液体 Tank の熱特性の解析	1994-01-11 改変 2015-11-09 Bob Electronic Co.,Ltd. 加藤三郎.

1) 液体 Tank 内に新たな温度の液体を注ぎ込むと、そのときの液体 Tank の温度変化は？

-1) 液体 Tank とその使用条件

A) Tank 内容積 ＝ 液体量　　　　　　：V1(cc)

B) Tank 内 液体温度「初期値」　　　：T1(℃)

C) そこに流入[= 流出]する液体量　：V2(cc) / (単位時間当)

D) 同上液体温度　　　　　　　　　：T2

E) 変化後の Tank 内液温　　　　　：Tv1

F) 液体流入時間　　　　　　　　　：t

-2) 以上から次式が得られる

A) Tank 内液体の温度変化

$$Tv1 = \frac{(T2-T1)\,V2 \cdot t}{V1+V2 \cdot t} + T1 \quad \cdots (1\text{式})$$

と成る事が容易に分かる

B) Tank の液体は充分に攪拌された後、継ぎ足された分[V2]だけ捨てられる事とし、上式の分子、分母をそれぞれ(V2・t)で割り、式を変形すれば、

$$Tv1 = (T2-T1)\frac{1}{1+\dfrac{V1}{V2 \cdot t}} + T1$$

となるので

$$= (T2-T1)\left(1 - \exp^{-\left(\frac{V2 \cdot t}{V1}\right)}\right) + T1 \quad \cdots 2(\text{式})$$

と成る事が分かる

2) 液体 Tank の時定数[TC]とは

-1) 上式の

$$\frac{V2 \cdot t}{V1} = 1$$

の時の[t]を[TC]と言う・・・Theorem

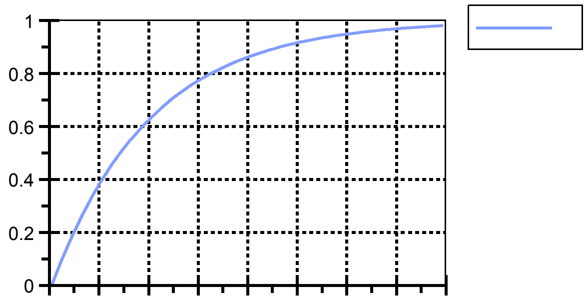
$$\mathbf{TC} = \frac{\mathbf{V1}}{\mathbf{V2}}$$

つまり、液体 Tank の「総熱容量」を、毎秒流入[=流出]する液体の「熱量」で割った値が、その「熱時定数：TC」である事が分かる

-2) ここで「時定数」とは

A) 物体[液体]に一定の熱流を加えたとき、その物体の温度が達するであろう最

終温度[Potential]の「63.2(%)」に達するまでの時間を言う・・・Theorem



↑
TC：時定数(sec)

B)参考(例)

-A)角形 Tank の容積 = 20(cm) D x 20(cm) W x 20(cm) H = 8,000(cc)

-B)液体の流入[流出]量 = 6(L/min) = 100(cc / sec)

-C)この使用状況に於ける Tank の時定数(TC)は

$$\mathbf{TC} = \frac{8{,}000}{100} = \mathbf{80\,(sec)}$$ と成る

注 1)この時定数 80(sec)とは、上の Graph で分かるとおり、その Potential の「63.2(%)」に到達するまでの時間であって、最終到達温度への到達時間では無い事に注意が必要である。

注 2)以上の通り、液体 Tank のその時定数は、その Tank の大きさは基より、そこに外部から流入[流出]する単位時間当たりの液体「量」の関数なので、もしこの Tank が PID-温度制御 Loop 内にあるときは、その温度制御のための「PID-3 定数決定以降」は、その流量の変更は不可である事に注意が必要である。

3)液体 Tank の熱伝達特性

-1)入口から出口間の熱伝達関数(G)

A)流入液体の温度の揺らぎを「$e_1 \sin \omega t$」としたとき

B)Tank の流出部の温度の揺らぎ(e_2)は

$$e_2 = e_1 \frac{1 / i \omega C}{R + 1/ i \omega C} = e_1 \frac{1}{1 + i \omega CR}$$ ・・・成る一般式が考えられる

C)伝達関数(G)

$$G = \frac{e_2}{e_1} = \frac{1}{1 + i \omega CR}$$ ・・・3(式)

*) 但し

CR = TC : Tank の熱時定数

e_1 = 流入液体の揺らぎ温度の上下の「振幅」

e_2 = 流出液体の揺らぎ温度の上下の「振幅」

$\omega = 2\pi F$

F = 揺らぎの周波数 = 1 / λ (揺らぎの周期)

