

自動制御 実習テキスト

目 次

1. 実習の概要	2
2. PID 実習セットの概要	3
2.1 機器構成	3
2.2 制御動作	3
3. 準備	3
4. 自動制御の実習スタート(フィードバック制御)	4
5. 比例動作(Proportional Action)	5
6. 積分動作(Integral Action)	6
7. 微分動作(Derivative Action)	7
8. PID 定数の調整手順(トライアンドエラー方式)	8
8.1 比例帯の調整	8
8.2 積分時間の調整	9
8.3 微分時間の調整	10
9. 制御対象の特性の測り方	11
10. PID 定数の最適調整	12

1. 実習の概要

実習の順序は必ずしも以下の順序にはこだわりませんが、最初はこのテキストの順に実習を行うことをおすすめします。

- (1) まず 4 項で、自動制御を開始します(フィードバック制御)。ここでは P,I,D 各定数の値にはこだわらず、とにかく自動制御を行ってみて、その感じをつかむことに重点をおきます。
- (2) 5～7 項では、P,I,D 各定数について、各々の効果を見ていきます。
- (3) 8 項では P,I,D 各定数の調整手順の実習を行います。
しかし、PID 制御における各 P,I,D の定数の調整は、制御対象の特性と密接に関連があり、制御対象の特性がわからないと適切な調整ができません。
- (4) 9 項では制御対象の特性の測り方の実習を行います。
- (5) 10 項では、制御対象の特性から、P,I,D 各定数を求めてみます。これを最適調整といいます。

これでこの PID 実習セットによる実習は終わりです。後ほど PID 制御について疑問が生じたときに、対象の項だけを復習すればよいでしょう。

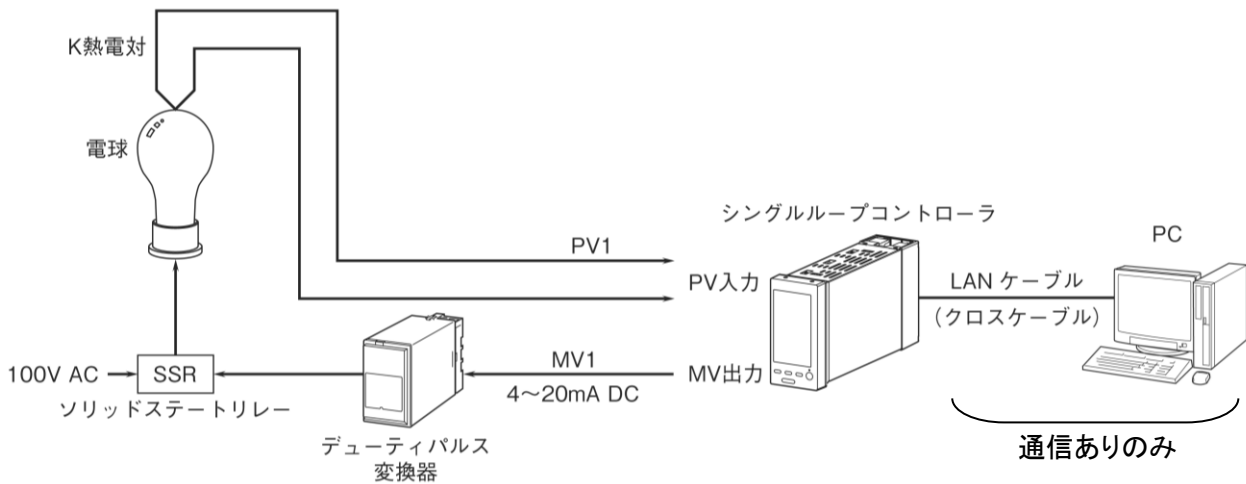
なお、PID 制御の理論については別冊の『PID 制御入門』を参照してください。

2. PID実習セットの概要

2.1 機器構成

この実習セットは、電球を制御対象とし、その表面温度をシングルループコントローラ内の PID 制御ブロックにより一定値に制御するものです。

PID 制御ブロックの入出力である温度測定値(PV)、制御目標値(SP)、および制御出力値(MV)は、シングルループコントローラの画面およびパソコン上の画面にリアルタイムで表示されます。



2.2 制御動作

電球の表面温度を、熱電対で検出し、シングルループコントローラへ入力します。0～200℃を 0～100%としてシングルループコントローラ内の PID 調節ブロックに測定値(PV)として入力されます。

PID 調節ブロックは、この測定値(PV)と温度設定値(SP)との偏差に PID 演算処理をして、演算結果を制御出力値(MV)の 4～20mA DC として出力します。

