

PID制御の基礎知識

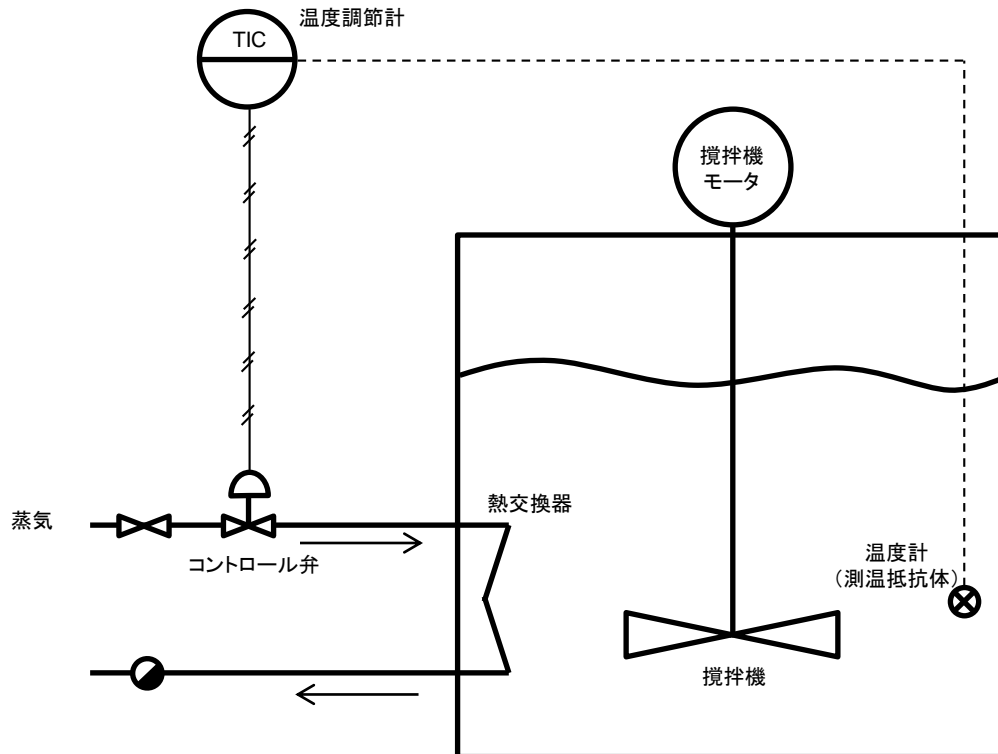
2019年 ver. 1.0
倉谷 隆博

1. プロセス制御

工業プラントでは、プラントの温度とか圧力、さらには流体の流量などを制御したい、例えば一定の値に保ちたい、といったようなニーズがある。これらのニーズを叶えるのがプロセス制御技術である。

(図1)は、水槽の温度をある温度(設定値)に制御する方法の一例を示している。水槽を攪拌することで水層の温度分布を均質化した状態で水温を測定し(この場合、温度計としては測温抵抗体を使用される)、設定値と測定値との誤差(偏差)を解消するために、温度調節計で温度制御を行う。誤差(偏差)を解消するための操作は水槽内に設置された熱交換器を通る蒸気の流量を増減することで行う。蒸気の流量を増減するために、温度調節計でコントロール弁(グローブ弁)の弁開度を調節する。

