

PID 制御の基礎

(MG ウェビナー用参考資料)

MG 株式会社エムジー

2024 年 1 月改定

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	PID 制御に関する基本的な用語	1
1.2	PID 制御の計算式	2
2.	オンオフ制御から PID 制御へ.....	3
2.1	温度制御の例.....	3
2.2	オンオフ動作.....	5
2.3	比例動作.....	6
2.4	積分動作.....	9
2.5	微分動作.....	11
2.6	PID 動作	12
2.7	測定値微分型 PID 動作.....	13
3.	PID 各定数の影響と調整の手順	13
3.1	比例帯の影響.....	13
3.2	積分時間の影響.....	14
3.3	微分時間の影響.....	14
3.4	PID 各定数の効果のまとめ	15
3.5	PID 各定数の調整手順	16
4.	PID 制御における最適調整	17
4.1	最適調整とは.....	17
4.2	PID 制御時の制御の経過	17
4.3	最適調整のガイドライン.....	18
4.4	プロセスの特性とその表し方.....	19
4.5	制御のしやすさ.....	20
4.6	最適調整の PID 定数.....	21

1. はじめに

自動制御技術は、いろいろな製品の製造工程に使われているばかりでなく、上水道、下水道、空気調和、輸送機関の操作など、人間生活のほとんどあらゆる所で使用されています。

自動制御を具体的に言えば、次のように説明できます。

「自動制御装置が、対象とする装置における温度、流量、液面、成分、速度などをオペレーターが望むように操作すること。」

この自動制御技術の基礎となるものが、PID 制御です。本テキストは、この PID 制御についてわかりやすく説明することを目的としています。MK ウェビナー「PID 制御の基礎」の予習とウェビナー受講後の復習にご活用ください。

1.1 PID 制御に関する基本的な用語

制御に関する基本的な用語は次のようになっています。

PV	: 測定値 (Process Variable)
SP (SV)	: 設定値 (Set Point)
MV	: 制御出力、調節計出力 (Manipulated Variable)
DV または e	: 偏差 (SP - PV) (Deviation)
P	: 比例動作 (Proportional Action)
I	: 積分動作 (Integral Action)
D	: 微分動作 (Derivative Action)

PID パラメータ

PB	: 比例帯 (Proportional Band)
TI	: 積分時間 (Integral Time)
TD	: 微分時間 (Derivative Time)

1.2 PID 制御の計算式

PID 制御の計算式は以下の通りです。

$$MV = K_C \times \left(e + \frac{1}{T_I} \int e \, dt + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

The diagram illustrates the components of the PID control equation. Three horizontal lines are drawn above the terms in the equation: the first line is above the error term 'e', the second line is above the integral term $\frac{1}{T_I} \int e \, dt$, and the third line is above the derivative term $T_D \frac{de}{dt}$. From the end of the first line, a vertical line goes down and then a horizontal line goes right to an arrow pointing to the text '比例動作(P)'. From the end of the second line, a vertical line goes down and then a horizontal line goes right to an arrow pointing to the text '積分動作(I)'. From the end of the third line, a vertical line goes down and then a horizontal line goes right to an arrow pointing to the text '微分動作(D)'.

K_C : 比例ゲイン = $100/PB$

PB : 比例帯

e : 偏差 = 設定値 (SP) - 測定値 (PV)

T_I : 積分時間

T_D : 微分時間

2. オンオフ制御から PID 制御へ

PID 制御の説明をする前に PID 制御がなぜ生まれたのかを温度制御を例として説明しましょう。

2.1 温度制御の例

図1に温水加熱器の例を示します。これはタンクに水を入れ、蒸気で加熱して所定の温度（これを**設定値 (SP)** という）にする装置です。

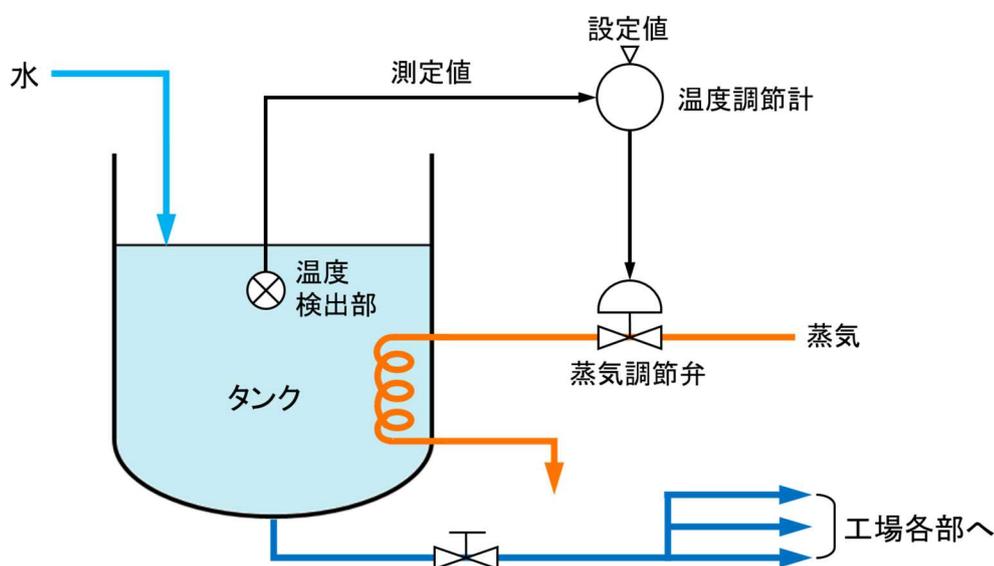


図1 温水加熱器の制御

タンクには温度検出部が取り付けられており、ここで得られた温度測定信号は温度調節計に送られ、設定値 (SP) と比較されます。温度調節計はこの差をなくす方向に操作信号を発信し、蒸気調節弁を操作します。蒸気調節弁は蒸気を供給する配管に設置されており、調節弁の開閉によって蒸気の流量が変化するようにになっています。

