



高精度湿度測定に不可欠な校正装置を手作り！

二温度法標準湿度発生装置の設計と製作

湿度は温度と共に非常に身近な物理量ですが、高精度に湿度を測定することは難しく、その最も大きな理由は湿度センサの経時変化が大きいことにより、比較的短期間で湿度の校正を行わないと湿度計の精度維持が困難であることによります。

そこで、本稿では、高精度な湿度の校正を実現するため、湿度校正装置として二温度法標準湿度発生装置の設計と製作について解説します。

湿度の校正方法とは

通常の室内環境は勿論のこと、校正したい湿度計を恒温恒湿槽の中に入れても、十分な精度で湿度を校正することはできません。なぜかと言えば、恒温恒湿槽の中においても湿度が時間的にも空間的にも変動しているため、校正が可能なレベルで湿度が安定している状態ではありません。

十分な精度で湿度の校正を行うには、湿度が安定で、その湿度の値が分かっている気体を得る必要があり、そのためには次の方法があります。

- (1) 飽和塩法
- (2) 分流法
- (3) 二圧力法
- (4) 二温度法

それぞれの方法には長所と欠点があります。飽和塩法は簡易な実験設備で製作可能ですが、任意の湿度が得られない、流量が取れない、安定した湿度を得ることが難しいなどの欠点があります。分流法は流量、二圧力法は圧力を制御することにより任意の湿度を得ることが出来ますが、流量と圧力を一定に制御することは難しく、時間的に安定した湿度を得ることが難しい欠点があります。

二温度法は温度を制御することにより任意の湿度を与えることができ、一定の温度を得ることは比較的容易であるため、今回は二温度法による標準湿度発生装置を取上げます。

二温度法標準湿度発生装置のシステム

二温度法標準湿度発生装置のシステムは次の装置により構成されます。

- (1) 飽和水蒸気発生装置
- (2) 熱交換器(恒温槽内に配置)
- (3) 試験槽(恒温槽内に配置)
- (4) 温度測定装置
- (5) 温度制御装置
- (6) ポンプ(空気)

これらの構成を図1に示します。

今回は温度制御を行うことにより、飽和水蒸気発生槽の温度を 20 から 0 の間で設定し、設定温度の飽和水蒸気を発生することができます。

飽和水蒸気発生槽の温度(露点) T_D と試験槽の温度 T により気体の相対湿度 H を決めることが出来ます。各槽の温度 T_D 、 T と相対湿度 H の関係を表1に示します。

すなわち、温度 T 、露点 T_D の気体の相対湿度 H は

$$H = \exp(-5278(1/T_D - 1/T)) * 100\% RH \quad \dots\dots(1)$$

となります。よって、飽和水蒸気発生槽の温度(露点) T_D と試験槽の温度 T の測定誤差を $T_{D\Delta}$ 、 $T\Delta$ とすると、それらの誤差に基づく相対湿度の誤差 $H\Delta$ は