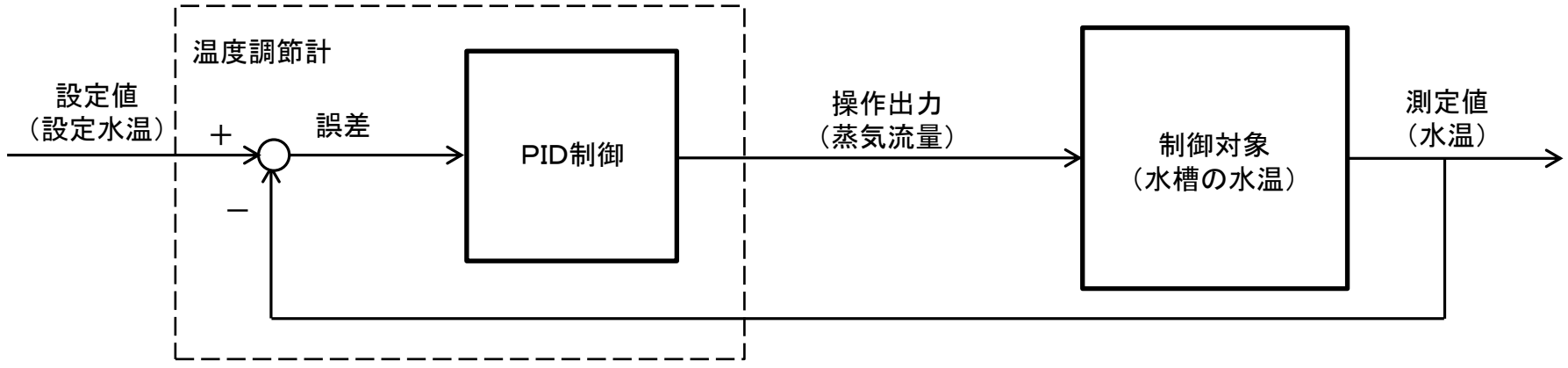
設定値と測定値との誤差(偏差)を解消するために、PID制御と呼ばれる制御方式を実装した調節計が使用されることが多い。



(図1)水槽の温度制御

2. PID制御

(図2)に、水槽の温度制御(図1)におけるPID制御方式のブロック図を示す。



(注) 誤差 = 設定値 - 測定値

(図2)PID制御方式

(表1)で示すように、PID制御は3つの制御要素で構成される。比例制御(P制御)、積分制御(I制御)、そして微分制御(D制御)である。P制御は「現在」の誤差を解消するための制御、I制御は「これまで(過去)」に累積されてきた誤差を解消するための制御、D制御は「今後(未来)」に生じると見込まれる誤差を事前に解消するための制御であり、制御対象に応じてこれら3種類の制御要素を組み合わせるものが、PID制御である。

なお、I-PD制御という3つの制御要素の適用順序を考慮したPID制御方式がある。積分制御(I制御)を行い、その後で比例制御と微分制御(PD制御)を行う方式である。例えば、まず積分制御で「過去」を清算し、その上で、比例制御と微分制御で「現在」と「未来」に対応していこう、という考え方である。

(表1)PID制御の説明

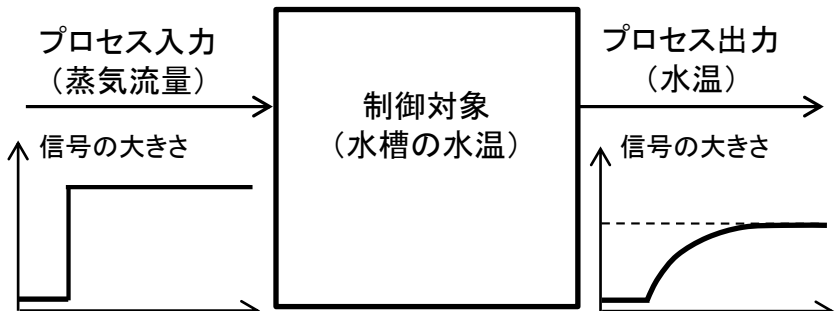
制御方式	機能	時間軸の視点
比例制御 (P制御、Proportional)	「現在」の水温(測定値)と設定温度との差(誤差)の大きさに応じて蒸気の流量を増減する	現在
積分制御 (I制御、Integral)	「これまで」に累積されてきた、現在の水温(測定値)と設定温度との差(誤差)の大きさに応じて蒸気の流量を増減する	過去
微分制御 (D制御、Differential)	現在の水温(測定値)と設定温度との差(誤差)の変化方向と変化速度、つまり「今後」にどう変化するかを予測して蒸気の流量を増減する	ごく近い未来

