

正確な湿度計測のために

高精度湿度計測のための基礎知識

田澤勇夫
Isao Tazawa

湿度は温度と共に非常に身近な物理量ですが、高精度に湿度を計測することは難しく、湿度計測機器の知識・技術は勿論の他、湿度に関する知識を深める必要があります。

そこで、本稿では、高精度湿度計測を実現するための基礎知識の全般について解説します。

湿度の基礎知識

飽和水蒸気圧・絶対湿度・相対湿度

水蒸気圧 e とは大気中に存在する水蒸気分圧であり、大気中に存在することができる最大の水蒸気圧を飽和水蒸気圧 e_s と言います。飽和水蒸気圧 e_s は大気の温度の関数であり、次の式で表すことができます。

$$e_s = A \exp\left(\frac{B}{T}\right) \dots\dots\dots(1)$$

すなわち、同じ大気中であっても、より高い温度ではより多くの水蒸気を大気中に含むことができます。各温度における飽和水蒸気圧 (Pa , $mmHg$) と飽和水蒸気の質量 (g/m^3) を表 1 に示します。

大気中の水分量を分圧ではなく、 $1m^3$ 当りの質量 (g) で表す水蒸気量を絶対湿度 $D(g/m^3)$ と言います。

大気中の水蒸気圧を表す場合、飽和水蒸気圧に対する割合として表す量を相対湿度 $H(\%RH)$ と言います。一般に湿度と言われている量は相対湿度 H のことを言います。相対湿度 H は次の式により定義されます。

$$H = \frac{e}{e_s} * 100(\%RH) \dots\dots\dots(2)$$

また、相対湿度 H と絶対湿度 D の関係は飽和水蒸気量を D_s とすると、次の式で表すことができます。

$$H = \frac{D}{D_s} * 100 \dots\dots\dots(3)$$

表 1 各温度における飽和水蒸気圧と飽和水蒸気量

温度 ()	飽和水蒸気圧 (mmHg)	飽和水蒸気圧 (Pa)	飽和水蒸気量 (g/m ³)
0	4.53	611	4.85
5	6.54	872	6.80
10	9.21	1227	9.32
15	12.79	1705	12.83
20	17.54	2338	17.30
25	23.76	3168	23.05
30	31.84	4245	30.38

結露・露点・霜点

建物や電子機器が結露状態に長くさらされると、カビが生えたり、電子部品の特性を劣化させたりし、更には絶縁低下を招いたり、多くの問題が発生します。では、何故、結露するかと言えば、雨などの天候状態により大気中に含まれる水蒸気圧 e が増加し飽和水蒸気圧 e_s に達すると、それ以上の水蒸気を大気中に保持することができなくなり、水分となって析出することによります。また、温度変化によっても結露が発生します。例えば、日中 25 , $50\%RH$ で大気が乾いた状態であるとして、この時の水蒸気圧は表 1 と式(2)より、 $e = 11.88mmHg$ となります。そして、水蒸気圧が一定のまま、夜中に温度が 10 以下まで低下すると、その時の飽和水蒸気圧は表 1 により、 $e_s < 9.21mmHg$

となるので、 $e > e_s$ となります。すなわち、結露状態になります。一日の気温変動による結露現象の模式図を図 1 に示します。

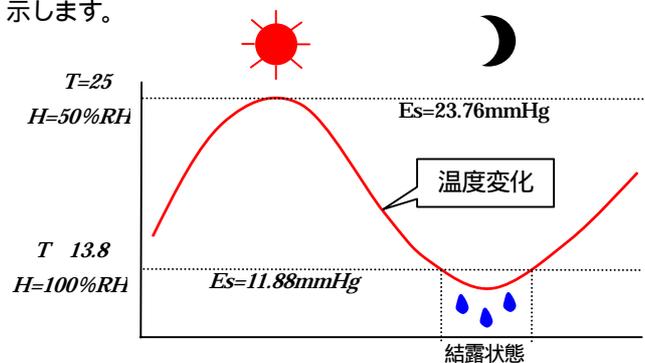


図 1 一日の気温変動による結露現象の模式図

冬季に住宅の内壁やガラスに露が付くことが良く見られますが、これも温度変化によって説明することができます。

結露状態でない気体を冷却していくとある温度で露が付きますが、この温度を露点 T_d と言います。すなわち、露点 T_d とはある気体が飽和水蒸気圧 e_s に達したときの温度です。

