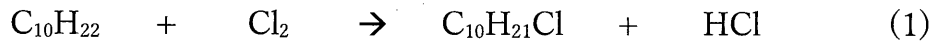


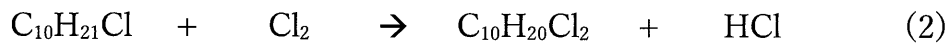
プロセスシステム

【問1】 文章を読み、以下の設問に答えよ。解答が数値を含む場合は有効数字を2桁とし、導出過程も記述すること。

モノクロロデカン(MCD)を製造する事業で用いるプロセスについて検討する。このプロセスでは、式(1)のようにデカン(DEC)と塩素を反応させて、MCDを製造する。



このとき、式(2)のような副反応が必ず進行してジクロロデカン(DCD)が生成する。



すべての分離操作は蒸留で行うものとし、分子量、沸点、市場価格は表1のとおりとする。また、蒸留では沸点差によって化学種を理想的に分離できると仮定してよい。

表1

物質	分子量 (g/mol)	沸点 (K)	市場価格 (\$/kg)
塩化水素 HCl	36	188	0.32
塩素 Cl ₂	71	239	0.21
DEC C ₁₀ H ₂₂	142	447	0.27
MCD* C ₁₀ H ₂₁ Cl	176	488	0.45
DCD* C ₁₀ H ₂₀ Cl ₂	211	514	0.00**

*MCD, DCD はそれぞれ単一の化合物として考える

**この事業では、DCD は不要物であるため市場価格が見つからないものとする

- 1) まず、式(1), (2)がそれぞれ進行し、反応原料である塩素とDECのどちらも完全に消費されるようなMCD生産ができると考えると、図1のようなプロセス構成をとることができる。このとき、図1中の各ストリーム(S1-1~S1-8)に含まれるすべての化学種をそれぞれ答えよ。

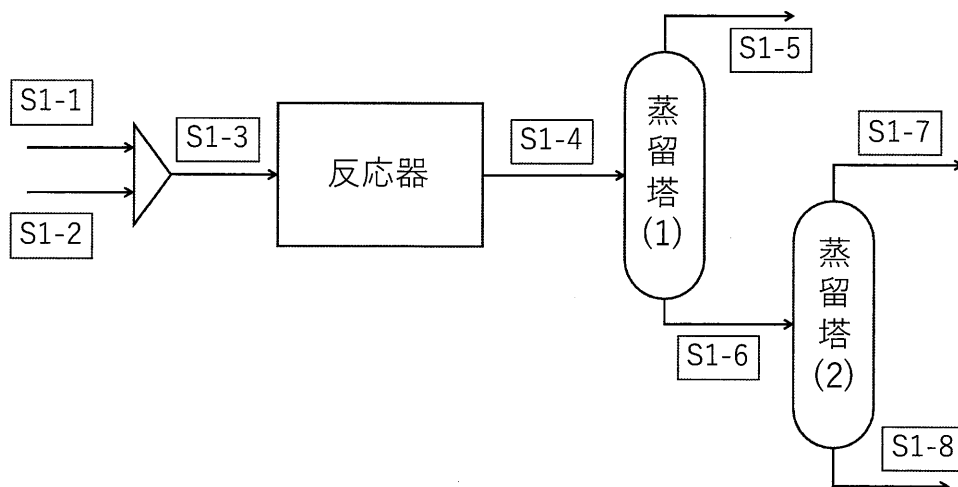
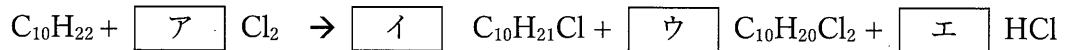