3. 過渡応答

(図2)のブロック図のなかで、制御対象(プロセス)を対象に入力と出力の表現を変えると(図3)のようになる。



(図3)プロセス入出力



(図4)過渡応答

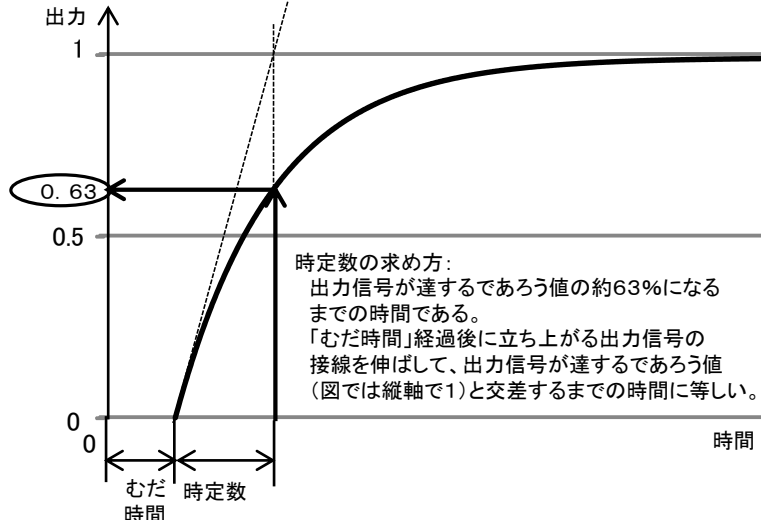
過渡応答という手法を使用して、制御対象の制御特性を把握する。つまり、制御対象に時間変化する特定のプロセス入力を与えてその時のプロセス出力の変化の様子(過渡応答)から制御対象の制御特性を把握するという方法である。そのなかで、プロセス入力をステップ状に変化させる方法がステップ応答法である。入力をステップ状に変化させることによってあらゆる周波数の信号がプロセスに入力されることになり、制御対象の制御特性の把握を可能にしている。分野は異なるが、建築物の外壁タイル剥がれの検査では、ハンマーで外壁をたたいたときの音の変化の有無を確認している。剥がれがあると音質が変化する。ハンマーで外壁をたたいて振動を与えることが入力で、そのとき外壁から発せられる音出力である。

(図5)に示すような「1次遅れのプロセス」と呼ばれるプロセス(伝達関数に1つの積分器を持つプロセス)のステップ応答は下式で表される。

$$\text{出力} = 1 - e^{-(t-L)/T}$$

ただし、 t =時間、 e =自然対数の底、 L ='むだ時間'、 T ='時定数'
 「むだ時間」はプロセス入力の影響がプロセス出力に観察され始めるまでの時間を示し、「時定数」は、感覚的な表現を使えば、プロセス入力の影響がプロセス出力で十分に確認できるまでの時間を示す。

PID制御のパラメータは、これらプロセス制御特性を表す、「むだ時間」や「時定数」などを使用して調整する。なお、 L/T (エル・バイ・ティと呼ぶ)が大きな値、つまり「時定数」に比べて「むだ時間」が大きいとき、これは入力を操作してもその影響が出力に現れるまでに時間を要し、かつ影響が出始めると一気に変化することを表し、制御は難しい。 L/T が0.5程度までならPID制御は有効で、1を超えると難しいと言われている。



時定数の求め方:
 出力信号が達するであろう値の約63%になるまでの時間である。
 「むだ時間」経過後に立ち上がる出力信号の接線を伸ばして、出力信号が達するであろう値(図では縦軸で1)と交差するまでの時間に等しい。

(図5)1次遅れのステップ応答と時定数

参考にした書籍とURL

高橋安人：「システムと制御」、岩波書店

高橋安人：「デジタル制御」、岩波書店

北森俊行：「I-PD制御方式の原理と設計法」、システム制御情報学会誌