温度調節計を中心とした信号の流れを見ると、温度検出部→温度調節計→蒸気調節弁→温水タンク→温度検出部と、信号はぐるり、とループ状に廻っています。このときタンク内の温度が上がると、蒸気調節弁は閉まり、その結果タンク内の温度は下がり、最終的にはタンク内の温度は設定値 (SP) に一致することになります。この過程において、信号の変化の方向は逆になっています。

PID 制御の基礎

このようなやり方をネガティブ・フィードバック制御といい、自動制御の基本です。通常は単にフィードバック制御とっています。

上記の説明のうち、温度測定信号は制御の対象となる量なので、制御量というのが正しいのですが、このテキストでは**測定値 (PV)** と表現することにします。また、調節計から発信される操作信号は**調節計出力 (MV)** (または単に**出力**) ということにします。

自動制御の目的は一般に測定値 (PV) を設定値 (SP) に一致させることにあります。[設定値 (SP) - 測定値 (PV)] を**偏差 (e)** といいますが、自動制御の目的は偏差 (e) をゼロにすることにあるといってもよいわけです。

2.2 オンオフ動作

温水タンク内の温度を設定値 (SP) に一致させるには、温度が設定値 (SP) より低ければ調節弁を全開にして蒸気を流し、高ければ全閉にして蒸気を止めればよいはずですが。このような制御動作を**オンオフ動作**といいます。

しかし、オンオフ動作では通常、測定値 (PV) は設定値 (SP) より高くなったり、低くなったりと図のように波をうつように変動 (ハンチング) します。これは前述の信号の流れのあちこちに信号の遅れがあるからです。たとえば、タンク内の温度が設定値 (SP) に達して、調節計が調節弁を全閉にする信号を出しても、調節弁はただちには全閉になりません。そのため、蒸気はしばらく流れ、その結果、タンク内温度は設定値 (SP) をオーバーしてしまいます。

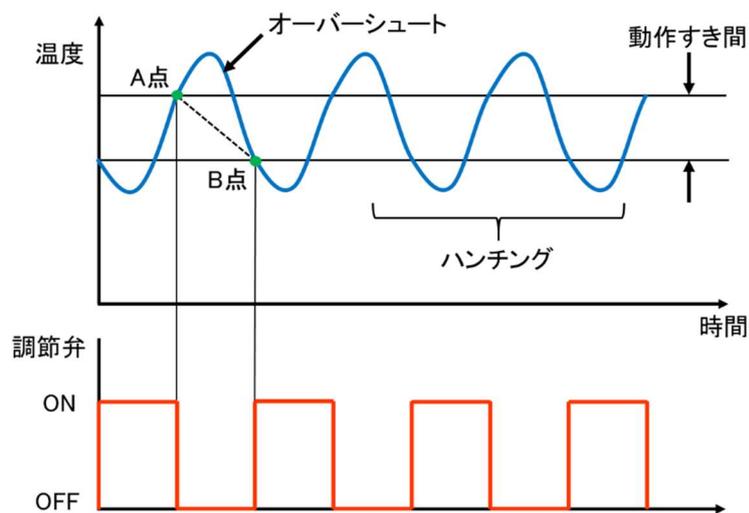


図 ON-OFF制御の結果

2.3 比例動作

このように測定値 (PV) が波を打つようになるのを防ぐため考えられたのが**比例動作**です。調節弁が全開か全閉のみの動作だけでは、測定値 (PV) が波をうつようになるため、もっと小刻みに動かせばよいのではないかと。そこで、調節計出力を偏差 (e) に比例して変わるようにしました。温度調節計の測定範囲を 0~100℃としたとき、偏差 (e) と出力の関係を図 2 に表します。実際にこのようにすると、温度が波を打つように変動することを防ぐことができます。このような制御動作を**比例動作**または**P 動作** (P は Proportional の頭文字) といいます。比例動作の制御出力式は以下のようになります。

$$MV = K_C \times e + b$$

K_C : 比例ゲイン = 100/PB e : 偏差 = 設定値 (SP) - 測定値 (PV)。 b : バイアス = 50%
 バイアスは、偏差 (e) がゼロのとき出力が 50% (一般的な値) になるように設定します。

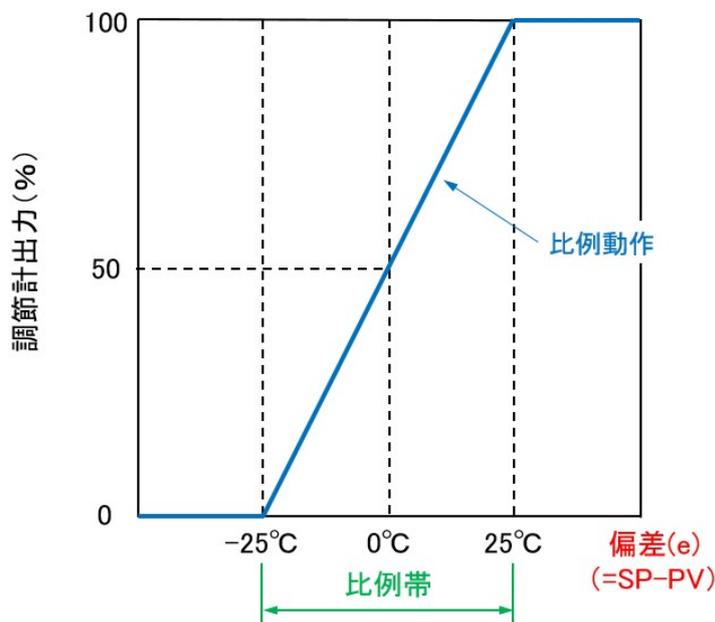


図2 比例動作

図 2 において偏差 -25~25℃の間は、調節計出力は偏差 (e) に比例しています。そこで、この範囲を**比例帯 (PB)** といい、通常調節計の測定範囲に対する % で表します。図 2 でいえば、測定範囲 100℃に対し、50℃なので 50%ということになります。比例帯を狭くするほど、偏差 (e) に対する調節計出力の変化は大きくなります。比例帯が 0% というのは、偏差