温度 T 、相対湿度 H の気体の露点 T_d は次式により求めることができます。

$$T_d = \frac{B}{\ln[H \exp(B/T)/100]} \dots\dots\dots(4)$$

また、温度が 20 以下になると露ではなく霜が現れ、この時の温度を霜点と言います。

湿度計・湿度センサの基礎知識

湿度計・湿度センサの分類

湿度測定方法は日本工業規格 JIS Z 8806 により分類されており、これを参考に湿度計・湿度センサを分類します。これを表 2 に示します。

表 2 湿度計・湿度センサの分類

電気特性利用湿度計	高分子系湿度センサ 金属酸化物系湿度センサ 電解質系湿度センサ
露点計	自動平衡式露点計 肉眼判定式露点計 塩化リチウム露点計
伸縮式湿度計	毛髪湿度計
乾湿球湿度計	アスマン通風乾湿球湿度計 気象庁形通風乾湿球湿度計 抵抗温度計式乾湿球湿度計
その他	赤外線利用湿度計 マイクロ波利用湿度計 水晶振動式湿度計

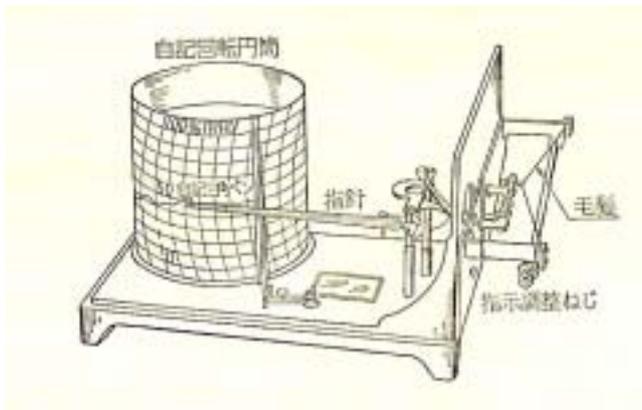


図 2 毛髪湿度計

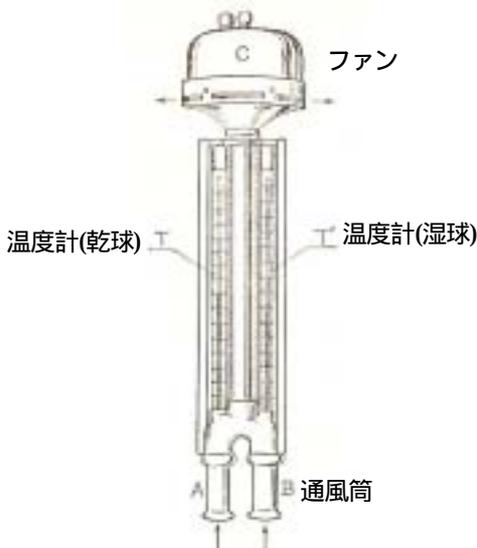


図 3 アスマン通風乾湿球湿度計

電気特性利用湿度計

湿度センサの電気特性を利用した湿度計は次の特徴を持っているため、現在では最も多く利用されている湿度計です。

- ・ 小型
 - ・ 安価
 - ・ デジタル、自動計測・自動制御システム化が容易
- 湿度センサは電解質系、高分子系、金属酸化物系の3つに大別することが出来ます。

高分子系湿度センサ

高分子系湿度センサの基本構造を図 4 に示すように、基板、電極、感湿膜(+コーティング膜)から構成されています。感湿膜材料は

- ・ セルロース化合物
- ・ ポリビニール化合物
- ・ 芳香族系ポリマー

などがあります。

また、高分子材料の親水性高分子に水分子が物理吸着することにより静電容量が変化する静電容量変化型と、吸湿によりイオン伝導を引き起こし電気抵抗が変化する電気抵抗変化型に分類することが出来ます。それらの電気特性の例を図 5 に示します。