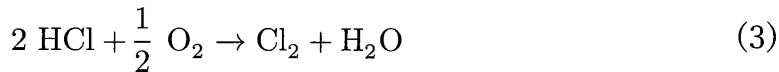
図1

- 2) 実際には、どちらの反応原料も反応器で完全には消費されない。この場合、図2のように蒸留塔を追加し、すべての未反応原料のリサイクルを実施する必要がある。図2の各ストリーム S2-4, S2-5, S2-7, S2-9 に含まれるすべての化学種をそれぞれ答えよ。
- 3) DEC を過剰に投入することで、供給した塩素を反応器において完全に消費できるとする。その際、式(1)の化学反応で生成した MCD のうち製品となるものの割合を、選択率 S と定義し、 $(1 - S)$ が式(2)により DCD を副生すると考える。反応制御の目標の目安とするため、達成すべき S を経済性の観点から検討したい。

- a) 式(1)と式(2)を足した、下記の総括反応式の量論係数 ア ~ エ について、 S を含む文字式で答えよ。



- b) 副生する塩化水素について、以下の2つの場合を想定する。それぞれの場合において、製品の市場価格と原料の市場価格に塩化水素に関わる収益またはコストを加えたものが釣り合う S を求めよ。
- i) 近隣のプラントに塩化水素を市場価格で販売できる場合
 - ii) 近隣のプラントに塩化水素を販売できないため、0.10 \$/kg で処理・廃棄を外部委託する場合
- c) 塩化水素を販売、あるいは処理・廃棄する代わりに、空気中の酸素を用いて式(3)のように塩素を発生させ、原料として回収することを考える。



DEC の化学量論係数を 1 とした新たな総括反応式を示し、この場合に製品の市場価格と原料価格が釣り合う S を求めよ。このとき、空気の利用と H_2O の排出は、無料で行えるものとする。また、式(3)により塩化水素を完全に消費することができ、発生した塩素は水に溶解することなく、全量を原料向けに回収できると考えてよい。

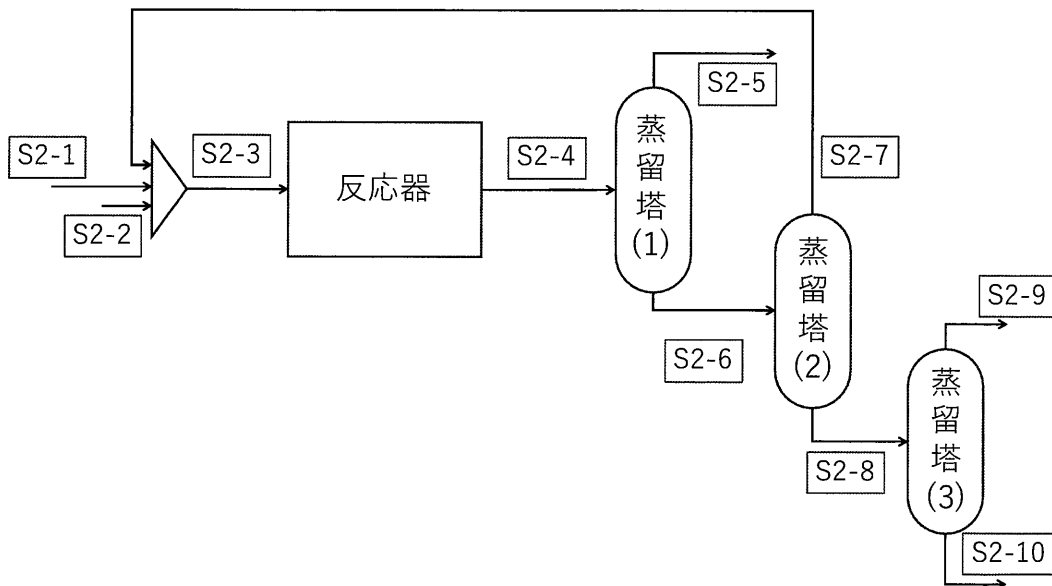


図2

【問2】以下の文章を読み、設問1)～3)に答えよ。

図3に示す断面積 A [m^2]のタンク内の液面の高さ $h(t)$ [m]を制御するシステムの設計について考える。流入液流量 $F_i(t)$ [m^3/s]が変動するため、液面の高さをレベルセンサー (LT) で測定し、制御弁によって流出液流量 $F_o(t)$ [m^3/s]を操作して、液面の高さを設定値 h_{SP} [m]に維持したい。

