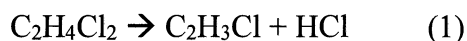


プロセスシステム

【問1】 次の文章を読み、設問1)～3)に答えよ。

ジクロロエタン($C_2H_4Cl_2$)の熱分解による塩化ビニル(C_2H_3Cl)と塩酸(HCl)の生成は反応式(1)で与えられ、それを実行するプロセスは図1のようにになっている。



ストリーム1の組成はモル分率で98.0%ジクロロエタン, 2.00%エタン(C_2H_6)である。ここではエタンは不活性な不純物であり、反応に関与しない。分離器では未反応ジクロロエタンと生成物の分離が理想的に行われ、全ての未反応ジクロロエタンはストリーム5に、その他の成分は全てストリーム4にて系外へ向かう。ストリーム5としてリサイクルされたジクロロエタンは、ストリーム1と合流し、再度反応器に投入される。

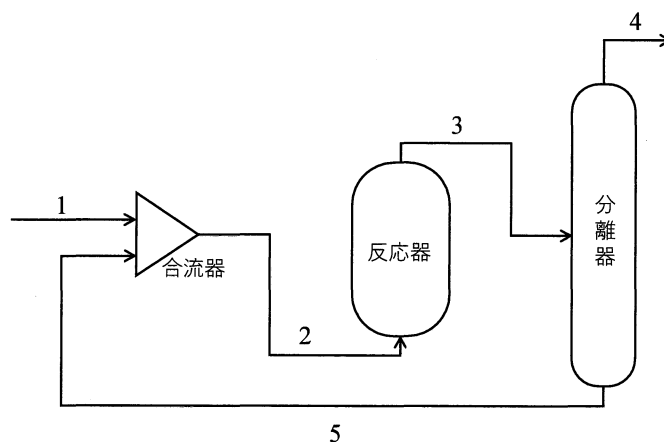


図1

このような、リサイクルを含むプロセスシステム中の定常状態でのストリーム流量や組成を決定する際には、解析的な方法や数理的な方法を用いることができる。

- 1) プロセスユニットの物質収支から、解析的に各成分の流量を決定することができる。反応器前後におけるジクロロエタンの転化率を0.300とし、ストリーム1の総モル流量を1000 mol/s とするとき、物質収支から導出した各ストリームの成分ごとのモル流量をまとめた下表の空欄 (ア) ～ (シ) に入る数値を有効数字3桁で答えよ。

ストリーム	モル流量 [mol/s]			
	$C_2H_4Cl_2$	C_2H_3Cl	HCl	C_2H_6
1	980	0.00	0.00	20.0
2	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
3	(オ)	(カ)	(キ)	(ク)
4	0.00	(ケ)	(コ)	(サ)
5	(シ)	0.00	0.00	0.00

- 2) ストリーム1の総モル流量が M_1 [mol/s] のとき、ストリーム4,5の総モル流量 M_4 [mol/s], M_5 [mol/s] を M_1 の関数としてそれぞれ表せ。

3) リサイクルを含むプロセスシステムのストリーム流量を数理的に決定する際には、反復法を用いることができる。まず、図1のストリーム5を図2のようにストリーム5-1と5-2に分けることでループを開裂する。これにより、すべてのストリームがプロセスユニットを介してループのない状態につながるのので、各ストリームのすべての成分の流量を逐次決定することができる。反復法によってストリーム流量を決定する過程に関する下記の小問に答えよ。小問(1)~(4)は有効数字3桁の数値で、(5)は整数値で答えよ。ただし、 $M_{N,i}^j$ はj回目の反復で計算されたストリームN中のi成分(ジクロロエタン、塩化ビニル、塩酸あるいはエタン)のモル流量 [mol/s]であり、 M_N^j は反復計算j回目におけるストリームNの総モル流量 [mol/s]とする。

