

プロセスシステム

【問1】以下の用語群 (i)–(iii) から1つを選び、用語自体と、示されたキーワードをすべて用いて、250–300文字程度で内容を説明せよ。キーワードを用いる順序は問わない。文章を補足する図を1つ用いて説明してもよい。

(i) お金の時間的価値 (Time value of money)

キーワード：内部収益率 (IRR), 正味現在価値 (NPV), 割引率

(ii) ピンチ解析 (Pinch analysis)

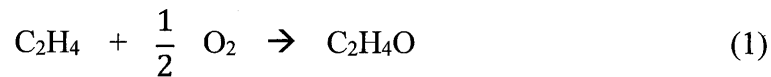
キーワード：ストリーム, 与熱流体, 受熱流体, 最小用役, 熱複合線図, ΔT_{\min} , 縦軸, 横軸

(iii) 最適化 (Optimization)

キーワード：目的関数, 制約条件, 設計変数, モデル変数, 自由度

【問2】以下の文章を読み、設問に答えよ。

エチレンは、空気中の酸素による酸化でエチレンオキシドへと変換される。



その際、下記の副反応も起きる。



フィードストリーム1 (FS1, 21mol% O₂, 79mol% N₂)とフィードストリーム2 (FS2, 100mol% C₂H₄)が10:1のモル比で混合されて、フィードストリーム3 (FS3)となる。FS3はリサイクルストリーム2 (RS2)と合流したのちに、フィードストリーム4 (FS4)として反応器に供給される。反応器に供給されるエチレンのうち、40%が反応(1)で消費され、20%は反応(2)により二酸化炭素と水になり、残りは未反応で反応器を出る。反応器出口ストリーム(RO)から、エチレンオキシドと水のみが全て分離されて製品ストリーム(Prod)となり、残りは全て回収されリサイクルストリーム1 (RS1)となる。RS1の一部は、システム内における化学種の蓄積を防ぎ定常運転を達成するため、パージストリーム(PurS)として分流し系外に排出、残りはRS2となる。

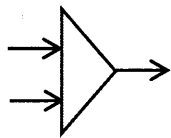
供給されるエチレンのモル流量を10 kmol/hとして、ストリームの各化学種のモル流量を表1に整理する。FS4中のエチレン、酸素、窒素、二酸化炭素のモル流量をそれぞれ k , l , m , n とおく。また、パージ操作におけるモル流量の比を $\text{RS2} : \text{PurS} = r : (1-r)$, $0 < r < 1$ とする。

表1 ストリームの各化学種のモル流量

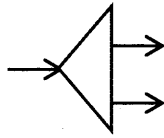
	C ₂ H ₄	O ₂	N ₂	C ₂ H ₄ O	CO ₂	H ₂ O
FS1	0	21	79	0	0	0
FS2	10	0	0	0	0	0
FS3	10	21	79	0	0	0
FS4	k	l	m	0	n	0
RO	(ア)	(エ)	m	(ケ)	(コ)	(ス)
RS1	(ア)	(エ)	m	0	(コ)	0
RS2	(イ)	(オ)	(キ)	0	(サ)	0
PurS	(ウ)	(カ)	(ク)	0	(シ)	0
Prod	0	0	0	(ケ)	0	(ス)

表中の単位: kmol/h

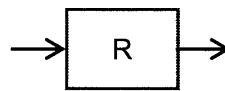
- 1) このプロセスのプロセスフロー図を答案用紙上に描け。その際、下記のような記号を用い、文中に記載のあるストリーム名(FS1などの略記法)をすべて図中に書き込め。



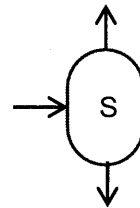
混合・合流器



分流器



反応器



分離器

- 2) 表1の空欄(ア)～(ス)に該当する各ストリームの化学種の流量を、 k, l, m, n, r を用いてそれぞれ適切な文字式で示せ。
- 3) パージストリームを設けない場合、システム内に蓄積する化学種をすべて答えよ。
- 4) プロセスシステムが定常運転できると仮定し、パージストリームで失われるエチレンの量が、FS2で供給されるエチレンの8%とするとき、 r を小数点以下3桁まで決定せよ。その際、計算の過程も整理して示せ。