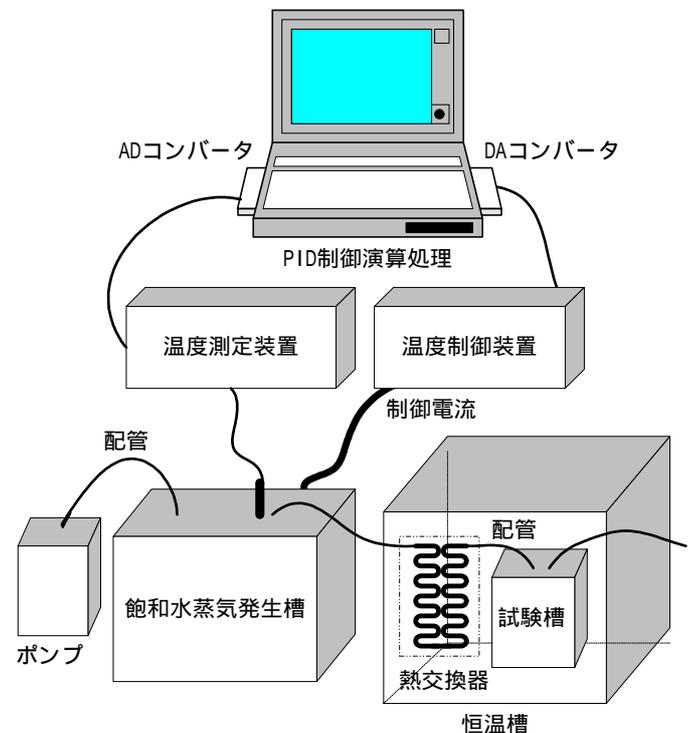


図1 二温度法標準湿度発生装置システム

表 1 発生槽と試験槽温度と相対湿度の関係

発生槽温度 露点()	水蒸気圧 (mmHg)	相対湿度(%RH)	
		試験槽温度 20	試験槽温度 30
0	4.715	26.76	14.78
1	5.059	28.71	15.85
2	5.426	30.79	17.00
3	5.816	33.01	18.23
4	6.231	35.37	19.53
5	6.673	37.87	20.91
6	7.142	40.54	22.38
7	7.641	43.37	23.95
8	8.170	46.37	25.61
9	8.732	49.56	27.37
10	9.329	52.95	29.24
11	9.961	56.54	31.22
12	10.632	60.34	33.32
13	11.342	64.38	35.55
14	12.095	68.65	37.90
15	12.891	73.17	40.40
16	13.734	77.95	43.04
17	14.626	83.01	45.84
18	15.569	88.37	48.79
19	16.566	94.02	51.92
20	17.619	100.00	55.22

$$\Delta H = 5278H \left(\frac{1}{T_D^2} \Delta T_D - \left(\frac{1}{T^2} \right) \Delta T \right) \dots\dots(2)$$

となります。同じ温度測定誤差 T_D 、 T がある場合、相対湿度 H が大きい領域ほど相対湿度 H の校正誤差 H が大きくなります。

例えば、相対湿度 80%RH において温度測定誤差 T_D 、 $T=0.1$ が存在する場合、相対湿度 H の校正誤差は 1%RH 以上になりますので、温度測定誤差を 0.1 以下にする必要があります。

飽和水蒸気発生槽の設計と製作

飽和水蒸気発生槽の基本設計

飽和水蒸気発生槽の基本構造を図 2 に示します。2 個のステンレス容器 100mm(W)*100mm(D)*100mm(H) により 2 つの飽和槽を作ります。2 つの飽和槽にはエアーストーンと配管を配置し、エアポンプにより 1 個目の飽和槽に空気を送込み、その飽和槽から送出される飽和水蒸気をもう 1 個の飽和槽に送込み、2 段バブリング装置を構成します。次に各飽和槽の両面に 2 個ずつ合計 4 個のペルチェ・モジュールを取付け、飽和槽を冷却します。また、発泡ウレタン等の断熱材で全体を多い、断熱処理を行います。後段の飽和槽に温度センサ・白金測温抵抗体(Pt100)を取付け、温度測定と制御を行います。製作した飽和水蒸気発生槽の外観を写真 1 に示します。