制御対象プロセスの動的モデルは、液量に関する物質収支より、次式で与えられる。

$$\frac{dh(t)}{dt} = \boxed{\text{ア}} \tag{1}$$

ここで、 $h(t)$ 、 $F_i(t)$ 、 $F_o(t)$ の定常値からの変化分をそれぞれ $\Delta h(t)$ 、 $\Delta F_i(t)$ 、 $\Delta F_o(t)$ とすると、次式が得られる。

$$\frac{d\Delta h(t)}{dt} = \boxed{\text{イ}} \tag{2}$$

$\Delta h(t)$ 、 $\Delta F_i(t)$ 、 $\Delta F_o(t)$ をラプラス変換したものを $\bar{h}(s)$ 、 $\bar{F}_i(s)$ 、 $\bar{F}_o(s)$ として、式(2)の両辺をラプラス変換すると、このプロセスの伝達関数モデルは次式のようにになる。

$$\bar{h}(s) = \boxed{\text{ウ}} \tag{3}$$

ただし、時刻 $t = 0$ において $\Delta h(0) = 0$ とする。

レベルセンサーの出力 $h_m(t)$ 、調節計の出力 $C(t)$ 、液面高さの設定値 h_{SP} のラプラス変換をそれぞれ $\bar{h}_m(s)$ 、 $\bar{C}(s)$ 、 $\bar{h}_{SP}(s)$ とする。いずれも、定常値からの変化分を表すものとする。レベルセンサーの応答は充分速く、レベルセンサーの出力と液面高さとは等しいと仮定する。

$$\bar{h}_m(s) = \bar{h}(s) \tag{4}$$

調節計の制御則に比例制御 (比例ゲイン $K_c > 0$) を用いると、調節計の出力とレベルセンサーの出力、設定値との関係は次式のようにになる。

$$\bar{C}(s) = \boxed{\text{エ}} \tag{5}$$

制御弁の応答、すなわち伝達関数が定常ゲイン k 、時定数 T の1次遅れで表されるとき、次式が得られる。

$$\bar{F}_o(s) = \boxed{\text{オ}} \bar{C}(s) \tag{6}$$

式(3)～式(6)より、このシステムの閉ループ応答は、次式のように表される。

$$\bar{h}(s) = \boxed{\text{カ}} \bar{h}_{SP}(s) + \boxed{\text{キ}} \bar{F}_i(s) \tag{7}$$

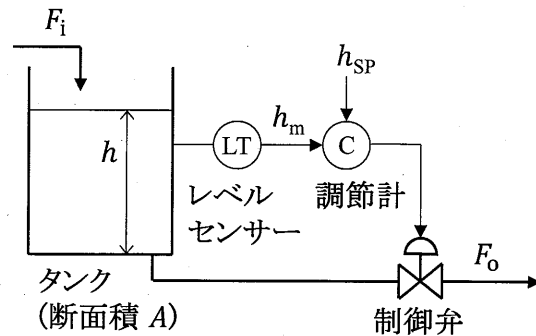


図3

1) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{キ}}$ に当てはまる適切な文字式を答えよ。

- 2) 設定値は一定, すなわち $\bar{h}_{SP}(s) = 0$ で, 外乱である流入液流量 $F_i(t)$ のみが単位ステップ変化したときの液面の高さ $\Delta h(t)$ の応答について, 時間が充分経過した後の値を示す文字式を求めよ。

- 3) 流入液流量が変化した際に液面の高さを設定値に維持するためには, 調節計の制御則をどのようにすればよいか。調節計の制御則を文字式で答えよ。その際, 適宜, 必要となる定数を定義せよ。また, その制御則を用いた場合に液面の高さが設定値に維持されることを示せ。