(e)が正（測定値が設定値より小さい）のときは出力が 100%、負（測定値が設定値より大きい）のときは、出力は 0%なので、オンオフ動作です。なお、比例帯の略号としては **PB** を使用します。

比例動作の調節計により図 1 のような装置を制御しますと、その制御の経過は一般に図 3 のようになります。

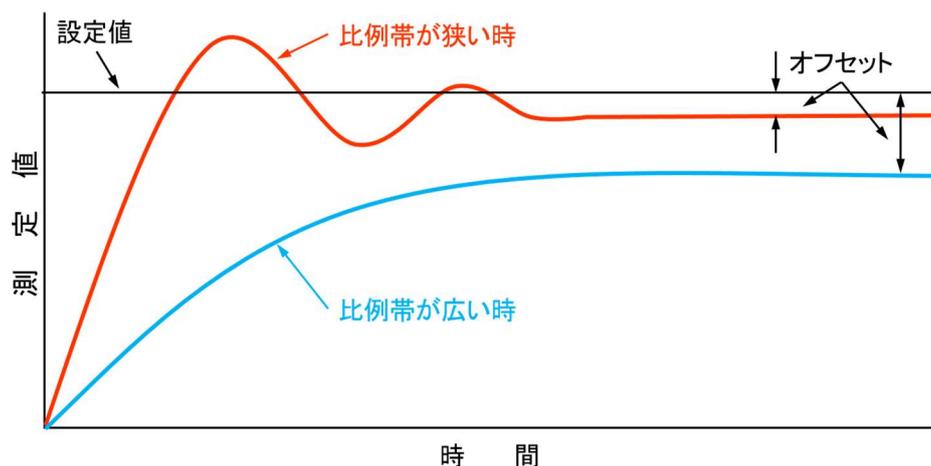


図3 比例動作による制御の経過

比例帯 (PB) が狭い (数字でいうと小さい) とオンオフ動作に近くなるので、測定値 (PV) は波をうつように変動します。一方、比例帯 (PB) を広く (数字としては大きい) すると、測定値 (PV) が波を打つことはなくなりますが、測定値 (PV) の動きはゆっくりしたものとなり、かつ最終的に偏差が残ります。この残った偏差を**オフセット**といいます。

自動制御の目的は、測定値 (PV) を設定値 (SP) に一致させることにあるので、オフセットが生じては困ります。そこで、なぜこのオフセットが生じたかを考えてみます。

図 1 の温水タンクにおいて、タンク内の水を加熱するのに必要な蒸気量は、タンクに入る水の温度と水の流量に左右されます。このタンクを通る水を加熱するのに必要な熱エネルギーは、

$$\text{水の流量} \times (\text{タンク内の水の目標温度} - \text{タンクに入る水の温度})$$

に比例するからです。あるとき、タンク内の水の温度を 75℃にするには、蒸気調節弁の開度を 65%にする必要があったとしましょう。しかし、図 2 に示した比例動作では、偏差 0

のときの調節計出力（ここでは蒸気調節弁開度に等しいと考えます）は 50%になっています。これでは、偏差をゼロにすることはできません。偏差をゼロにするためには、図 2 の比例動作の特性を変更して、偏差ゼロのとき調節計出力が 65%になるように修正すればよいことがわかります。この操作を人が行うことを手動リセットといいます。

オフセットの大きさがどのようなものかを図 4 により説明します。

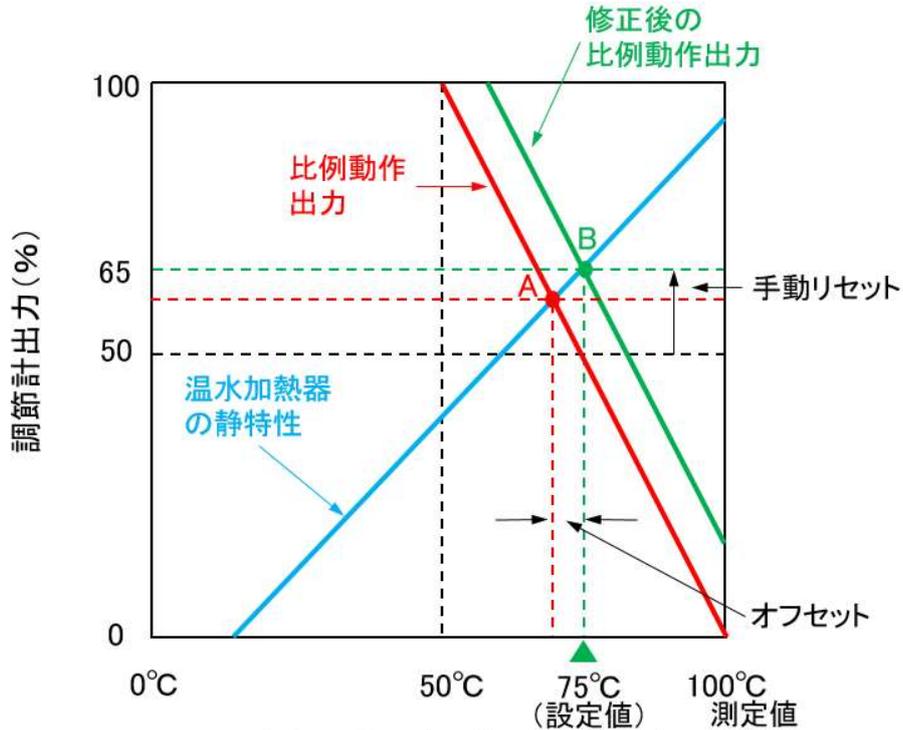


図4 オフセットの説明図

温水加熱器を通る水の流量とタンクに入る水の温度が一定であれば、蒸気調節弁開度とタンク内の温度の間には一定の関係があります。これを温水加熱器の静特性といい、図 4 には右上がりの線で示しています（調節計出力と蒸気調節弁開度は等しいと仮定します）。一方、測定値 (PV) と調節計出力 (MV) の関係は、図 4 の右下がりの線（比例動作出力）で示されます。これは内容的に図 2 と全く同じものです。この結果、温水加熱器の温度は、最終的にこの 2 本の線の交点 A となります。A 点の温度と設定値 (SP) 75°C の差がオフセットです。ここで、比例動作出力を修正して“修正後の比例動作出力”の線のようにすれば、最終的にオフセットはなくなります。