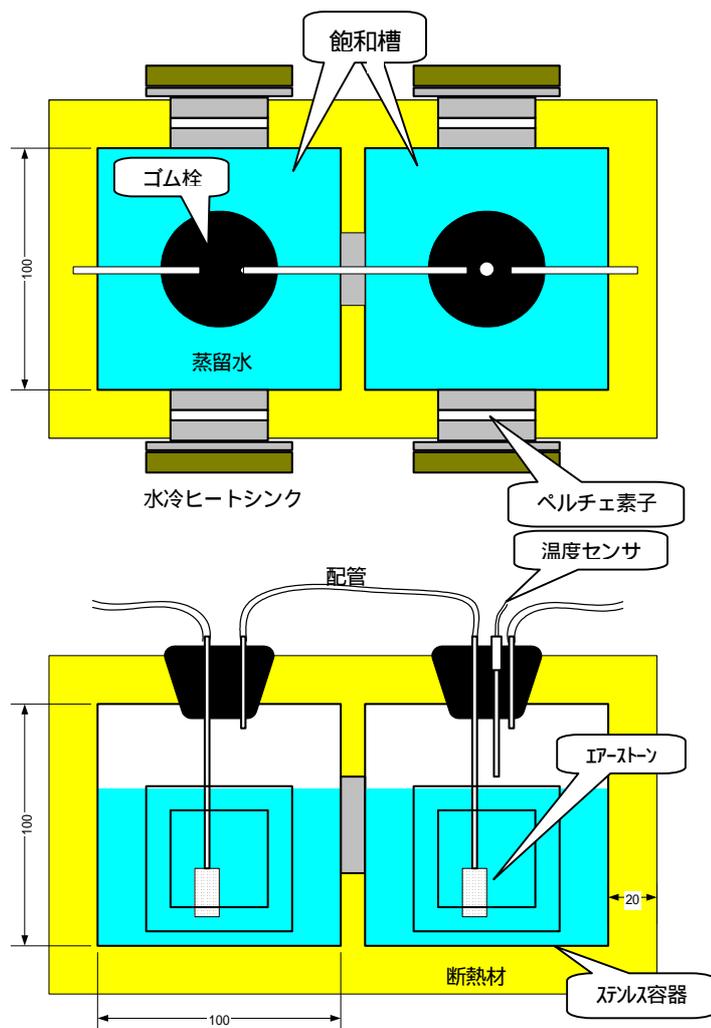


図 2 飽和水蒸気発生槽の基本構造

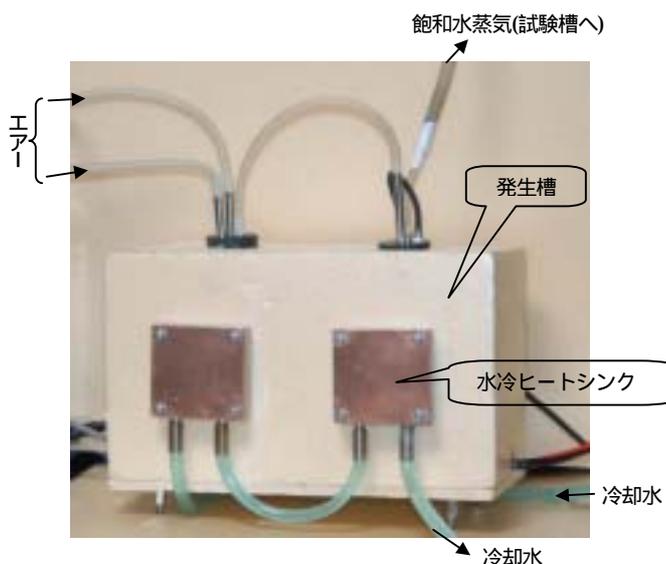


写真 1 飽和水蒸気発生槽の概観

飽和水蒸気発生槽の熱設計の概略

冷却前の飽和水蒸気発生槽(体積 V 、比熱 C 、比重)の温度を T_0 とすると、時間後に設定温度 T_c に達するには単位時間当り

$$Q_\tau = \frac{C\rho V(T_0 - T_c)}{\tau} \dots\dots(1)$$

$C=4.178\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ (蒸留水の比熱)
 $=999\text{kg/m}^3$ (蒸留水の比重)
 $V=0.0014\text{m}^3$ (蒸留水の体積)

の熱量を吸収する必要があります。例えば、 $\tau=20$ 分 で $T_0=20$ から $T_c=0$ まで冷却したい場合、単位時間当りに必要な熱量は $Q_\tau \approx 100\text{W}$ となります。

また、周辺から断熱材を通じて流入する単位時間当りの熱量は

$$Q_{SI} = \frac{S(T_e - T_c)}{t/\lambda} \dots\dots(2)$$

$S=0.18\text{m}^2$ (断熱材の表面積)
 $T_e=25$ (周辺の環境温度)
 $t=0.02\text{m}$ (断熱材の厚さ)
 $=0.025\text{W/mK}$ (断熱材の熱伝導率)

となるので、 $Q_{SI} \approx 6\text{W}$ となります。

更に、エアポンプからの空気の流量を $v = 1.5\text{l/min}$ とすると、空気の出入りを通じて単位時間あたりに流入する熱量は

$$Q_a = C_a \rho_a v (T_e - T_c) \dots\dots(3)$$

$C_a=1\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ (空気の比熱)
 $\rho_a=1.3\text{kg/m}^3$ (空気の比重)