この 4～20mA DC をデューティパルス変換器(形式:MTD)で、デューティ比 0～100%のデューティパルス信号(周期が一定の矩形波電圧信号で、ON 時間／周期が 4～20mA DC に比例する)に変換します。

このデューティパルス信号によりソリッドステートリレーを駆動し、電球に供給する 100V AC を ON/OFF して、電球の表面温度を最終的に設定値(SP)に等しくなるように制御します。

3. 準備

最初に、電球の真上に熱電対の先端が密着するように熱電対の角度を調節してください。次に、電源を投入してください。

なお、各項目で制御モードやチューニングパラメータを変更する必要がありますが、設定方法については各操作取扱説明書を参照してください。

それでは、実習のスタートです。

なお、PID 実習セットは、周囲の条件(気温、電源など)により特性が変わります。そのため、実習の結果得られたデータにはばらつきがあることをお含みおきください。

4. 自動制御の実習スタート(フィードバック制御)

(1) 制御モードを「**手動操作(Man)**」にして、MV(制御出力)の値を **10%**に設定します。

(2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB(比例帯)	200	%
TI(積分時間)	1	min
TD(微分時間)	0	min

(3) SP(目標値または設定値)を **100℃**に設定します。

(4) PV(測定値)が一定になった時点で制御モードを「**自動操作(Auto)**」にします。
PV は SP にゆっくり近づきます。

(5) TI を **0.1min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。
PV の SP に近づく速さが(4)項より速くなります。

(6) PB=**100%**、TI=**0.1min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。
PV の SP に近づく速さが(5)項より速くなります。

(7) PB=**20%**、TI=**0.05min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。
PV の SP に近づく速さが(6)項より速くなります。MV は、発振気味(波を打つ状態)になります。

(8) SPとPVがほぼ一致したときに、**Auto(自動)→Man(手動)→Auto(自動)**の切り換えを行っても、MVはほとんど変化しません。偏差がなく積分動作が入っている状態では、切り換えてもMVは変わりません。

【この実習でわかること】

- ・自動制御(フィードバック制御)では、積分動作があってもMV(操作出力値)は一定速度で変化するとは限りません。
偏差がなくなるまでPV(測定値)は変化しますが偏差が減るにつれ、その速度はゆっくりしたものになります。
- ・偏差がなくなるまでの経過は比例帯、積分時間の大きさに変わります。比例帯が小さいほど、また積分時間が小さいほど、PVは速く変化します。
- ・偏差がない状態では、自動と手動を相互に切り換えても出力は変化しません。

【参 考】

- 調節計を実際の制御対象に適用するとき、自動制御のスタートは下記の方法により行うのが一般的です。
- 調節計を手動にし、出力を低い値から少しずつ上げて行きPVがSP(目標値または設定値)に近づくまで操作します。
- 自動に切り換えます。
- この方法では、大きな出力が急に制御対象に加えられる恐れがないので安全です。
しかし、やや時間がかかりますので、本実習では、本稿 5～7 項の方法で行います。

5. 比例動作 (Proportional Action)

偏差に比例した出力を出す動作。

(1) 制御モードを「**手動操作 (Man)**」にして、MV (制御出力) の値を **10%** に設定します。

(2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB (比例帯)	300	%
TI (積分時間)	0	min
TD (微分時間)	0	min

(3) SP (目標値または設定値) を **100℃** に設定します。

(4) PV (測定値) が一定になった時点で制御モードを「**自動操作 (Auto)**」にします。

MV は一時増加し、次にゆっくり減少し、いずれ一定になります。

PV は SP に近づきますが、一致はしません。

PV と SP の差を**オフセット (定常偏差)**といいます。

この画面を記録しておきます。

(5) PB を **100%** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

MV は一時増加し、次にゆっくり減少、いずれ一定になります。

PV は、(4)項より速く変化し、オフセットは減ります。

この画面を記録しておきます。

(6) PB を **20%** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

MV は一時増加し、次にゆっくり減少し、いずれ一定になります。

PV はゆっくり変化し、オフセットは減ります。

この画面を記録しておきます。

(7) PB を **3%** と小さくして、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

だんだん MV が発振 (大きく波を打つようになる) してきます。

この画面を記録しておきます。

【この実習でわかること】

- ・ 比例動作だけでは、偏差はなくなりません。この偏差をオフセット (定常偏差) といいます。
- ・ 比例帯を小さくするとオフセットは小さくなります。
- ・ 比例帯を小さくしていくと、いずれ出力が発振します。このとき、PV も同じ周期で発振します。

6. 積分動作 (Integral Action)