2.4 積分動作

温水加熱器の静特性は、ここを通る水の流量とタンクに入る水の温度に左右されることをすでに説明しました。ということは、これらが変わると温水加熱器の静特性は変わりますのでオフセットも変わります。手動リセットは文字どおり人間が修正するわけなので、これをいつもやるのは面倒です。そこで、これを調節計にやらせようということで登場したのが**積分動作**または**I 動作**（I は Integral の頭文字）です。

積分動作は偏差があるとき、これを時間に関して積分する動作です。これを比例動作に加えると、調節計に手動リセットと同じことをやらせることができます。図 4 でいえば、オフセットを積分して比例動作出力に加えるので、調節計出力は徐々に増加し、最終的には“修正後の比例動作出力”の値になります。

この点（B 点）ではオフセットはゼロなので、出力の増加は停止します。ここで、偏差がなくなっても積分動作出力はその値に保持されます。すなわち、積分動作出力が変化するのは、偏差が新たに発生したときだけです。

積分動作の強さは、一般に**積分時間 (T_I)** で表します。一定の値の偏差が調節計にステップ状に加えられたとき、比例動作および比例+積分動作の調節計出力は図 5 のようになります。このとき、積分動作による出力が比例動作による出力に等しくなるまでの時間を積分時間 (T_I) と定義します。積分時間 (T_I) が長いということは、出力はゆっくり変化することであり、動作としては弱いわけです。積分時間 (T_I) が短いということはその逆です。積分時間 (T_I) をゼロに近づけると、オンオフ動作のようになります。積分動作をなくすためには積分時間 (T_I) を無限大にすればよいのですが、これは現実的ではありません。そのため、通常の調節計では積分時間 (T_I) の目盛りをゼロにしたとき、積分動作をカットするように作られています。比例動作と積分動作の PI 制御出力式は以下のようになります。

K_C : 比例ゲイン=100/PB e : 偏差=設定値(SP) - 測定値(PV) T_I : 積分時間

$$MV = K_C \times \left(e + \frac{1}{T_I} \int e \, dt \right)$$

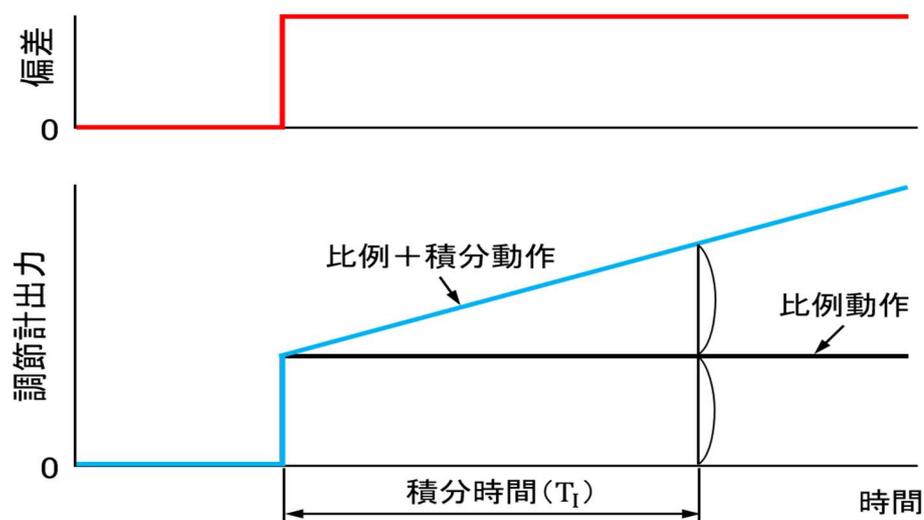


図5 比例+積分動作

2.5 微分動作

微分動作の目的は比例・積分動作の目的とかなり違います。図 1 の例でいいますと、もしタンクに入る水の温度が急に下がるとか、タンクに入る水に流量が急に増加したりすると、タンク内の水の温度は急激に低下します。このように測定値 (PV) に影響を与える要因を**外乱**といいますが、測定値 (PV) を外乱の影響から早く回復させるためには、一時的に比例・積分動作出力より大きな出力を加えることが必要です。温度が変化する速度は概ね外乱の大きさに比例すると考えて、温度すなわち測定値 (PV) の変化速度に比例する出力を加えます。測定値 (PV) の変化速度というのは測定値 (PV) を時間によって微分する値に相当しますので、この動作を**微分動作**または**D 動作** (D は Derivative の頭文字) といえます。

微分動作の強さは、**微分時間 (T_D)** で表します。偏差 (e) がランプ状に一定速度で変化するとき、比例動作および比例+微分動作の調節計出力は図 6 のようになります。このとき、微分動作出力が比例動作出力と等しくなるまでの時間を微分時間 (T_D) と定義します。微分時間 (T_D) が長いときは、微分動作出力が大きいので動作として強く、微分時間 (T_D) が短いときはその逆です。微分時間 (T_D) をあまり長くするとオンオフ動作と同じになります。また、微分時間 (T_D) ゼロでは微分動作は全く動きません。比例動作と微分動作の PD 制御出力式は以下のようになります。