となるので、 $Q_a \approx 1\text{W}$ となります。

ペルチェ・モジュールによる冷却設計の概略

0 の飽和水蒸気(露点)を得るためには、単純計算をすると、ペルチェ・モジュール1個当りに必要な吸熱量は

$$Q_c = (Q_\tau + Q_{SI} + Q_a) / 4 \dots\dots(4)$$

$$\approx 27\text{W}$$

となります。しかし、ペルチェ・モジュールの側面周辺で生じている熱伝導による熱損失も存在するため、ペルチェ・モジュール1個当りに必要な吸熱量を $Q_c=30\text{W}$ とします。

今回は電子通商のペルチェ・モジュール TECB1-12708 を用います。このモジュールの温度差 T - 吸熱量 Q_c の関係を図3に示します。吸熱面の設定

温度を $T_c=0$ とすると、吸熱量 $Q_c=30\text{W}$ の場合の各放熱面温度での必要とする電流 I は 4A になります。また、電流 4A に必要なモジュール1個当りの電圧は図4より 6.3V になり、モジュール4個を直列に接続する場合に必要な電圧は 25.2V になりますので、 100W 以上の電源が必要になります。

今回は水冷ヒートシンクを用いましたが、空冷ヒートシンクでも製作可能です。空冷ヒートシンクを用いるとペルチェ・モジュールの放熱面の温度 T_h は約 35 位になるため、水冷の場合と同じくペルチェ・モジュール1個当りに必要な吸熱量を $Q_c=30\text{W}$ とした場合においても、必要となる電源容量が大きくなるので、設計・製作上、注意が必要です。つまり、この場合、ペルチェ・モジュールの温度差 T - 吸熱量 Q_c の関係は図5のようになり、必要なペルチェ・モジュールの電流は約 6A になります。また、図6により4個直列に接続したペルチェ・モジュールの電圧は 38V になりますので、 200W 以上の電源が必要になり、水冷の場合と比べて必要な電源容量が2倍になります。

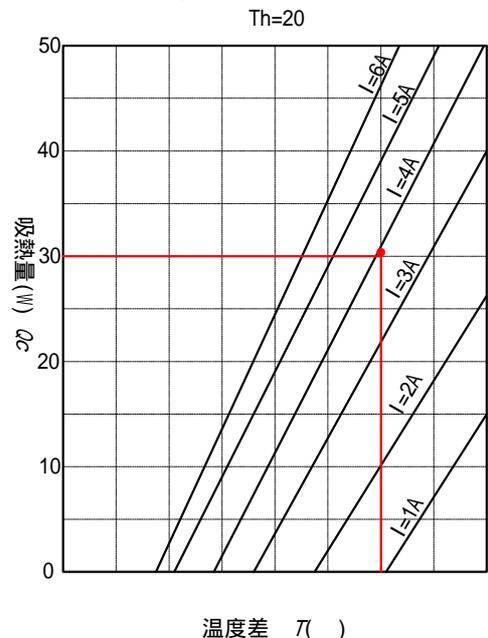


図3 ペルチェ・モジュール TECB1-12708 の温度差 T - 吸熱量 Q_c の関係 (水冷ヒートシンクの場合)

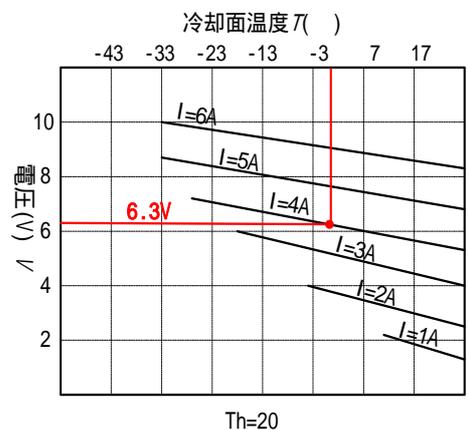


図4 ペルチェ・モジュール TECB1-12708 の駆動電圧 - 電流の関係 (水冷ヒートシンクの場合)

