

## 4. PID による温度制御

### 1. 目的

ワンボードマイコンを用いてヒーターを PID 制御する方法について理解する。

### 2. PID 制御

三つのパラメータ proportional (比例), integral (積分), derivative (微分) のゲインを直感的にチューニングするだけで、ある程度の性能が確保できる制御方法であるため、広く使われている。

#### 2.1 PID 制御の伝達関数

PID 制御における操作量  $u(t)$  と偏差  $e(t)$  の関係は式(1)のようになる。また、式(1)の伝達関数は式(2)となり、伝達関数のブロック図は図 1 となる。ここで  $K_P$  は比例ゲイン、 $K_I$  は積分ゲイン、 $K_D$  は微分ゲイン、 $T_I$  は積分時間、 $T_D$  は微分時間となる。

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

$$K_c(s) = K_P + K_I \frac{1}{s} + K_D s = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2)$$

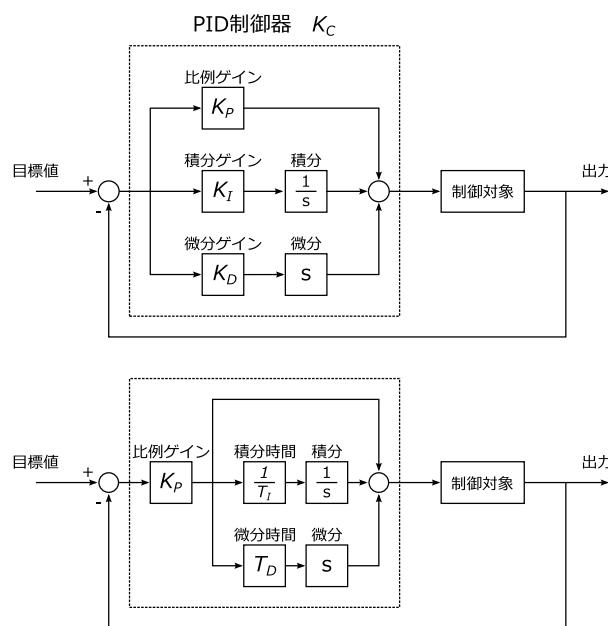


図 1 PID 制御のブロック図

PID 制御器では三つのゲイン  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  が用いられるが、制御系におよぼすそれぞれの要素の影響や効果は次の通りである[1].

#### 比例ゲイン : $K_P$

偏差の現在値に比例した制御入力を求める項。このゲインを上げるとシステムの応答性が増すと同時に、目標値の変化や外乱などによる偏差を抑制することができる。

#### 積分ゲイン : $K_I$ ( $K_P T_I$ )

偏差の積分値（偏差の累積）に応じた制御入力を求める項。このゲインを上げると低周波外乱の出力への影響を効果的に抑制することができる。

#### 微分ゲイン : $K_D$ ( $K_P T_D$ )

偏差の微分値（増減の動向）に応じた制御入力を求める項。このゲインを上げるとシステムの速応性を増すことができる。

## 2.2 パラメータ調整

### ステップ応答法

式(3)のような 1 次遅れ要素とむだ時間要素で近似的に表せるシステムを対象とし、開ループにおける制御対象のステップ応答波形を用いる。手順は以下の通りである。

$$G_P(s) = \frac{K}{1 + sT} e^{-Ls} \quad (3)$$

- (i) ステップ応答の測定結果、またはステップ応答の計算値から図 2 のむだ時間  $L$ 、変曲点の傾き  $R$  を読み取る。
- (ii) 表 1 に示す値に各パラメータを設定する。

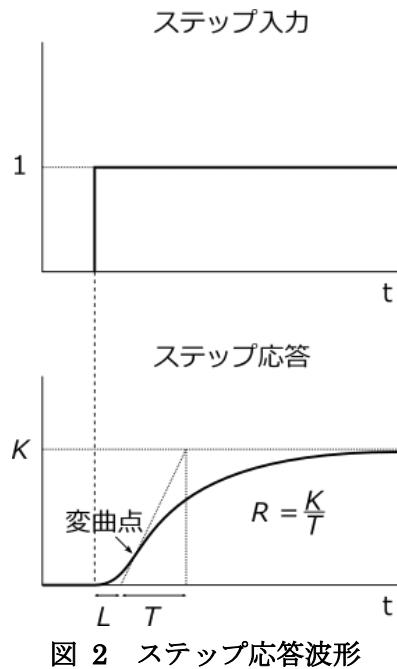


図 2 ステップ応答波形

表 1 ステップ応答法のパラメータ調整

	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P 制御	$\frac{1}{RL}$	—	—
PI 制御	$\frac{0.9}{RL}$	$3.3L$	—
PID 制御	$\frac{1.2}{RL}$	$2L$	$0.5L$