K_C : 比例ゲイン = $100/PB$ e : 偏差 = 設定値 (SP) - 測定値 (PV) T_D : 微分時間

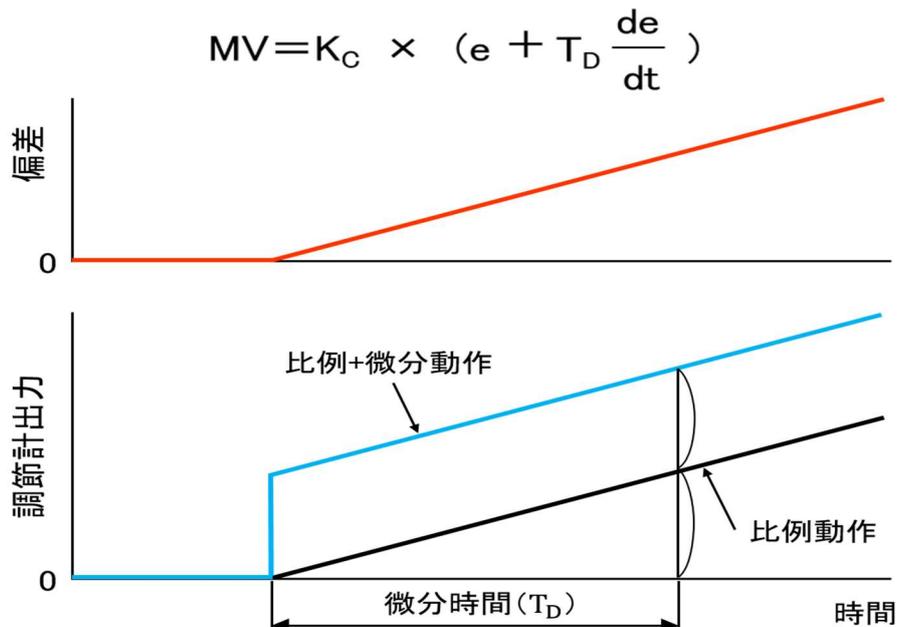


図6 比例+微分動作

2.6 PID 動作

以上説明したように、比例動作と積分動作は偏差 (e) をなくすために必要です。一方、外乱による影響を早くなくすために微分動作が必要です。そのため、この3つの動作を複合した制御動作が一般に用いられています。これをPID動作といい、現在ほとんどの調節計がPID動作を採用しています。また、PID動作に基づく制御方式をPID制御といっています。

PID動作を採用した調節計にステップ状の偏差 (e) を加えたときの出力を図7に示します。これは調節計単体でのテストのときの応答であり、実際の制御のときの応答ではありません。なお、このとき微分動作による出力は、論理的には一時的に無限大の大きさで、時間幅がゼロのパルスになります。これは実際にはあり得ないし、また実現しても制御対象に悪い影響を与えるため、実際の調節計では不完全微分を使用しています。これは簡単に言えば、微分によって生じる変化をやや鈍らせたものです。図7を参照してください。

PID動作の制御出力式は以下のようになります。

$$MV = K_C \times \left(e + \frac{1}{T_I} \int e \, dt + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

K_C : 比例ゲイン = 100/PB e : 偏差 = 設定値 (SP) - 測定値 (PV) T_I : 積分時間。 T_D : 微分時間

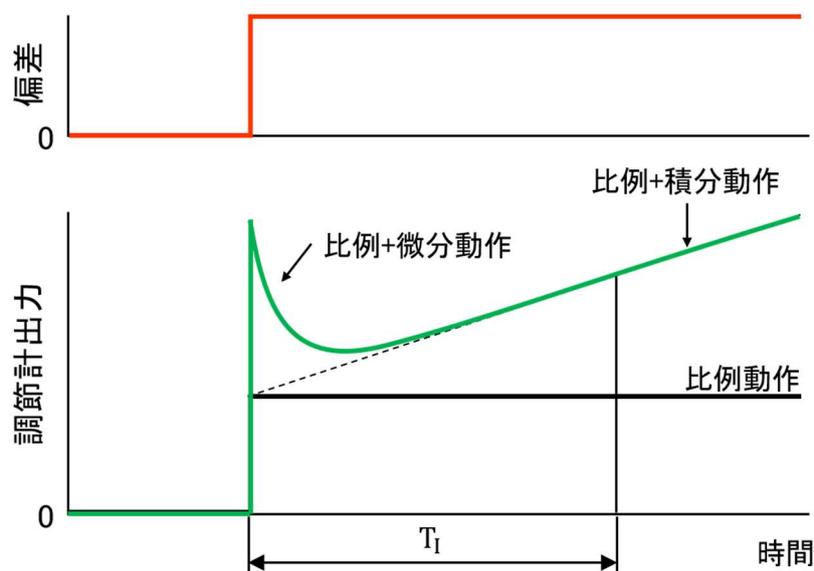


図7 PID調節計のステップ応答

2.7 測定値微分型 PID 動作

今までの説明では、偏差 (e) に対して PID の各動作を適用するとしてきました。しかし、偏差 (e) は [設定値 (SP) - 測定値 (PV)] ですから、設定値 (SP) を変更するときもこれらの動作が動きます。とくに微分動作が強い(微分時間= T_D が長い)と、運転員が設定値 (SP) を設定し直すたびに調節計出力が大きく変化することになります。これはあまり良くないため、微分動作を測定値 (PV) だけにさせる方式があります。これを**測定値微分型** (略して **PV 微分** または **微分先行型**) といいます。この場合は、設定値 (SP) を変える場合、比例動作と積分動作だけが動くことになります。設定値 (SP) をステップ状に変えたとき、偏差微分型と測定微分型の出力の変化を図 8 に示します。もちろん、外乱に対する応答は両方も同じです。

なお、設定値 (SP) を調節計の外部からの信号で与える制御方式 (これを追値制御という) のときは、偏差微分型を採用する方が多いのですが、この説明はここでは省略します。

