

平成14年度 プロセス制御工学試験問題

丁寧かつ明瞭な解答を心掛けること。解答が曖昧な場合は、採点の対象としない。電卓のみ持ち込みを許可するが、テキストやノートなどは一切持ち込んで서는ならない。

[問題] 図1に示す攪拌槽型混合プロセスの制御系を設計する。この混合プロセスでは、成分Xの濃度が異なる2種類の原料を混合し、指定された成分X濃度の製品を、指定された量だけ生産しなければならない。原料1および2の成分X濃度は C_1, C_2 [kg/m^3]、流量は F_1, F_2 [m^3/s]であり、混合器からの流出液(製品)の成分X濃度は C_3 、流量は F_3 である。なお、 $C_1 < C_2$ であり、 C_3 の設定値は常に C_1 以上 C_2 以下である。この混合器の断面積は一定で A [m^2]、液レベルは L [m]であり、内部は完全混合状態を仮定する。液密度は濃度や温度によらず常に一定で ρ [kg/m^3]とする。また、この混合プロセスにおいて測定されている変数は F_1, F_2, F_3, C_3, L の計5変数である。このとき、以下の問いに答えよ。

- 1-1. 全成分の物質収支式を導出せよ。
- 1-2. 成分Xの物質収支式を導出せよ。
- 1-3. このプロセスの状態方程式を示せ。
- 1-4. このプロセスの状態変数を示せ。
- 1-5. このプロセスの制御目的から判断して、制御変数としなければならない変数(変数名と記号)を2つ挙げよ。
- 1-6. このプロセスを安全に運転するためには、上記2変数を制御するだけでは不十分である。上記2変数に加えて、制御変数とすべき変数(変数名と記号)を1つ挙げよ。
- 1-7. このプロセスにおいては、どのような外乱が想定されるか。主要な外乱を1つ挙げよ。

ここまでで、制御系設計のための準備は整った。続いて、具体的な制御系設計に進む。このプロセスの操作変数は2つの原料と1つの製品の流量を調節するためのバルブ開度であり、流量 F_1, F_2, F_3 に対応するバルブ開度を V_1, V_2, V_3 とする。以下の問いに答えよ。

- 1-8. この混合プロセスには、制御変数が3つ、操作変数が3つある。これらすべての変数を同時に考慮して、3つの操作変数で3つの制御変数を制御する複雑な制御系を設計することもできる。このような制御手法を何と呼ぶか。その名称を答えよ。
- 1-9. 上記制御系を採用する代わりに、3つのSISO制御系を設計することもできる。このような制御手法を何と呼ぶか。その名称を答えよ。
- 1-10. 3つのSISO制御系を設計する場合には、各制御ループが他の制御ループに及ぼす影響を考慮して、適切に制御変数と操作変数とを組み合わせなければならない。各制御ループが他の制

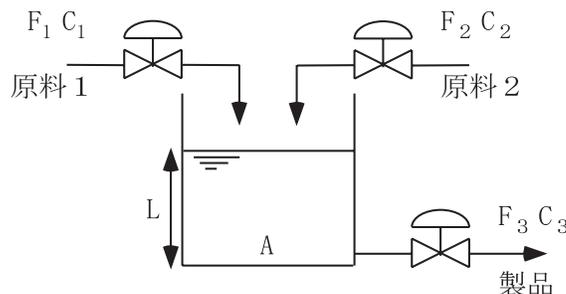


図1 攪拌槽型混合プロセス

御ループに及ぼす影響を何と呼ぶか．その名称を答えよ．

今回は 3 つの SISO 制御系を構築する．以下の問いに答えよ．

- 1-11. 制御変数と操作変数との適切な組み合わせを選択せよ．さらに，その組み合わせが明確にわかるように，解答用紙に混合プロセスの図を描き，3 つの制御系を図示せよ．なお，図を描く際には計装記号を用いるべきである．流量コントローラは FC，液レベルコントローラは LC，濃度コントローラは QC で表す（賢明な学生諸君には直感的に明らかなことだが，適切な組み合わせは一通りではない．複数の可能性があるが，組み合わせが適切である限り，どの解答も正解とする．）
- 1-12. 液レベル制御系において，液レベルをバルブ開度で直接制御する代わりに，バルブ開度で流量を制御する流量制御系を内側に，流量で液レベルを制御する液レベル制御系を外側に有する二重構造の制御系を考える．このような制御手法を何と呼ぶか．その名称を答えよ．
- 1-13. 上記の二重構造を持つ制御系のブロック線図を描け．なお，図中には，変数名を明記すること．
- 1-14. 上記の二重構造を持つ制御系において，流量制御は極めて正確かつ迅速に行われるものとする．内側の制御系の動特性を無視することができる．この場合，流量を操作変数，液レベルを制御変数とする制御系を設計すれば良い．先に導出したプロセスの状態方程式を利用して，操作変数である流量から制御変数である液レベルへの伝達関数 $P_1(s)$ を求めよ．
- 1-15. 流量を操作変数，液レベルを制御変数とする制御系に，その伝達関数が次式で与えられるコントローラを用いる．この制御の名称，および定数 K_P, T_I の名称を答えよ．

$$C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (1)$$

- 1-16. この液レベル制御系を採用する場合，ステップ状の設定値変更に対して，定常状態で偏差が残らないことを証明せよ．
- 1-17. この液レベル制御系について，液レベル設定値から液レベルへの閉ループ伝達関数 $H_{yr}(s)$ を求めたところ，次式が得られた．ステップ状設定値変更に対する応答は振動的か非振動的か，その理由と共に答えよ．

$$H_{yr}(s) = \frac{10s + 1}{10s^2 + 10s + 1} \quad (2)$$

ここまでは，液レベル制御について検討してきた．続いて，濃度制御系の設計に進む．操作変数であるバルブ開度から制御変数である製品濃度への伝達関数を求めるために，ステップ応答実験を行った．その結果，その伝達関数 $P_2(s)$ は次式のように表されることがわかった．以下の問いに答えよ．

$$P_2(s) = \frac{5}{20s^2 + 12s + 1} \quad (3)$$

- 1-18. 濃度制御には内部モデル制御 (IMC) を用いる．時定数が λ である 1 次の IMC フィルタ

$$F(s) = \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (4)$$

を用いるとして，IMC コントローラ $Q(s)$ を設計せよ．

- 1-19. 設計した内部モデル制御が PID 制御と等価であることを示せ．
- 1-20. IMC フィルタ時定数を λ_1 としたとき，その制御系のゲイン余裕は 30dB であった．IMC フィルタ時定数のみを調整して，ゲイン余裕を 15dB としたい．適切な時定数 λ_2 を求めよ．

以上