温度測定・制御装置の設計と製作

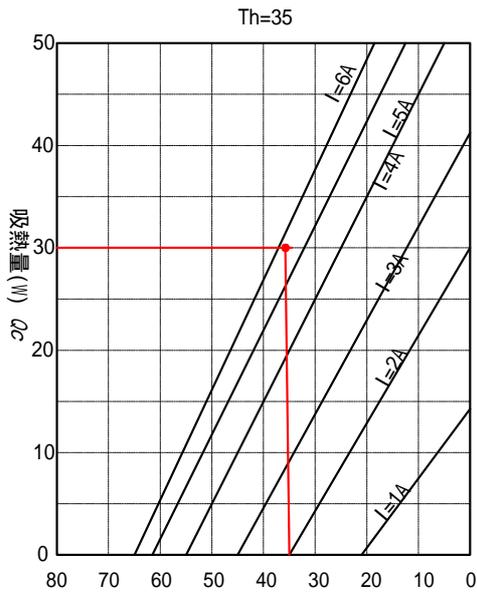


図5 ペルチェ・モジュールTECB1-12708の温度差 ΔT - 吸熱量 Q_c の関係 (空冷ヒートシンクの場合)

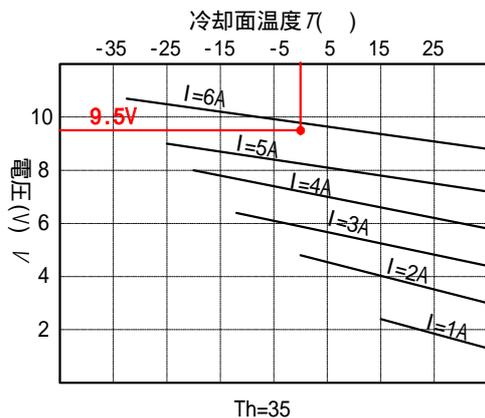


図6 ペルチェ・モジュールTECB1-12708の駆動電圧 - 電流の関係 (空冷ヒートシンクの場合)

温度測定装置
四線式白金測温抵抗体温度センサ(Pt100)の特性は温度に対して次の2次式で示すことが出来ますが、

$$R_t = R_0 + aT + bT^2 \quad \dots\dots(5)$$

必要な飽和水蒸気発生槽の温度制御の範囲が0 ~ 20と比較的狭く、この温度範囲ではPt100は次の1次式で示すことが出来るため、簡単な回路で高精度な温度測定ができます。

