

## プロセスシステム

【問1】以下の文を読み、設問1)～3)に答えよ。

図1に示すように、体積  $V$  [m<sup>3</sup>] の混合槽（完全混合流れ）内の水溶液の濃度  $c$  [kg/m<sup>3</sup>] を、混合槽に供給する純水の流量  $q$  [m<sup>3</sup>/s] と、濃度  $c_A$  [kg/m<sup>3</sup>] の水溶液の流量  $f$  [m<sup>3</sup>/s] を調整することにより、設定値  $c_{st}$  [kg/m<sup>3</sup>] となるようにフィードバック制御することを考える。いま、 $c_A$  および  $V$  を一定とすると、混合槽の物質収支から式(1)が得られる。

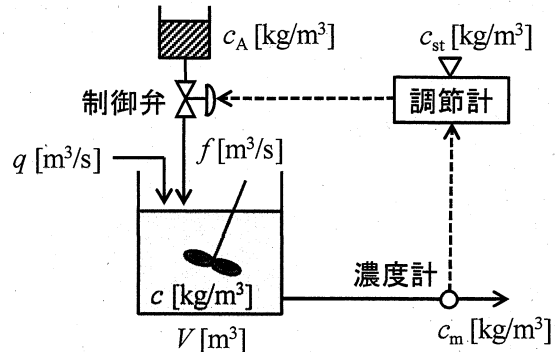


図1

$$V \frac{dc}{dt} = \boxed{\text{ア}} \quad (1)$$

ここで、濃度  $c_A$  の水溶液の流量を  $f_0$  [m<sup>3</sup>/s]、純水の流量を  $q_0$  [m<sup>3</sup>/s] に保つとき、平衡(定常)状態における混合槽内の濃度  $c_0$  [kg/m<sup>3</sup>] は次式により与えられる。

$$c_0 = \boxed{\text{イ}} \quad (2)$$

次に、 $c$ 、 $f$  および  $q$  の平衡値  $c_0$ 、 $f_0$  および  $q_0$  からの変化分をそれぞれ  $\Delta c$ 、 $\Delta f$  および  $\Delta q$  とすると、次式の微分方程式が得られる。

$$V \frac{d\Delta c}{dt} = -a\Delta c + b\Delta f - h\Delta q \quad (3)$$

ここで、 $a(>0)$ 、 $b(>0)$  および  $h(>0)$  は  $c_A$ 、 $f_0$ 、 $q_0$  からなる定数である。さらに、式(3)の両辺をラプラス変換すると次式を得る。

$$C(s) = \boxed{\text{ウ}} F(s) + \boxed{\text{エ}} Q(s) \quad (4)$$

ただし、 $C(s)$ 、 $F(s)$  および  $Q(s)$  は、 $\Delta c$ 、 $\Delta f$  および  $\Delta q$  をラプラス変換したものであり、 $\Delta c$  の初期値は0とした。

図1のフィードバック制御系において、混合槽の出口から濃度計までのむだ時間を  $L$  [s] とすると、 $C(s)$  と  $C_m(s)$  (濃度計の濃度  $c_m$  [kg/m<sup>3</sup>] の平衡値からの変化分  $\Delta c_m$  のラプラス変換したもの) は次式の関係となる。

$$C_m(s) = e^{-Ls} C(s) \quad (5)$$

また、濃度計、調節計および制御弁の伝達関数をそれぞれ、 $K_1(>0)$ 、定数)、 $G_c(s)$  および  $K_2(>0)$ 、定数) とすると、それぞれの入出力関係として次式を得る。

$$S_1(s) = K_1 C_m(s) \quad (6)$$

$$S_2(s) = G_c(s) \boxed{\text{オ}} \quad (7)$$

$$F(s) = K_2 S_2(s) \quad (8)$$

ここで、 $S_1(s)$  および  $S_2(s)$  は、濃度計および調節計の出力のラプラス変換したもの、 $C_{st}(s)$  は設定値に関して上で考えた平衡状態からの変化分をラプラス変換したものとする。