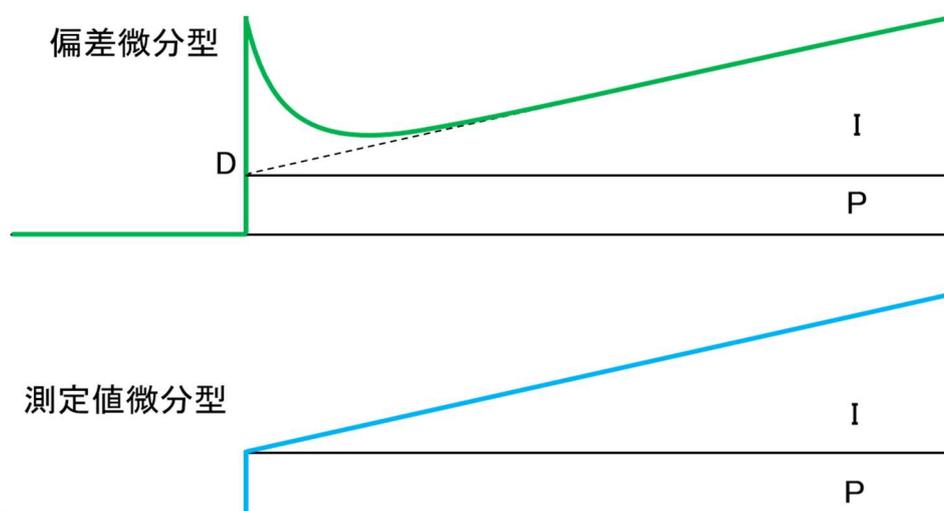


図8 偏差微分型と測定値微分型

3.PID 各定数の影響と調整の手順

3.1 比例帯の影響

2.3 で説明したように、比例帯 (PB) を小さくして行くと偏差 (e) に対する調節計の出力の変化は大きくなります。したがって、外乱による影響を早くなくし、かつ設定値 (SP) を変更したときの測定値 (PV) の追従性を速くすることができます。しかし、あまり小さくすると、測定値 (PV) の応答は振動的になり、ついには発振します。比例動作のみの調節計において、設定値 (SP) をステップ状に変えたときの測定値 (PV) の変化を図 9 に示します。

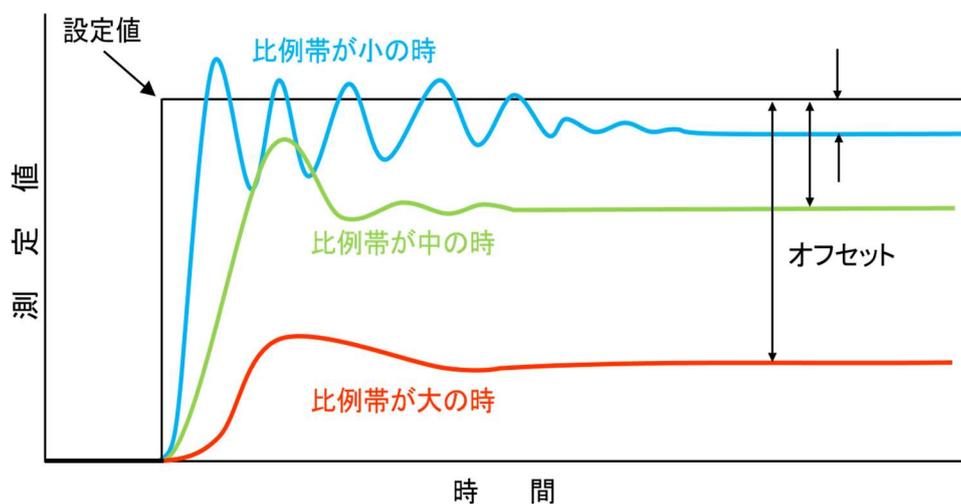


図9 比例帯の影響

3.2 積分時間の影響

積分時間 (T_I) は長いほど効果が弱く、短いほど効果が強くなります。積分時間 (T_I) を短くして行くと、偏差 (e) に対する調節計出力の変化速度は大きくなるので、オフセットを早くなくすことができます。しかし、あまり短くすると測定値 (PV) はゆっくり振動するようになります。(図 10 参照)。

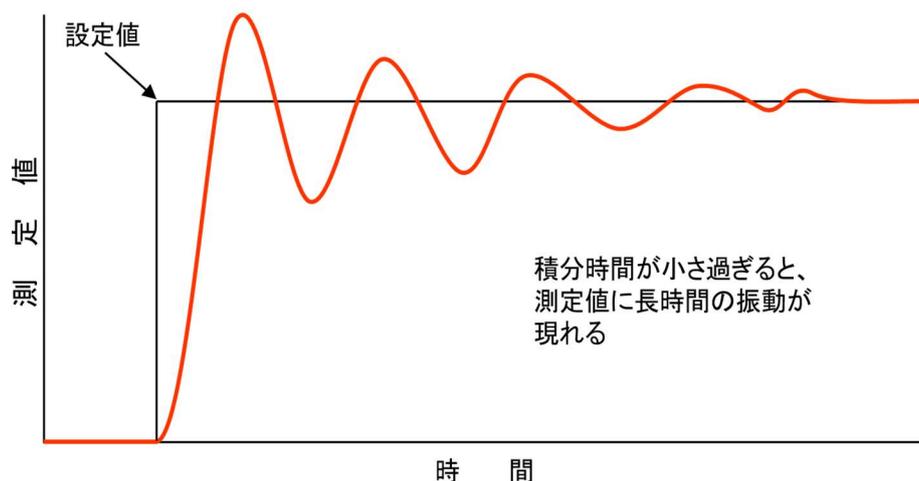


図10 積分時間の影響

3.3 微分時間の影響

微分時間 (T_D) は短いほど効果は弱く、長いほど効果は強くなります。微分時間 (T_D) を長くして行くと、外乱によって発生した偏差 (e) の変化に対して、調節計出力の変化量が大きくなります。したがって、外乱による影響を早くなくすことや、設定値 (SP) を変更したときの測定値 (PV) の追従性を高めることができます。しかし、長くしすぎると、測定値 (PV) に比較的短い周期の振動が現れます。さらに長くすると発振します。