偏差の積分に比例した出力を出す動作。

(1) 制御モードを「**手動操作 (Man)**」にして、MV (制御出力) の値を **10%** に設定します。

(2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB (比例帯)	100	%
TI (積分時間)	1	min
TD (微分時間)	0	min

(3) SP (目標値または設定値) を **120℃** に設定します。

(4) PV (測定値) が一定になった時点で制御モードを「**自動操作 (Auto)**」にします。

MV はゆっくり変化します。
当初、オフセットが出ますが、これも積分動作 (I 動作) がはたらき少しずつ減少していきます。
この画面を記録しておきます。

(5) TI を **0.5min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

オフセットの減る速度が(4)項より速くなります。
この画面を記録しておきます。

(6) TI を **0.5→0.05→0.01min** と小さくし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

MV が発振 (大きく波を打つようになる) してきます。
この画面を記録しておきます。
「5. 比例動作」の(7)項、比例帯の発振状態と比較します。

【この実習でわかること】

- ・ 積分動作を加えると、オフセットをなくすことができます。
オフセットをなくす速さは、比例帯が小さいほど、また積分時間が小さいほど速くなります。
- ・ 積分時間を小さくして行くと、いずれ発振します。この時の発振の様子は比例動作だけの場合とはやや異なり、振動の周期は長くなります。

7. 微分動作 (Derivative Action)

測定値の変化速度(測定値微分形)に比例した出力を出す動作、または偏差の変化速度(偏差微分形)に比例した出力を出す動作。実習セットは、測定値微分形に設定されています。

(1) 制御モードを「**手動操作 (Man)**」にして、MV (制御出力) の値を **10%** に設定します。

(2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB (比例帯)	100	%
TI (積分時間)	0	min
TD (微分時間)	0.1	min

(3) SP (目標値または設定値) を **120°C** に設定します。

(4) PV (測定値) が一定になった時点で制御モードを「**自動操作 (Auto)**」にします。

MV はゆっくり変化し、オフセットが一定の値で残ります。

この時点で電球を一定の時間うちわなどで冷やします。電球表面温度の急激な温度低下 (外乱) を挽回するために微分動作 (D 動作) が働きますが、MV の変化は比較的ゆっくりしています。

この画面を記録しておきます。

(5) TD を **1.0min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

MV の変化は(4)項より大きくなります。

この画面を記録しておきます。

(6) TD を **3.0min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

MV の変化は(5)項より大きくなります。

この画面を記録しておきます。

(7) TD を **5.0min** にし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

MV の変化は(6)項より更に大きくなり発振ぎみになります。

この画面を記録しておきます。

「5. 比例動作」の(7)項、比例帯の発振状態と比較します。

【この実習でわかること】

- ・微分動作を加えると、外乱 (ここでは、電球をうちわなどで冷やす) の影響を速くなくすることができます。
- ・微分時間を大きくすると、外乱に対する出力の振れが大きくなります。微分時間が適当なら良い結果が得られますが、大きすぎると PV が安定しなくなります。
- ・微分時間を大きくしすぎると発振します。このときの振動の周期は比例動作だけのときより短くなります。

8. PID定数の調整手順(トライアンドエラー方式)

8.1 比例帯の調整

(1) 制御モードを「**手動操作(Man)**」にします。

(2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB(比例帯)	300	%
TI(積分時間)	0	min
TD(微分時間)	0	min