- 1)  から  に適切な式を解答せよ。
- 2) 図2は、図1のフィードバック制御系のブロック線図の一部（未完成図）を示している。このブロック線図の完成図を解答用紙に書け。なお、ブロック線図中の各伝達要素（ $\rightarrow$    $\rightarrow$ ）には具体的な伝達関数を示すこと。

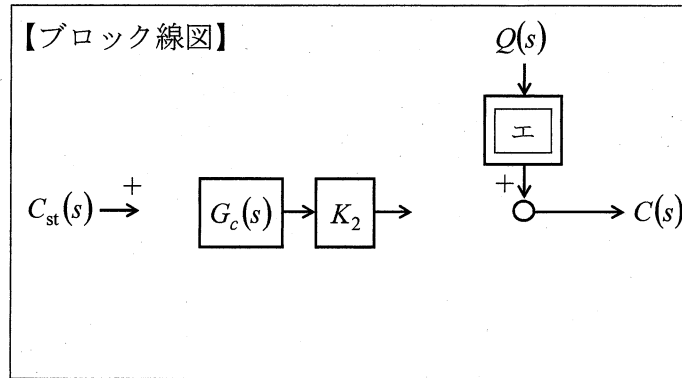


図2

- 3) 2) で完成させたブロック線図に従うと、設定値変更および純水の流量変化に対する混合槽内の濃度の応答に関する次式を得る。,  に適切な式を解答せよ。

$$C(s) = \text{カ} C_{st}(s) + \text{キ} Q(s) \quad (9)$$

【問2】 図3は1次遅れ（伝達関数  $G_p(s) = \frac{1}{s+2}$ ）とむだ時間で近似できるプロセスを比例調節計（比例ゲイン:  $K_p > 0$ ）によりフィードバック制御する場合のブロック線図である。設定値のステップ変化 ( $0 \rightarrow 1$ ) に対してこの制御系の応答が安定となる  $K_p$  の範囲を求めよ。また、この制御系の応答が安定かつ振動的となる  $K_p$  の範囲を求めよ。なお、指数関数は以下の1次Pade近似 ( $A$  は定数) で表現できるものとする。

$$e^{-As} \approx \frac{1 - \frac{A}{2}s}{1 + \frac{A}{2}s} \quad (10)$$

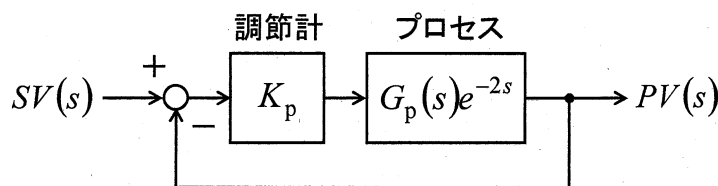


図3

【問3】図4に蒸留塔底部のリボイラー周辺の概略図を示す。蒸留塔底部の温度は、リボイラーの熱交換器に供給する一定温度のスチームの流量を操作することにより、制御している。いま、外乱によりスチーム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いたい。具体的に2次ループをどのように導入すべきか解答用紙に図を描き、簡単に説明せよ。なお、必要に応じて、設備群にある設備を使用せよ。また、解答用紙に描く図はカスケード制御であること（1次ループと2次ループの関係）が分かれば、図4のすべてを書かなくてもよい。

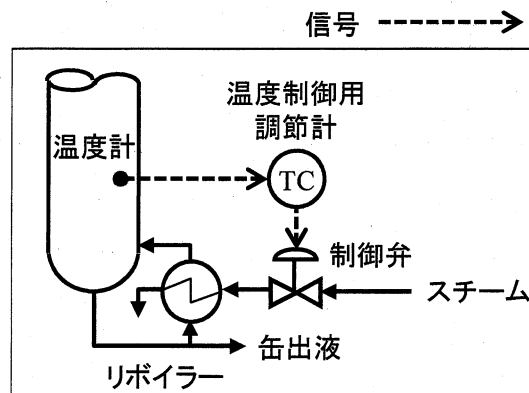


図4