$i = \sqrt{-1}$

-2) 3（式）を有理化し、実数部（A）、虚数部（B）に分ける

A) 3（式）の分子分母に（1-ω CR）を掛け

$$G = \frac{1 - i\omega TC}{1 + (\omega TC)^2}$$ ・・・4（式）を得る

B) 実数部（A）

$$A = \frac{1}{1 + (\omega TC)^2}$$ であり

C) 虚数部（B）

$$B = \frac{-\omega TC}{1 + (\omega TC)^2}$$ である

D) そしてその絶対値[Z]は、[A],[B]のベクトル合成なので

Z = （A^2 + B^2 ）^0.5

と成る事が分かる

4) 先の Tank を使っての演習

-1) TC = 80（sec））

-2) 外乱= e_1 Sin ω t

外乱の周期 = 120（sec）

としたとき、その[温度の振幅]は、この Tank の積分効果に依って軽減される

-3) その軽減量の絶対値は

ω = 2 π F = 2 π / λ = 2・3.14 /120 = 0.05236

ω TC = 0.05236 x 80 = 4.189

（ω TC）^2 = 17.55

実数部（A） = 1 /（1 + 17.55） = 0.05391

虚数部（B） = - 4.189 /（1 + 17.55）= - 0.2258

絶対値（Z） = [0.05391^2 + （-0.2258）^2]^0.5 = （0.002906 + 0.050996）^0.5 = 0.2322

-4) この計算結果が意味するところは、先の外乱により発生した温度の振幅を「1」とした とき[$e_1=1$]、それをこの積分 Tank を通す事で、その出口温度の振幅が「$e_2=0.2322$」、つまり、凡そ「1/4」に減衰したと言う意味です。

その比を「db:デシベル」で表すと

$$20 \text{ Log } \frac{e_2}{e_1} = 20 \text{ Log } 0.2322 = -12.7(\text{db})$$ と成ります

*) 工学では、このような[比率]は全て「db」(ﾃﾞｼﾍﾞﾙ)で表す事が通例です

-5) 因みに「デシベル計算」

A) $\sqrt{2}$ 倍 = 3(db)・・・覚える
B) 1/$\sqrt{2}$ 倍 = - 3(db)
C) 2 倍 = 6(db)・・・覚える
D) 1/2 倍 = - 6(db)
E) 3.3 倍 = 10(db)・・・覚える
E) 5 倍 = 14(db)・・・覚える
F) 10 倍 = 20(db)・・・覚える
G) 33 倍 = 3.3 x 10 = 10 + 20 =30(db)
H) 50 倍 = 5 x 10 = 14 + 20 = 34(db)
I) 100 倍 = 10 x 10 = 20 + 20 = 40(db)

5) 液体 Tank の使い勝手と、その意義

-1) 液体の「外部循環を目的」とした Chiller に於いて

A) その Tank が、その Chiller 内「吐出部位」に在る場合

制御で最も重要なその[Recovery Responce]が非常に悪くなり、また、温度を変えるごとに、その Tank 内液体温度も変えなければ成らず、省エネに反します

B) 時に見かける、液体 Tank を「Evaporator」として使用している場合に於いて

これは上記「-1) A」と全く変わらず。

C) Tank をその液体の「戻り部位」に配置した場合

外部の急激な熱負荷変動による戻液温の変化を、先の計算で示したように、その積分特性が和らげ、制御精度に大きな効果をもたらす。

但しその効果は、その外乱の「周期」と、そこに使用される Tank の「時定数」とで、決定される

また、温度を毎回変える毎に要するそのエネルギー損失は、[-1、A]と変わらず、省エネには反する

-2）Chiller の外部に接続された液体「Tank」や「Cavity」等の温度制御について

A）市販の小型 Jacket-Tank ［20（cm）φ　x 14（cm）H］を「例」とすれば

-A）容積 ＝π・10（cm）^2・14（cm）H = **4,400（cc）**

-B）循環液体流量 = 6（L）/min = **100（cc）/sec）**

とすれば

-C）時定数：TC は

TCj = 4,400 / 100 = **44（sec）**　　と計算する事ができる

-D）同 Jacket-Tank 内液温の追従性

T1　：Chiller 吐出温度 = Jacket-Tank 内の液温［初期値］

T2　：Chiller 新吐出温度・・・T1 → T2　変更

Tj（t）：T1 → T2 変更後の Jacket-Tank 内液温

$$Tj(t) = (T2-T1)\left(1-\exp^{-\frac{t}{44}}\right) + T1$$

として計算する事が出来る

*）以上、Chiller の吐出温度「T1」→「T2」は瞬時に変わったものとしての計算ですが、現実にはここにも「某かの時定数」が介在するので、その装置使用者は、その数値を充分に考慮すべきでありましょう。

-3）Chiller の吐出液体液温を「T1」から「T2」に変えた時、その Jacket-Tank 内の温度を、上式から逆算すれば、その変化分［T2-T1］の

A）99（%）に到達する時間は、Tank の時定数の凡そ「**4.6**」倍 **= 202（sec）**

B）99.9（%）に到達する時間は、同「**6.9**」倍 **= 304（sec）**

掛かることが分かる

これ等 Tank の使用に当たり、その温度を「Chiller の吐出温度制御」でのみ行っている場合は、その先の Tank の温度は、単に「成りゆき」に任せているだけなので、以上の事柄を常時考慮する必要があります。

以上、液体 Tank の考察とします。

若き初学者の皆様のお役に立てば幸甚です。

*）科学者パスカルの名言

無知を恐れるな、偽りの知識を恐れよ