- (1) M_1^1 , M_{5-2}^1 をそれぞれ、1000 mol/s, 200 mol/s とするとき、 $M_{2,i}^1$ をすべての成分*i*について答えよ。
- (2) 反応器前後でのジクロロエタンの転化率を0.800とし、 $M_{2,i}^1$ の情報から $M_{3,i}^1$ をすべての成分*i*について答えよ。
- (3) $M_{3,i}^1$ と分離器の情報から $M_{4,i}^1$, $M_{5-1,i}^1$ をすべての成分*i*について答えよ。
- (4) $\delta_j (= |M_{5-2, C_2H_4Cl_2}^j - M_{5-1, C_2H_4Cl_2}^j|)$ を反復計算のj回目終了時における誤差とし、これが設定する許容誤差(トレランス)未満となるまで反復を繰り返す。 $M_{5-1, C_2H_4Cl_2}^1$ の値を $M_{5-2, C_2H_4Cl_2}^2$ の値として用いて2回目(j=2)の計算を進めることで得られる、 δ_2 の値を答えよ。
- (5) 同様に、 $M_{5-2, C_2H_4Cl_2}^j = M_{5-1, C_2H_4Cl_2}^{j-1}$ として反復計算を行う。トレランスが0.01 mol/sのとき、最低限必要な繰り返し回数 j_{min} を答えよ。

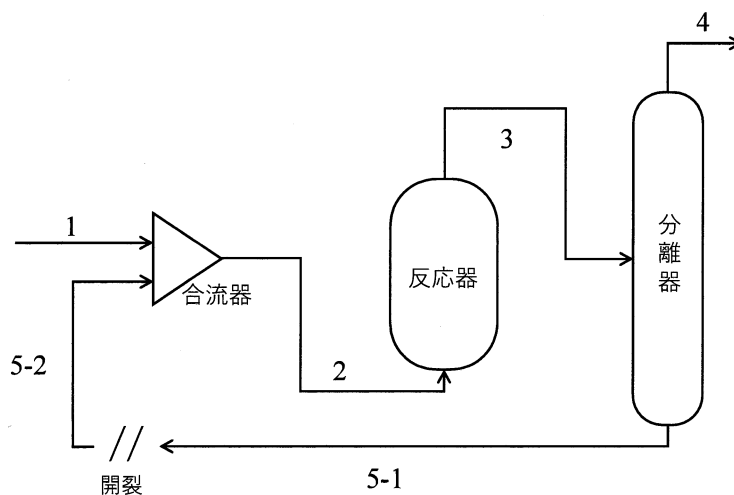


図2

【問2】図3のブロック線図に示すように、伝達関数 $G_p(s)$ のプロセスのフィードバック制御を行う場合を考える。以下の設問1)～4)に答えよ。

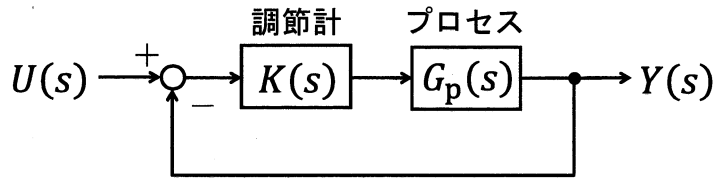


図3

- 1) プロセスの伝達関数 $G_p(s)$ を式(1), 調節計を比例調節計 (伝達関数 $K(s) = K_p$; $K_p(> 0)$ は比例ゲイン) とした場合, 図3の制御系の開ループ伝達関数 (一巡伝達関数) $G(s)$ の周波数伝達関数 $G(j\omega)$ およびそのゲイン $|G(j\omega)|$ は, 式(2)および(3)のように与えられる。ただし, ω は角周波数, $j = \sqrt{-1}$ である。に適切な文字式を入れよ。

$$G_p(s) = \frac{1}{(1 + 0.1s)(1 + 0.5s)(1 + s)} \quad (1)$$

$$G(j\omega) = K_p \frac{\text{ア} + j\omega(0.05\omega^2 - 1.6)}{(1 + 0.01\omega^2)(1 + 0.25\omega^2)(1 + \omega^2)} \quad (2)$$

$$|G(j\omega)| = \frac{K_p}{\sqrt{(1 + 0.01\omega^2)(1 + 0.25\omega^2)(1 + \omega^2)}} \quad (3)$$

