quad (8)$$

となり、各流体の密度が既知であれば、液柱差から圧力差を知ることができる。

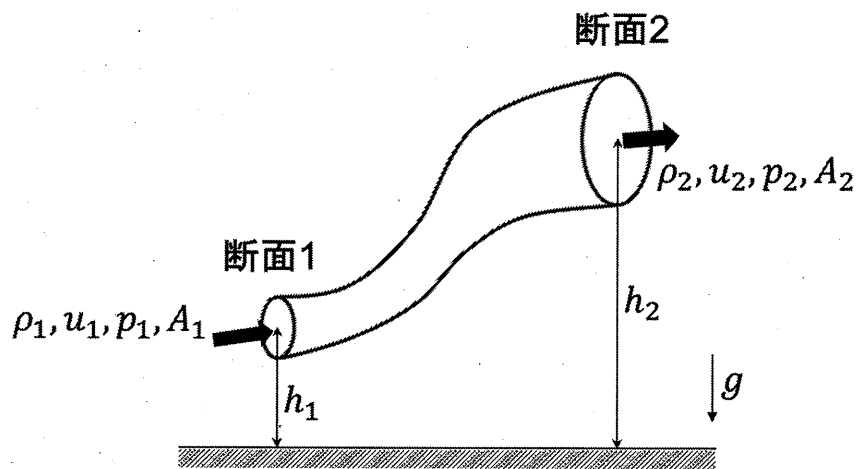


図2 流管の模式図

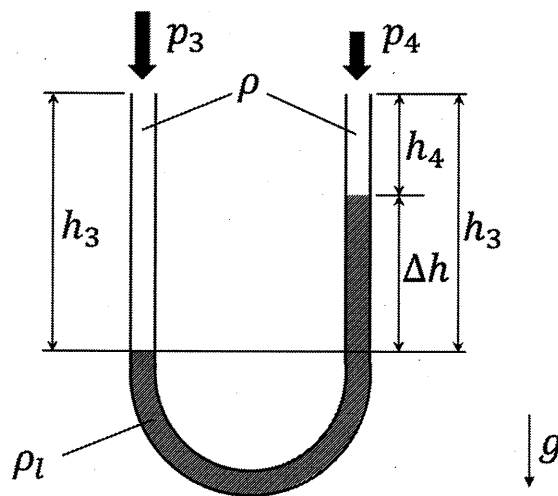


図3 U字管圧力計(マンオメーター)の模式図

コ の式を利用した流体の速度計測法の 1 つとして、シ 管がある。図 4 に示すように密度 ρ の流体が速度 u で一様に流れているところに管を流れに正対させると、管の先端の孔に形成されるよどみ点には静圧と ス が、管の側面の孔には静圧のみが働く。従って、先端の孔および側面の孔につながっているそれぞれの管の流体が示す圧力の差を測定すれば、 ス のみを測定することができる。 ス は以下の文字式で与えられる。

セ

シ 管で測定対象とする流体と、前出のマノメーターの液面に作用する流体（密度 ρ ）が同一の場合、式 (8) と ス を等しいとおくと、シ 管の先端の流体の速度 u は、

$$u = \text{ソ} \quad (9)$$

と表される。すなわちマノメーターに入れた液体の密度と、流れている流体の密度が既知であれば、液柱差を計測することにより流体の速度を求めることができる。

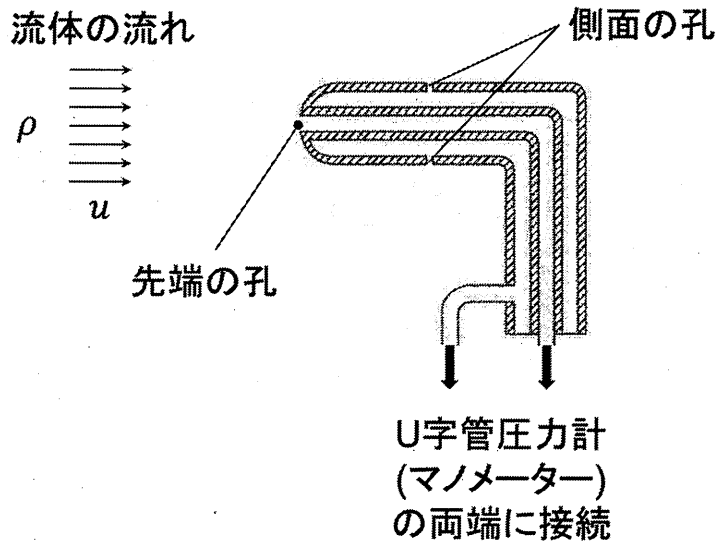


図 4 流体中に置かれた シ 管の断面の模式図