(3) SP(目標値または設定値)を **80℃**に設定します。

(4) 制御モードを「**自動操作(Auto)**」にします。

PV(測定値)が一定になった時点で、SPを **100℃**に設定します。
この画面を記録しておきます。

(5) PBを 300→100→20→3%と小さくし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

(6) (5)の操作から図 1 のような経過が得られます。

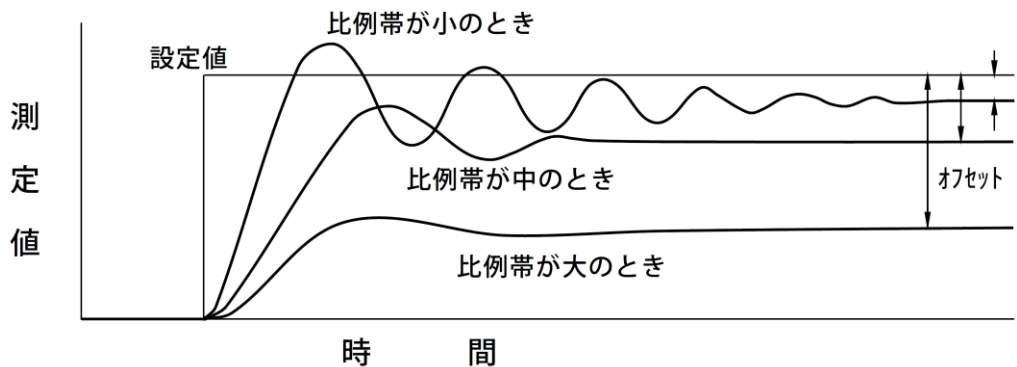


図 1 比例動作による制御経過の変化

(7) PB(比例帯)の値として、図 1 の「**比例帯が中るとき**」の波形になる値を採用します。

8.2 積分時間の調整

(1) 制御モードを「**手動操作 (Man)**」にします。

(2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB(比例帯)		%
	↑ 「8.1 比例帯の調整」の(7)項で得た値	
TI(積分時間)	2	min
TD(微分時間)	0	min

(3) SP(目標値または設定値)を **80℃**に設定します。

(4) 制御モードを「**自動操作 (Auto)**」にします。

PV(測定値)がほぼ一定になったところで **SP** を **100℃**に設定します。
この画面を記録しておきます。

(5) TI を 2.0、0.1、0.01min と小さくし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。

(6) そのうちに PV にやや長い周期の振動が現れます(図 2)。

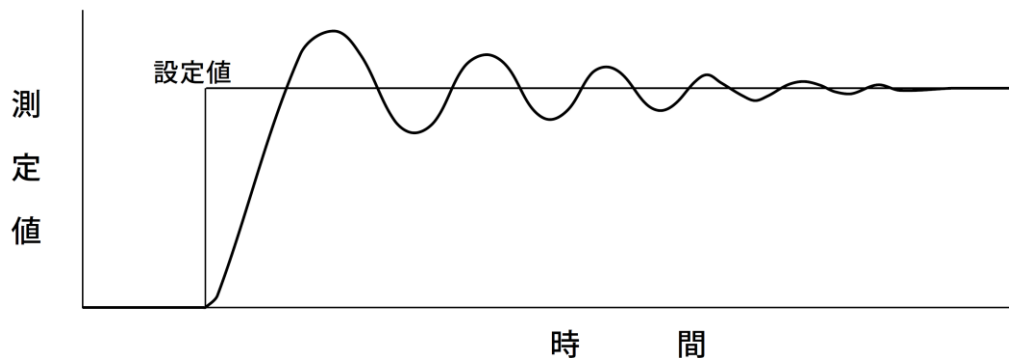


図 2 積分動作による測定値の振動

(7) TI(積分時間)の値として、**振動が現れる直前の値**を採用します。

8.3 微分時間の調整

- (1) 制御モードを「**手動操作 (Man)**」にします。
- (2) 下記のチューニングパラメータを設定します。

PB(比例帯)

 %

↑ 「8.1 比例帯の調整」の(7)項で得た値

TI(積分時間)

 min

↑ 「8.2 積分時間の調整」の(7)項で得た値

TD(微分時間)

 min

- (3) SP(目標値または設定値)を **80℃** に設定します。
- (4) 制御モードを「**自動操作 (Auto)**」にします。
PV(測定値)がほぼ一定になったところで SP を **100℃** に設定します。
この画面を記録しておきます。
- (5) TD を 0.1、1.0、5.0min と大きくし、(1)～(4)項と同じ操作を行います。
- (6) (5)項の操作の途中から PV に図 3 のような振動が現れます。