静電容量変化型の湿度センサは次の特長を持ちます。

- ・ 湿度-容量特性の直線性が良い
- ・ 温度依存性が非常に小さい
- ・ 相対湿度の全領域で測定可能
- ・ 経年変化が比較的小さい

しかしながら、容量が 100 ~ 200 pF と小さく、また、相対湿度に対する容量変化が 0.1 ~ 0.3 pF/%RH と小さいため、駆動回路や計測機器の設計においては注意が必要です。

また、電気抵抗変化型の湿度センサは次の特長を持ちます。

- ・ 安価
- ・ 多くのセンサ・メーカーが製造・販売
- ・ サーミスタと同じ抵抗変化型であるため、温度・湿度の同時計測、温度補正が容易

しかしながら、次の欠点を持ちます。

- ・ 湿度-抵抗特性の直線性が悪い
- ・ 温度依存性が大きい
- ・ 相対湿度の低湿領域(20%RH 以下)での計測が難しい

よって、これらの特長と欠点を十分に考慮して湿度センサを選定する必要があります。

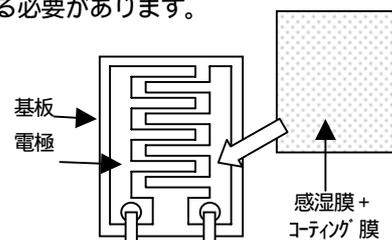
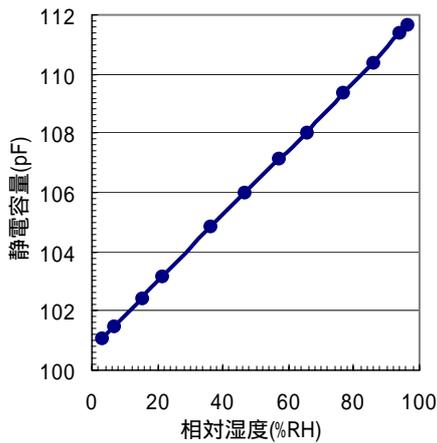
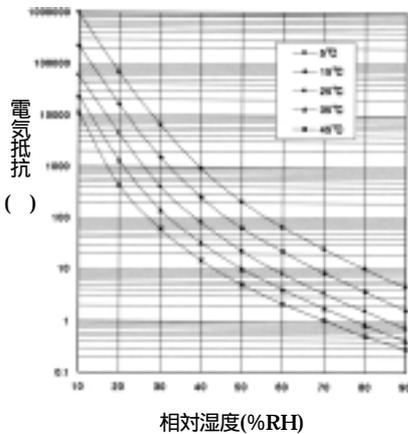


図 4 高分子系湿度センサの構造モデル



(a) 静電容量変化型



(b) 電気抵抗変化型

図5 高分子系湿度センサの特性例

金属酸化物系湿度センサ

金属酸化物系湿度センサも感湿材料に Al_2O_3 を用いた静電容量変化型と ZrO_2 や $ZnCr_2O_4$ 系の電気抵抗変化型があります。 Al_2O_3 膜湿度センサの基本構造を図6に示します。また、静電容量変化型と電気抵抗変化型特性の例を図7に示します。

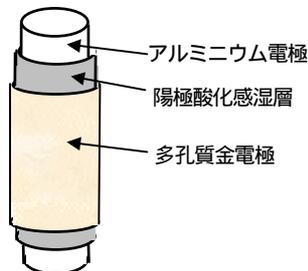
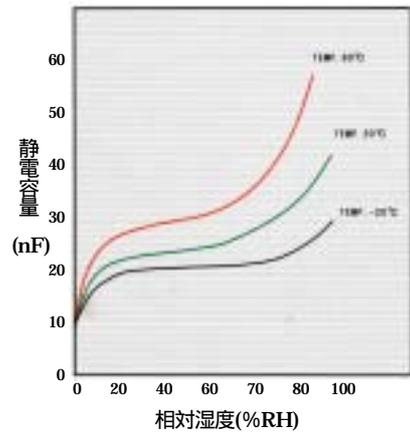
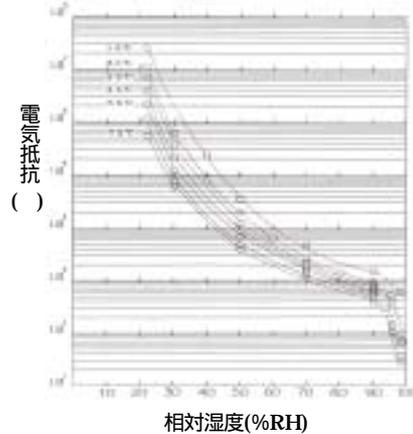