なお、比例帯 (PB) を小さくすると振動的になると説明しましたが、微分動作を若干加えることにより、この振動を抑える効果があり、結果として比例動作だけのときより比例帯 (PB) を小さくすることができます。

3.4 PID 各定数の効果のまとめ

(1) 比例帯 (PB)

比例帯を小さくして行くと下記ようになります。

- ① 外乱や設定値 (SP) 変更への修正動作は速くなる。
- ② 応答は振動的になり、ついには発振する。
- ③ オフセットが減る (積分動作がない場合)。

(2) 積分時間 (T_I)

積分時間を短くして行くと下記ようになります。

- ① オフセットを早くなくせる。
- ② 応答は振動的になり、ついには発振する。このときの振動の周期は比例帯 (PB) を小さくしたことによる振動より長い。

(3) 微分時間 (T_D)

微分時間を長くして行くと下記ようになります。

- ① 外乱を早くなくせる。ただし、短い周期の外乱に対しては、調節計出力の振れが大きくなる。
- ② 振動的な応答を抑える効果があり、適切な時間を設定すれば、比例帯 (PB) を小さくすることができる。しかし、長すぎると再び振動的になり、ついには発振する。振動の周期は比例帯 (PB) を小さくしたことによる振動より短い。

(参考) 代表的な制御系の PID 設定

性 質	流量および 液体圧力	気体圧力	液 位	温度および 蒸気圧	成 分
比例帯[%]	100 ~ 500 50 ~ 200	0 ~ 5	5 ~ 50	10 ~ 100	100 ~ 1000
積 分	不可欠	不必要	まれに必要	使用	不可欠
微 分	使用不可	不必要	使用不可	不可欠	できるなら

3.5 PID 各定数の調整手順

以上述べたように、各定数とも効果を強くしすぎると測定値 (PV) は振動的になります。したがって、各定数とも効果が弱い方から強い方へと少しずつ変えて行き、振動が大きくなったらそこで止めるのが良いのです。調整の手順は、比例帯 (PB) → 積分時間 (T_I) → 微分時間 (T_D) の順に行います。

具体的には下記の手順が良いでしょう。

1. まず、積分動作、微分動作はカットし、比例動作だけとする。すなわち、積分時間 (T_I)、微分時間 (T_D) はゼロとします。
2. 比例帯 (PB) は大きい数字から小さい数字に変えて行きます。この各々について設定値 (SP) をステップ状に変えてみます。結果を確認し、その状況をメモしておくが良いでしょう。測定値 (PV) の振動が出てきたら、そこで止めます。
3. その比例帯 (PB) のままで、積分時間 (T_I) を大きい数字から小さい数字に変えて行きます。測定値 (PV) の振動が出てきたら、そこで止めます。
4. 以上の比例帯 (PB)、積分時間 (T_I) のままで、微分時間 (T_D) を少しずつ大きくして行きます。測定値 (PV) の振動が出てきたら止めます。
5. もう一度、比例帯 (PB) を小さくしてみます。たぶん若干小さくしても測定値 (PV) は振動しないでしょう。

4. PID 制御における最適調整

4.1 最適調整とは

前章で述べた調整の手順は、設定値 (SP) をステップ状に変えたとき、測定値 (PV) が振動しないことをガイドラインとしたものです。しかし、少しくらい振動しても測定値 (PV) が早く設定値 (SP) に一致すればよいというときもあります。むしろその方が多いともいえます。また、設定値 (SP) 変更の場合を主に考えるのか、外乱に対応することを主に考えるのかという選択もあります。

そのように、装置やプロセスを運転する人が、このようにしたいという結果を設定し、これを達成するように PID 定数を調整することを最適調整といいます。

4.2 PID 制御時の制御の経過

PID 制御において、ステップ状に設定値 (SP) を変化させると、測定値 (PV) はたとえば次ページの図 11 に示すように変化します。この例では、測定値 (PV) は一時的に設定値 (SP) をオーバーし、その後やや振動気味ながら設定値 (SP) に落ちついて行きます。この過程は、プロセスの特性により、また PID 定数により大きく変わります。

4.3 最適調整のガイドライン

制御の経過において一時的に測定値 (PV) が設定値 (SP) をオーバーしても、早く設定値 (SP) に到達する方がよい場合が多いでしょう。しかし、金属の熱処理や食品の殺菌などでは、測定値 (PV) が一時的でも設定値 (SP) をオーバーすると対象の物質の品質を落とすことになるので避けなければなりません。

そこで、図 11 における行き過ぎ量や減衰比が、最適調整のガイドラインとして使用されています。すなわち、最適調整とはそれらのガイドラインのもとに、できるだけ早く測定値 (PV) を設定値 (SP) に一致させる PID 定数を見いだすことにあるといえます。しかし、そのためには制御対象の装置 (以下プロセスという) の特性を知らなければなりません。