【問3】 以下の文章を読み、設問1)～5)に答えよ。

プロセスの制御を行う際に、しばしば、外乱に対する対応が必要な場合が生じる。例として、組成の異なる2つの溶液をタンクに供給して混合し、タンクから流出させる溶液の組成を所定の値に制御するプロセスを考える。一方の溶液の流量を調節して制御を行う場合、他方の溶液の流量が一定であれば、制御は比較的容易である。しかし、他方の溶液の流量が変化する場合には、この変化はプロセスに対して外乱として作用するため、制御が難しくなる。

外乱があるプロセスにおいては、設定値に対してだけでなく、外乱に対してもプロセスを安定に操作することが求められる。図1に、外乱があるプロセスをフィードバック制御する場合のブロック線図の例を示す。 G_c 、 G_v 、 G_p 、 G_m 、 G_d はそれぞれ調節計、制御要素、プロセス、センサー、外乱に対する伝達関数である。このうち、 G_c 、 G_v 、 G_p は以下のように与えられる。なお、 K_c は比例ゲイン、変数 s は複素数である。

$$G_c = K_c, \quad G_v = \frac{1}{5s + 1}, \quad G_p = \frac{1}{2s + 1}$$

このプロセスについて、設定値 (Y_{sp}) および外乱 (D) の両方に対して、出力 (Y) を安定に制御することを考える。

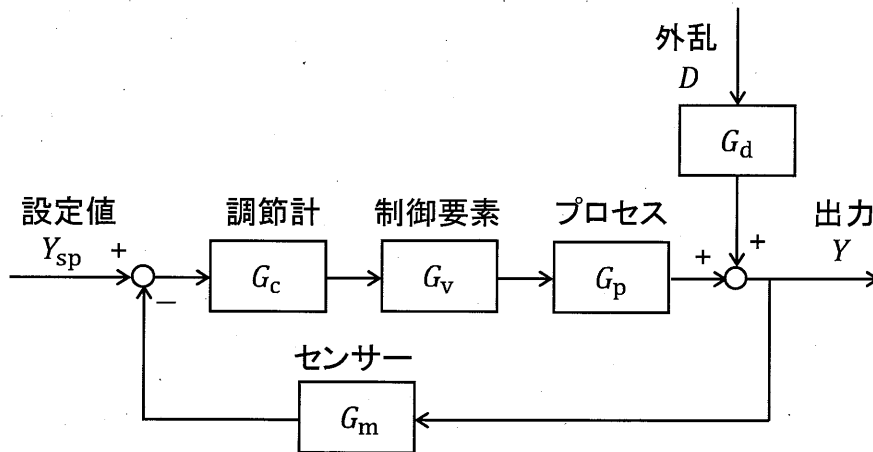


図1 外乱があるプロセスのフィードバック制御系

- 1) 外乱がない場合 ($D = 0$) の設定値 Y_{sp} と出力 Y との関係を表す伝達関数を求めよ。
- 2) 外乱がない場合 ($D = 0$)、センサーの伝達関数 G_m が以下のように与えられるとき、プロセスが安定に動作する K_c の範囲を求めよ。なお、 $K_c > 0$ とする。

$$G_m = 1$$

- 3) 設問2)においてセンサーの応答による遅れを無視することができず、伝達関数 G_m が以下で与えられるとき、プロセスが安定に動作する K_c の範囲を求めよ。なお、 $K_c > 0$ とする。

$$G_m = \frac{1}{s+1}$$

- 4) 外乱がある場合 ($D \neq 0$) の外乱 D と出力 Y との関係を表す伝達関数を求めよ。
- 5) 外乱があるプロセスでは、設定値に対して最適な応答をするように調節計の値を決めても、外乱に対して最適な応答をするとは限らない。逆も同様に、外乱に対して最適な応答をするように調節計の値を決めても、設定値に対して最適な応答をするとは限らない。このような場合には、新たに補償要素を加え、調節計とは独立して設定できるようにした制御系が用いられる。これを2自由度制御系という。その場合、補償要素 F をどのように加えれば良いか、ブロック線図を描いて示せ。また、その場合の入出力関係の伝達関数、すなわち設定値 Y_{sp} と出力 Y との関係を表す伝達関数および外乱 D と出力 Y との関係を表す伝達関数を示せ。そして、調節計と補償要素を独立して設定できることを、入出力関係の伝達関数を用いて説明せよ。