$$R_t = R_0 (1 + 0.003895T) \quad \dots\dots(6)$$

この回路を図7に示します。温度校正を行うことにより、温度範囲0 ~ 20での測定誤差を0.05以下に抑えることも可能です。

温度制御装置

ペルチェ・モジュールの電流を制御することによる温度制御装置の回路を図8に示します。簡易な回路により入力電圧0.1V当たり1Aの電流をドライブします。

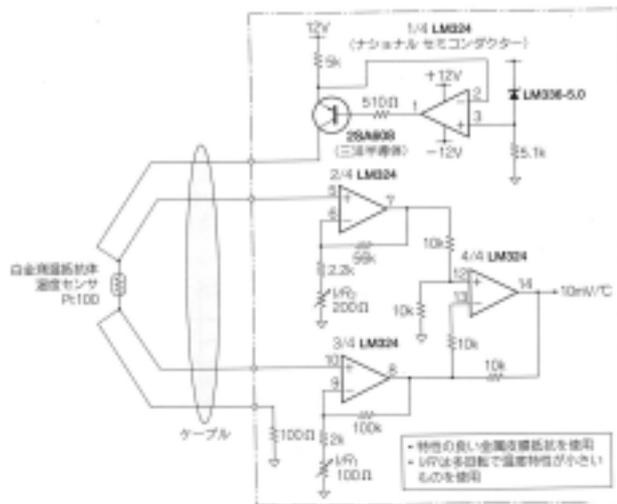


図7 温度測定装置の回路

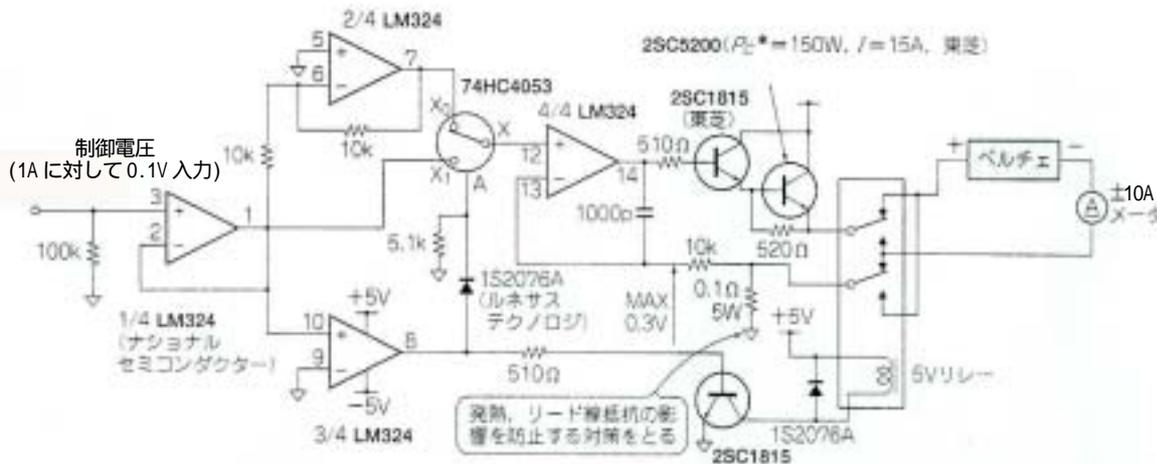


図8 温度制御装置の回路

評価試験の結果

両データとも、飽和水蒸気発生槽の温度と露点計の指示値が良く一致していることが分かります。

飽和水蒸気発生槽から送出された気体の露点を自動平衡式露点計(HT-800 SOAR 製)により測定した結果を図9、10に示します。

図9はペルチェ・モジュール電流を4A一定にし、飽和水蒸気発生槽の温度が0 近くに達した状態です。

また、図10はペルチェ・モジュール電流を零の状態で飽和水蒸気発生槽の温度が徐々に上昇する状態です。

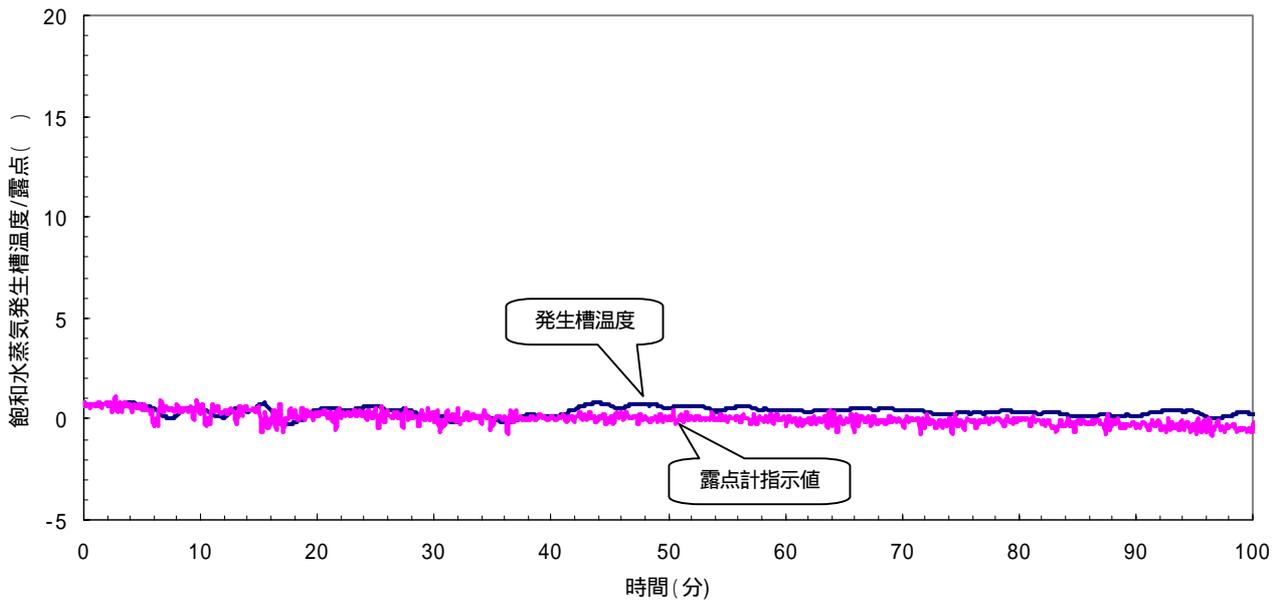


図9 0 付近における飽和水蒸気発生槽の温度と露点計指示値に関するデータ
(ペルチェ・モジュール電流を4A一定にし、飽和水蒸気発生槽の温度が0 近くに達した状態)