図6 Al_2O_3 膜(陽極酸化膜)湿度センサの基本構造



(a) 静電容量変化型



(b) 電気抵抗変化型

図7 金属酸化物系湿度センサの特性例

自動平衡式露点計

温度 T 、相対湿度 H の気体の露点 T_b は式(4)により与えられるので、気体の露点 T_b と温度 T を測定すれば相対湿度 H を知ることができます。すなわち、

$$H = \frac{\exp(B/T_D)}{\exp(B/T)} * 100 \quad \dots\dots(5)$$

となります。

露点 T_b を高精度に測定する方法として自動平衡式露点計があり、この露点計を鏡面冷却式露点計とも言います。この露点計の原理図を図7に示します。

すなわち、鏡面(アルミニウム)をペルチェ素子(多くの場合、3段)により冷却します。その際、鏡面温度を白金測温抵抗体(Pt100)温度センサにより測定し、且つ、鏡面に LED 光を照射し、その反射光の光量をフォトダイオード(PD)で測定します。鏡面温度が露点に達すると鏡面上に水滴が出現し、その水滴により鏡面からの反射光の一部が乱反射するため、PD の受光量の変化を捉えることにより露を検出します。露を検出した時の鏡面温度を測定することにより露点を求めることができます。

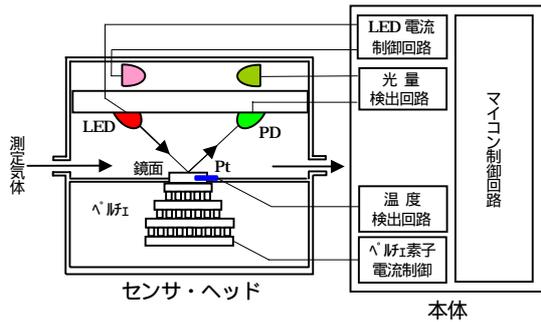


図7 鏡面冷却式露点計の原理図

鏡面冷却式露点計は電気特性変化型湿度センサでは実現し難い高精度の湿度計測が可能で、一般に電気特性利用湿度計の校正・標準機として用いられます。

相対湿度 H を精度 H で計測するには、要求される露点 T_b の精度 T_b は、次の式により与えられます。

$$\Delta T_D = \frac{T_D^2}{BH} \Delta H \quad \dots\dots(6)$$

例えば、電気特性利用湿度計により温度 $T=30$ 、湿度 $H=50\%RH$ を精度 $H=1\%RH$ で測定することは技術的に非常に難しいですが、鏡面冷却式露点計では露点 T_b 18.5 を精度 T_b 0.3 で測定できれば良いことになります。また、温度 $T=20$ 、湿度 $H=10\%RH$ を精度 $H=1\%RH$ で測定するには、露点 T_b -12.5 を精度 T_b 1.3 で測定できれば良いことになります。

赤外線利用湿度計

近赤外領域における水分子による吸収スペクトルを図8に示します。すなわち、波長 1.4, 1.9 μm などに水分子による吸収波長帯があり、この波長帯の光源を選択します。光路長を d とすると受光部での光強度はランバートの法則に従い次の式で示されます。

$$I = I_0 \exp(-\mu d) \quad \dots\dots(7)$$

但し、 I_0 : 光源での光強度 μ : 吸収係数
 よって、吸収係数 μ は水分量に比例しますので、透過光量を測定することにより、水分量を求めることが出来ます。