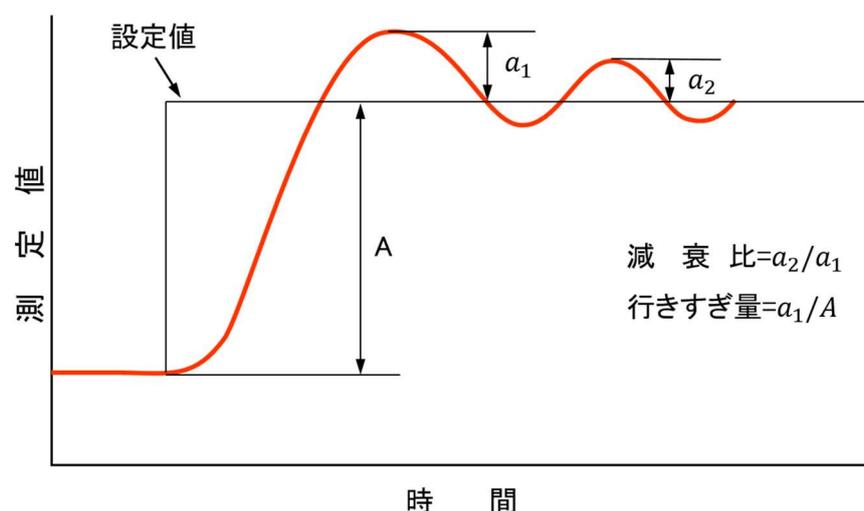


図11 PID制御における測定値の変化

4.4 プロセスの特性とその表し方

プロセスの特性を調べる方法として、もっとも一般的なものに**ステップ応答法**があります。前述の温水加熱器を例にとれば、蒸気調節弁の開度をステップ状に変化させ、このときの温度測定値 (PV) の変化を調べます (調節計は動作させていない状態で)。このときの温度の変化は概ね図 12 のようになります。これをステップ応答といいます。この例では、調節弁開度を変化させても測定値 (PV) は最初にあまり変化せず、しばらくたってから急に変わります。この特性を数値化するためには、測定値の変化が一番大きいところに接線 AB を引きます。

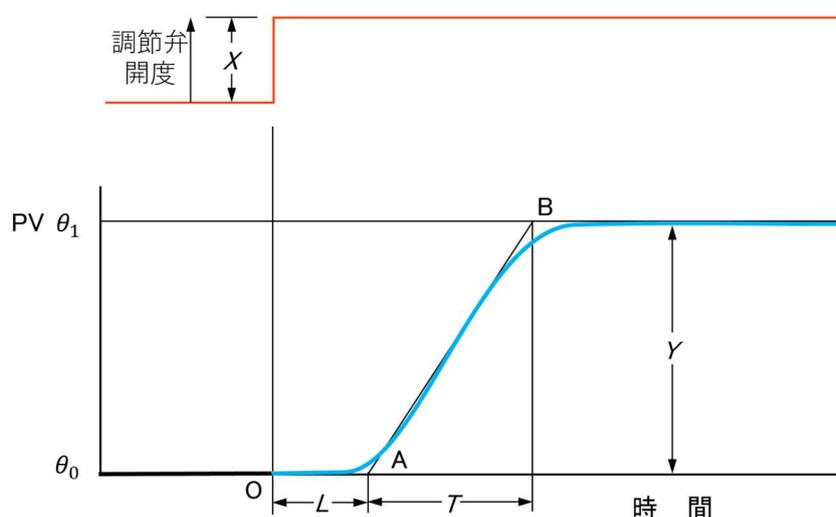


図12 プロセスのステップ応答の例

また、図 12 に示すように L と T の値を図の上で求めます。その L を**等価むだ時間**、 T を**等価時定数**といい、その 2 つの数値でプロセスの特性を表します。

この L と T でプロセスの特性を近似するやり方は、かなりおおざっぱなものです。もっと詳しくしても手間がかかる割には効果が上がらないため、一般にこの方法が使用されています。

なお、調節弁開度変化に対する測定値 (PV) の最終的な変化量の比 (図 12 の Y / X) を**プロセスゲイン**といい、 K_p で表します。 Y は調節計の測定範囲に対する % で示しますので、 Y / X には単位はありません。たとえば、調節計の測定範囲が $0 \sim 100^\circ\text{C}$ とします。そこで調節弁の開度を 10% 変化させたとき、温度が 20°C 変わったとします。

そうすると Y は $20^\circ\text{C} / 100^\circ\text{C} = 20\%$ なので、

プロセスゲイン $K_p = Y / X = 20\% / 10\% = 2$ となります。

4.5 制御のしやすさ

等価むだ時間 L は、調節弁開度を変化させてから実質的に測定値 (PV) が変化するまでの時間です。つまりこの時間の間は、調節計が出力を出しても、その結果が調節計に戻ってこない、つまり制御は行われていないことになります。 L が大きいと制御がやりにくいことはこれで理解できるでしょう。

一方、等価時定数は調節弁開度変化に対する測定値 (PV) の変化速度の逆数です。変化速度がゆっくり (T が大きい) の場合は、測定値 (PV) が振動することもなく、制御はやりやすいとしたものです。

そこで、制御のしやすさの目安として L / T を考えます。 L / T が小さければ制御がしやすく、 L / T が大きければ制御がしにくいわけです。

一般に、 $0 < L / T < 0.2$ なら制御は容易であり、 $0.2 < L / T < 0.5$ ではやや難しい。 $0.5 < L / T$ では、単純な PID 制御では不十分で、何らかの工夫が必要です。

4.6 最適調整の PID 定数

L、T、 K_p より最適調整のPID定数を求める式は多くの方が提案しています。このうち、代表的なものを表1に示します。なお、PID定数の最適値は、設定値（SP）変更の場合と外乱に対応する場合で異なります。

表1に示した値はいつでも正しいわけではなく、目安と考えて下さい。とくに比例帯は、 L / T が小さいときにはもっと広くする必要があります。

表1 最適調整のPID定数

提案者	タイプ ^{*1}	制御動作	PB(%)	T_I (min)	T_D (min)	ガイドライン
Ziegler Nichols	A、B	PI	$110 K_p L/T$	$3.3 L$		減衰比 25%
		PID	$83 K_p L/T$	$2L$	$0.5L$	
Chien Hrones Reswick	A	PI	$167 K_p L/T$	T		20%の行き過ぎ の最短応答
		PID	$105 K_p L/T$	$1.35 T$	$0.47L$	
Chien Hrones Reswick	B	PI	$143 K_p L/T$	$2.3 L$		20%の行き過ぎ の最短応答
		PID	$83 K_p L/T$	$2 L$	$0.42L$	
Chien Hrones Reswick	A	PI	$286 K_p L/T$	$1.2T$		行き過ぎなし の最短応答
		PID	$167 K_p L/T$	T	$0.5L$	
Chien Hrones Reswick	B	PI	$167 K_p L/T$	$4 L$		行き過ぎなし の最短応答
		PID	$105 K_p L/T$	$2.4 L$	$0.4L$	

*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。