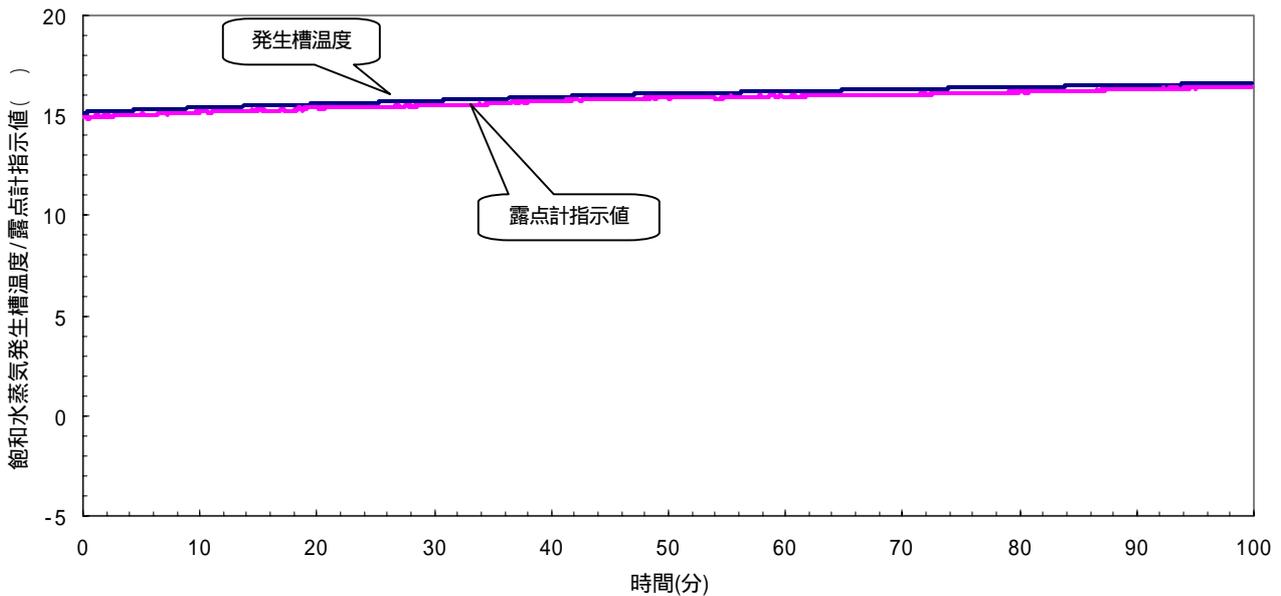


図10 16 前後における飽和水蒸気発生槽の温度と露点計指示値に関するデータ
(ペルチェ・モジュール電流を零にし、飽和水蒸気発生槽の温度が徐々に上がっていく状態)

<参考文献>

田澤勇夫;ペルチエを使った範囲 ± 50 誤差 0.01 以内の
恒温槽の製作(設計編)、トランジスタ技術、2007年3月号、
CQ 出版社

田澤勇夫;ペルチエを使った範囲 ± 50 誤差 0.01 以内の
恒温槽の製作(製作編)、トランジスタ技術、2007年5月号、
CQ 出版社

田澤勇夫;電気抵抗変化型湿度センサの駆動回路設計
(Appendix 正確な湿度計測に役立つ熱力学の基礎知識)、
トランジスタ技術、2008年3月号、CQ 出版社

芝亀吉;湿度と水分、コロナ社

蓑輪善蔵;最新の湿度計と水分計、日本計量新報社

日本工業標準調査会;JIS Z 8806,日本規格協会

湿度計測・センサ研究会;湿度計測・センサのマニュアル、
学献社

日本機械学会編;湿度・水分計測と環境モニター、技報堂
出版