また、光源の光量の変動があるため、水分による光の吸収のない波長を用い、2波長での受光量の比により水分量を求めます。

この方法では相対湿度ではなく絶対湿度(g/m^3)になります。また、検出感度は光路長により決まり、且つ実用機ではあまり光路長を長くすることができないため、低湿の検知が難しい欠点を持ちます。この赤外線湿度計の基本構造を図9に示します。

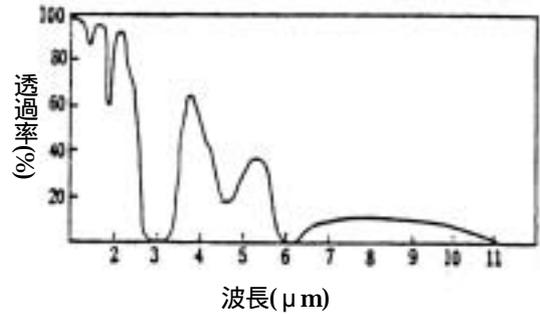


図8 水の吸収スペクトル

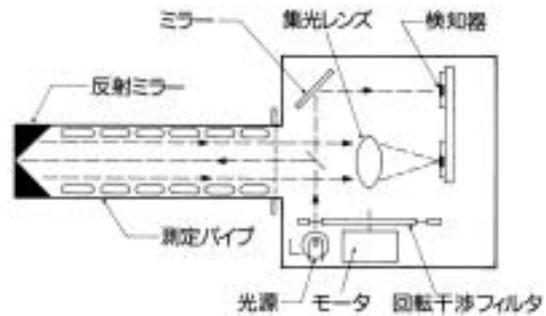


図9 ダブルビーム方式赤外線湿度計(倉敷紡績 KH-100)

湿度の校正の基礎知識

トレーサビリティ体系

電気特性利用湿度計で高精度な湿度計測を実現するには、信頼性の高い湿度センサや回路方式を採用することは当然として、高い校正精度を実現する必要があります。このため、使用する湿度計を国家標準と間接的に比較できる体系を構築することが必要です。この体系をトレーサビリティ体系と言います。

このためには湿度の基礎標準と照合できる基準湿度計が必要であり、この標準湿度計には主に鏡面冷却式露点計が用いられています。また、温度校正における水の三重点などの温度定点对応する基準湿度発生装置を用いて校正します。

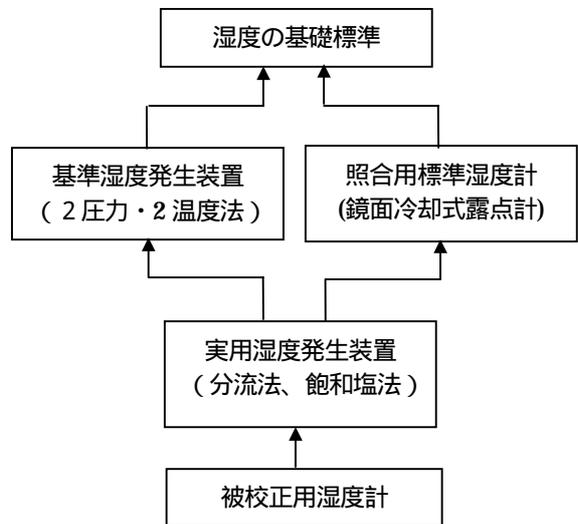


図10 湿度のトレーサビリティ体系の例

標準湿度発生装置

飽和水蒸気を持つ気体の圧力、温度を変えることにより任意の湿度の気体を得ることができます。

2 圧力法

図 11 の装置において、圧縮気体を飽和槽に送って水蒸気を飽和させ、圧力調整弁を介して飽和水蒸気を持つ気体を試験槽に供給します。試験槽の相対湿度は次の式により与えられます。

$$H = \frac{P_t e_s}{P_s e_t} * 100 \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 P_s, P_t は飽和槽と試験槽の圧力、 e_s, e_t は飽和槽と試験槽の温度 T_s, T_t における飽和水蒸気圧。