- 2) 式(1)の伝達関数 $G_p(s)$ のプロセスを, 比例調節計を用いて図3のようにフィードバック制御する場合, この制御系が安定となる比例ゲイン K_p の範囲を求めよ。
- 3) 図3の調節計を比例調節計から比例積分 (PI) 調節計に変更する場合を考える。図3の制御系において, ステップ状設定値変更 ($0 \rightarrow 1$) をした際の定常偏差 (オフセット) を求めよ。導出過程を必ず示すこと。ただし, 伝達関数 $G_p(s)$ は式(1)と同じとし, 積分時間は T_i とする。
- 4) 式(1)のプロセスがむだ時間 L_p を含むと, 伝達関数は式(4)のようになり, プロセスは不安定になりやすくなる。このとき, 設問3)の制御系が持続振動を起こし不安定になるのは, ゲイン条件と式(5)で示す位相条件を同時に満たすときである。

$$G'_p(s) = G_p(s)e^{-L_p s} \quad (4)$$

$$\text{イ} - \tan^{-1}(0.1\omega) - \tan^{-1}(0.5\omega) - \tan^{-1}(\omega) - \text{ウ} = \text{エ} \quad (5)$$

ここで, 式(5)の左辺第1項はPI調節計による位相遅れ, 左辺第2項から第4項は式(1)を3つの1次遅れ要素を直列につなげた場合の伝達関数と考えたときの各1次遅れ部分の位相遅れ, 左辺第5項はむだ時間部分での位相遅れである。

および に適切な文字式, に適切な記号をそれぞれ入れよ。

【問3】図4は、加熱炉により反応器に供給する原料の温度を制御するシステムの模式図である。いま、外乱により燃料の流量が変化した場合に、迅速に対応できるように、2次ループを導入しカスケード制御を行う場合を考える。設問1) および2) に答えよ。

1) カスケード制御を行うために、具体的に2次ループをどのように導入すべきか模式図を描け。なお、温度計、流量計、温度制御用調節計、流量制御用調節計等のうち、必要なものについては、どのような形で描いてもよいが、それがわかるように説明を加えること。

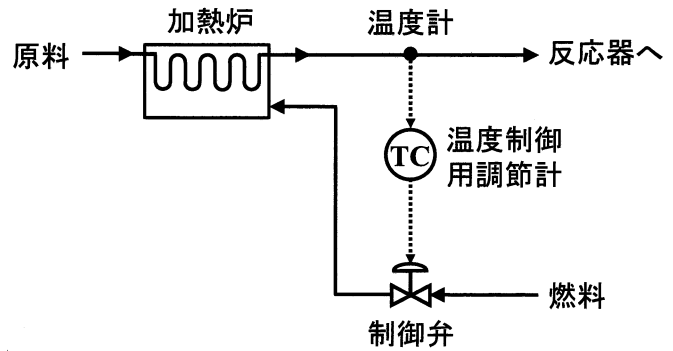


図4

2) 1次ループのプロセスおよび調節計の伝達関数をそれぞれ $G_{p1}(s)$ および $K_1(s)$, 2次ループのプロセスおよび調節計の伝達関数をそれぞれ $G_{p2}(s)$ および $K_2(s)$ として、カスケード制御に関する図5のブロック線図を完成させよ。ただし、 $U(s)$, $Y(s)$, $D(s)$ は、設定値、制御量および外乱(図4では燃料の流量変化を引き起こす外乱)である。

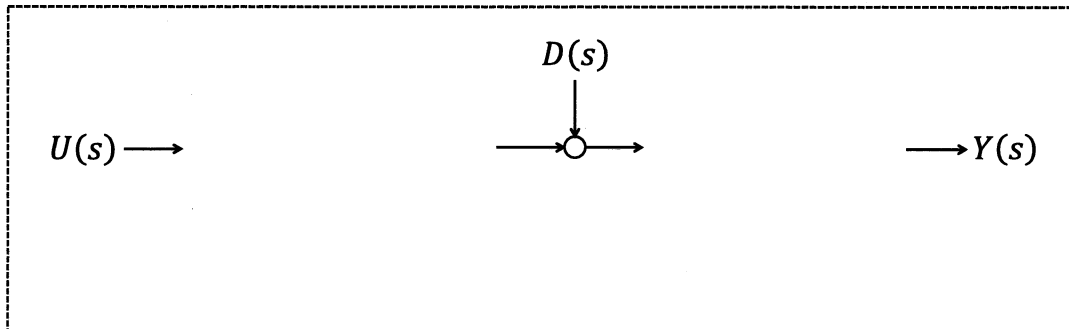


図5