### 3. 実験方法

KENTAC3522S 温度制御実習装置を使用し、ヒーターの温度を 100°C に制御する。

#### 3.1 ON・OFF 制御

まずは手動で ON・OFF 制御を行い、特徴を理解する。

- (i) PidMonitor を起動し、温度制御を選択する。
- (ii) Auto ボタンのチェックを外し、開始ボタンを押す。
- (iii) MV (ヒータの出力) の値を 50.0% 程度に設定し、出力する。
- (iv) PV (ヒータの温度) の値が 100°C になるまで待つ。
- (v) 100°C を超えたら MV の値を 0.0% に設定し、出力する。
- (vi) 100°C を下回ったら(iii)へ戻る。

#### 3.2 P 制御

$T_I = 0$  (理論上は  $\infty$  だが実験機器の設定のため 0 とする),  $T_D = 0$  とし、比例制御のみを行い、特徴を理解する。

- (i)  $K_P$  の値を 1 にした場合の制御系の温度変化を観測する。
- (ii)  $K_P$  の値を 100 にした場合の制御系の温度変化を観測する。
- (iii) 3 分以内に目標温度  $\pm 10^\circ\text{C}$  となる適切な  $K_P$  の値を探し、温度変化を観測する。

#### 3.3 PI 制御

$K_P$  を上記で求めた値,  $T_D = 0$  とし、比例・積分制御を行い、特徴を理解する。

- (i)  $T_I$  の値を 1 にした場合の制御系の温度変化を観測する。
- (ii)  $T_I$  の値を 100 にした場合の制御系の温度変化を観測する。
- (iii) 3 分以内に目標温度  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  となる適切な  $T_I$  の値を探し、温度変化を観測する。

#### 3.4 PID 制御

$K_P, T_I$  を上記で求めた値とし、比例・積分・微分制御を行い、特徴を理解する。

- (i)  $T_D$ の値を 1 にした場合の制御系の温度変化を観測する.
- (ii)  $T_D$ の値を 100 にした場合の制御系の温度変化を観測する.
- (iii) 2 分以内に目標温度±0.5°Cとなる適切な  $T_D$ の値を探し、温度変化を観測する.

### 3.5 ステップ応答法

ステップ応答法により各パラメータを算出する.

- (i) Auto ボタンのチェックを外し、開始ボタンを押す.
- (ii) MV の値を 10%から 20%の間で設定し、出力する。この時の温度を初期温度とする.
- (iii) PV が一定値になったら停止ボタンを押す.
- (iv) 温度変化のグラフから  $L$ ,  $T$ を求める.
- (v)  $K$ ,  $R$ は以下の式(4)(5)(6)(7)から求める.

$$Y = \frac{(\text{最終温度} - \text{初期温度})}{200} * 100 [\%] \quad (4)$$

$$U = (\text{出力値}) [\%] \quad (5)$$

$$K = \frac{Y}{U} \quad (6)$$

$$R = \frac{K}{T} \quad (7)$$

- (vi)  $K_P$ ,  $T_I$ ,  $T_D$ を表 1 から求め、温度変化を観測する.

## 4. 考察

- (i) P 制御・PI 制御・PID 制御の特徴と、各制御に関する比例・積分・微分の各パラメータの影響についてまとめよ。（各制御の制御原理をもとに理由を示すこと）
- (ii) 3.4 と 3.5 で求めたパラメータと、その値を用いた P 制御・PI 制御・PID 制御による温度変化について、比例・積分・微分のパラメータの違いをもとに比較せよ。  
( $K_P$ ,  $K_P/T_I$ ,  $K_P T_D$ を計算し、比較を行うこと)

## 5. 報告事項

- (i) 以下の制御対象に対する PID 制御のパラメータ  $K_P$ ,  $T_I$ ,  $T_D$ をステップ応答法によって設計せよ.

$$G(s) = \frac{5}{2s + 4} e^{-3s}$$

## 参考文献

- [1]豊橋技術科学大学・高等専門学校制御工学教育連携プロジェクト（2012），制御工学，実教出版，pp.146-147