

## 問題 6

図（次頁）に示されるように、断熱壁で囲まれた容積  $V$  の容器を用いて密度  $\rho$ 、比熱  $C_p$  の液体を一定速度  $Q$  で加熱している。流入液流量および流出液流量はともに  $F$  であり、温度変化による  $\rho$  および  $C_p$  の変化は無視できる。容器内は液体の温度が均一となるように攪拌されており、温度制御のために液流量  $F$  を次式に基づいて制御している。

$$F = F_s + \alpha(T_m - T_{2,s}) \quad , \quad \alpha > 0 \quad (1)$$

ここで、 $T_{2,s}$  は制御目標温度、 $T_m$  は熱電対による測定温度、 $F_s$  は流出液温度が  $T_{2,s}$  で一定に保たれている定常状態における液流量、 $\alpha$  は定数である。

容器内の液体温度が  $T_{2,s}$  で定常に運転されていたが、何らかの理由により、流入液温度、流出液温度および液流量がわずかに変化した。このときの流出液温度の変化挙動について考える。

以下の設問に答えよ。ただし、容器内の液体積は  $V$  に等しいとしてよい。

- (a) 熱収支に基づいて、定常状態における流入液温度  $T_{1,s}$ 、 $F_s$  および  $T_{2,s}$  の間の関係式を導け。
- (b) 非定常状態における流入液温度、流出液温度、測定された液温度、および液流量をそれぞれ、 $T_1 = T_{1,s} + \Delta T_1$ 、 $T_2 = T_{2,s} + \Delta T_2$ 、 $T_m = T_{2,s} + \Delta T_m$ 、および  $F = F_s + \Delta F$  として次式を導け。

$$F_s(\Delta T_1 - \Delta T_2) - \frac{Q\alpha}{F_s\rho C_p} \Delta T_m = V \frac{d\Delta T_2}{dt} \quad (2)$$

- (c) 熱電対による測定温度変化は次式の 1 次遅れ系で与えられている。

$$\Delta \bar{T}_m = \frac{1}{s+k} \Delta \bar{T}_2 \quad , \quad k > 0 \quad (3)$$

ここで、 $k$  は 1 次遅れ時定数、 $\Delta \bar{T}_2$  および  $\Delta \bar{T}_m$  はそれぞれ  $\Delta T_2$  および  $\Delta T_m$  の像関数である。

$\Delta \bar{T}_1$  を入力、 $\Delta \bar{T}_2$  を出力とする場合の伝達関数  $G(s)$  を求めよ。

- (d) 漸近安定か不安定か、あるいは振動するかないかに注意して、 $\alpha$  の値の範囲に応じたステップ応答の挙動を記述せよ。