

4. PID による温度制御

電気電子工学科 X 年 X 組 番号 氏名

2025 年 12 月 4 日

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。

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

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

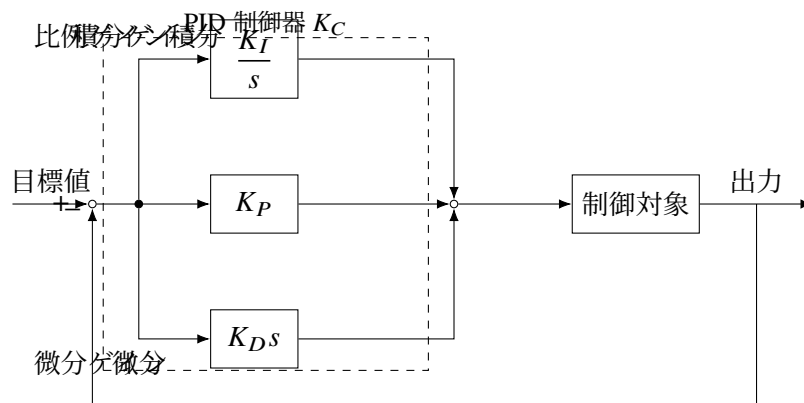


図 1 PID 制御のブロック図 (第 1 形式：並列型)

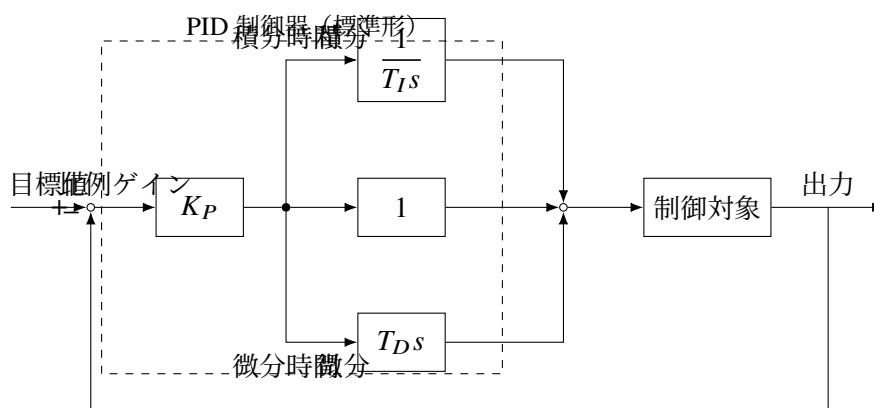


図 2 PID 制御のブロック図（第 2 形式：標準型）

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。

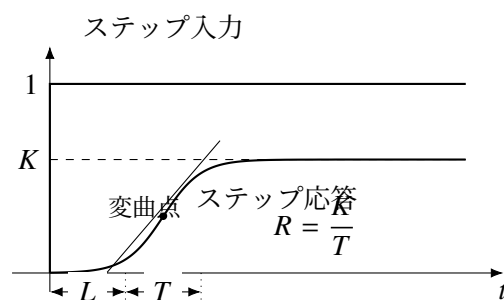


図3 ステップ応答波形

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．

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	$\frac{1.2}{RL}$	$2L$	$0.5L$

3.1 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 ∞ 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 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 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.

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

$$U = (\text{出力値}) [\%] \quad (5)$$

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

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

- (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.

$$G(s) = \frac{5}{2s + 4} e^{-3s} \quad (8)$$

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

補足説明

1. KENTAC3522S 温度制御実習装置について

1.1 (3 章) KENTAC3522S 温度制御実習装置の表記について

- **SV (Setting Variable):** 目標となる値 → (赤) 目標温度
- **PV (Process Variable):** 測定値 → (緑) センサ計測温度
- **MV (Manipulated Variable):** 操作量の大きさ → (青) 出力 (0~100%)
- **Auto:** 制御モード → ✓ (制御モード 自動)
- **Pid 設定 P:** → 比例係数
- **Pid 設定 Ti:** → 積分時間 (sec)
- **Pid 設定 Td:** → 微分時間 (sec)

1.2 (3.5 章) ステップ応答法について

ステップ応答法による各パラメータ (L, T, R) の算出手順

ステップ応答の画像データを Inkscape 等の画像編集ソフトに読み込み、下記の手順で作図の後、各パラメータを読み取り、算出する。

- 最終値 (K) に直線を引く。
- 開始値 (始めの値の平なところ) に直線を引く。
- ステップ応答の傾きが最大となるような接線を、開始値の直線 (ii) と最終値の直線 (i) とまで引き、開始値の直線との交点を a 点、最終値の直線との交点を b 点とする。
- (iii) の b 点から垂線を開始値の直線まで引き、交点を c 点とする。
- ステップ入力の開始～a 点までを L 、a 点～c 点までを T とし、一分間の目盛りと pixel 値の比例計算から、 L, T を読み取り、読取った T から R を算出する。

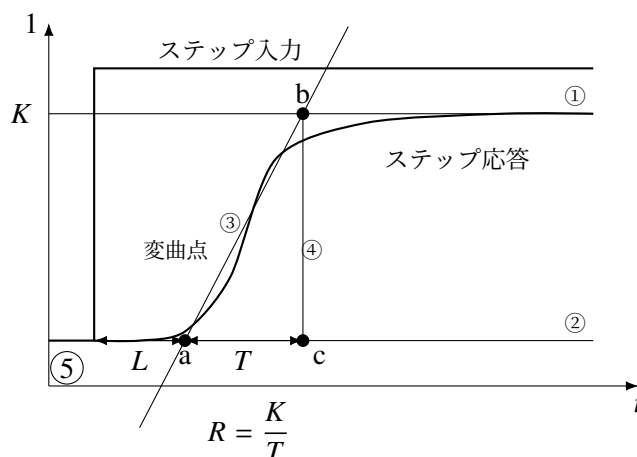


図4 ステップ応答波形とパラメータ算出の作図

2 実際の PID 調節器 (温度調節器) について

<https://www.fa.omron.co.jp/products/category/control-components/temperature-controllers/general-purpose/>