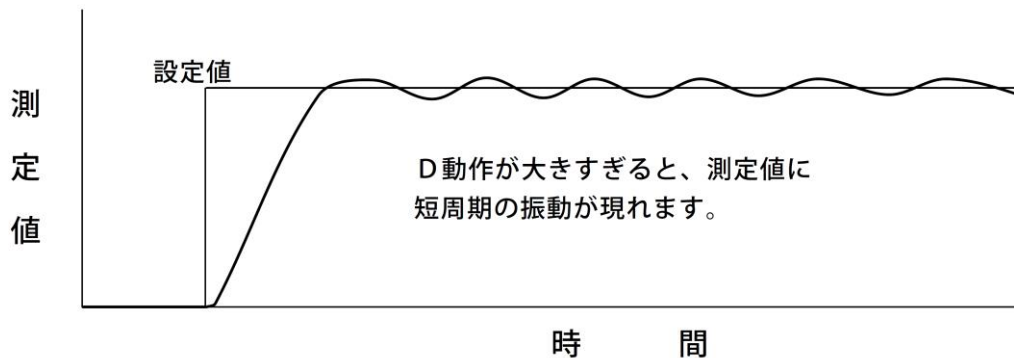


図 3 微分動作による測定値の振動

- (7) TD(微分時間)として、**振動が現れる直前の値**を採用します。

9. 制御対象の特性の測り方

測るべき制御対象の特性としては、等価むだ時間、等価時定数およびプロセスゲインがあります(『PID 制御入門』4・4 項参照)。

- (1) 制御モードを「手動操作(Man)」にし、MV を 20% にして、PV 値が一定値になった時点を読みます。
- (2) MV をステップ状に 60% に変更して、PV 値が一定値になった時点を読みます。
- (3) この値をグラフ化します。時間－PV 曲線の勾配が一番急なところに接線 AB を引き、これにより L と T を求めます(図 4)。
L が等価むだ時間、T が等価時定数(遅れ時間)です。

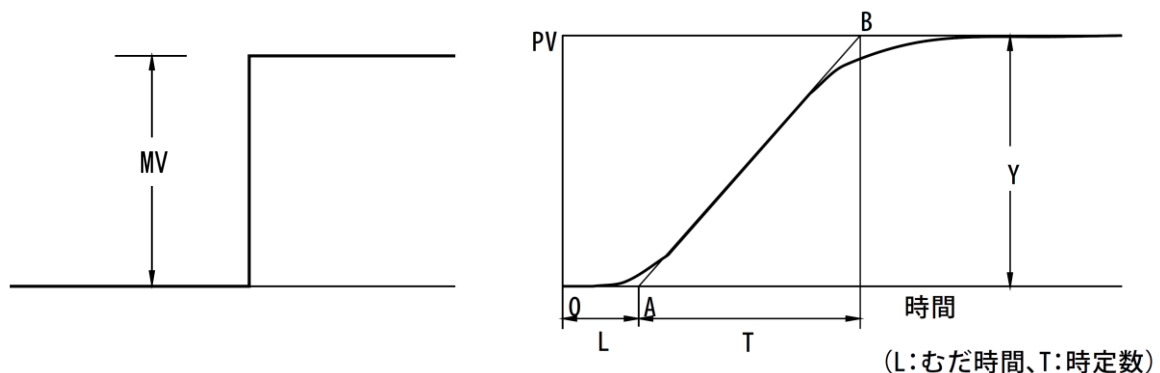


図 4 制御対象の特性の測り方

- (4) プロセスゲインは下記の式より計算します。これは PV 値の変化を%で表し、これを調節計出力(MV%)で割ったものです。

$$\text{プロセスゲイン}(K_P) = \frac{Y}{X} \times 100\% \div (60 - 20)\%$$

$$= \frac{(\text{MV60\%時のPV値}) - (\text{MV20\%時のPV値})}{200^\circ\text{C}(\text{PV値スパン})} \times 100\% \div (60 - 20)\%$$

- (5) なお、MV を 20% から 60% でなく、30% から 60% または 20% から 80% などとして実験すると、上記の値は変わります。できればこれらの実験も行ってみてください。

10. PID定数の最適調整

8 項で紹介した『PID 定数の調整手順(トライアンドエラー方式)』を使って「PID 実習セット」の P,I,D 各定数を求めてください。

9 項で得られた値を使って、最適調整の P,I,D 各定数を計算します。

8 項で説明した方法はトライアンドエラー方式であるのに対し、本項の方法は制御対象の特性から計算で求めるものです。そのため前の方法より時間はかかりませんが、近似的な方法なので、いつもぴったりと適合するとは限りません。

- (1) 9 項で得た値を表 1 に入れて、各 P,I,D の値を計算します。ここで、表の L は等価むだ時間、T は等価時定数(遅れ時間)、 K_p はプロセスゲインです。
- (2) 網掛けにした欄の計算式によって PB, TI, TD を計算し、これを 8 項で得た値と比較してください。

表 1 最適調整の PID 定数

提案者	タイプ*1	制御動作	PB(%)	TI(min)	TD(min)	ガイドライン
Ziegler Nichols	A,B	PI	$110K_pL/T$	3.3L		減衰比 25%
		PID	$83K_pL/T$	2L	0.5L	
Chien Hrones Reswick	A	PI	$167K_pL/T$	T		20%の行き過ぎの 最短応答
		PID	$105K_pL/T$	1.35T	0.47L	
	B	PI	$143K_pL/T$	2.3L		20%の行き過ぎの 最短応答
		PID	$83K_pL/T$	2L	0.42L	
	A	PI	$286K_pL/T$	1.2T		行き過ぎなしの 最短応答
		PID	$167K_pL/T$	T	0.5L	

*1 タイプ A:制御目標変更の場合、タイプ B:外乱対応の場合