飽和槽と試験槽の温度 T_s, T_t を等しくすると、 $e_s = e_t$ であるので

$$H = \frac{P_t}{P_s} * 100 \dots\dots\dots(9)$$

が成立し、相対湿度 H は 2 つの槽の圧力比 P_t / P_s によって与えることができます。

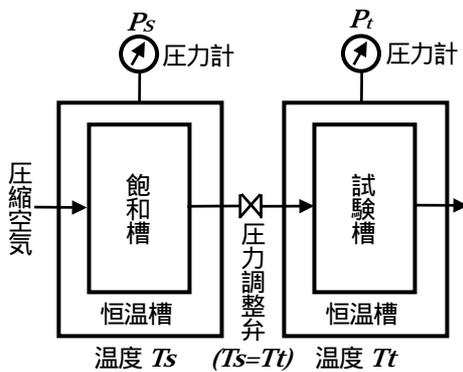


図 11 2 圧力法による標準湿度発生装置

2 温度法

2 圧力法と逆に、圧力を等しくし、飽和槽と試験槽の温度を積極的に変えると、(8)式により

$$H = \frac{e_s}{e_t} * 100 \dots\dots\dots(10)$$

また、(1)式により

$$H = \exp B \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_t} \right) * 100 \dots\dots\dots(11)$$

の関係が成立します。

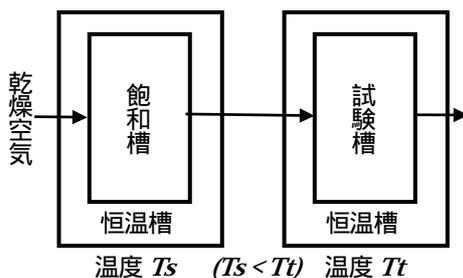


図 12 2 温度法による標準湿度発生装置

その他の湿度発生装置

湿度発生の安定性が 2 圧力・2 温度法より劣るため、標準湿度発生装置や標準湿度計と併用しながら、湿度の校正が出来る方法として分流法と飽和塩法があります。

分流法

図 13 の装置において、乾燥空気を分流し、一方の空気を飽和槽を通して、もう一方を試験槽に直接送り、2 つの空気を試験槽で混合させます。この時の試験槽の相対湿度は

$$H = r \frac{P_t}{P_s - (1-r)e_s} * 100 \dots\dots\dots(12)$$

流量計を調整し分流比 r を変えることにより、任意の相対湿度 H を得ることができます。

流量計を調整して簡単に任意の相対湿度 H を得ることができる利点がある一方、圧力変動による影響を受け易く、また、分流比の測定に誤差があるため、精度の高い安定した湿度を得難い欠点があります。

しかし、広い湿度領域で応答性の速い湿度雰囲気を手堅く得られるため、その湿度を鏡面冷却式露点計でモニターしながら湿度校正を行う方法としてよく用いられています。

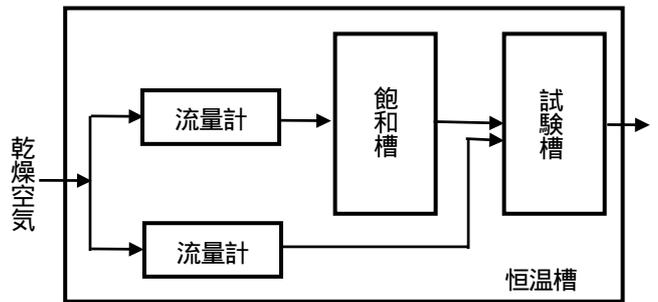


図 13 分流法による湿度発生装置

飽和塩法

塩類の飽和水溶液を利用する湿度発生方法を飽和塩法と言います。図 14 の装置において、飽和水溶液と共存し平衡状態にある気体の相対湿度 H は、その水溶液の溶質の種類(塩類)と温度により決まるため、一定の相対湿度 H を得ることができます。ある温度における純粋な水と平衡関係にある気体の水蒸気圧は飽和水蒸気圧 e_s となり、ある溶質の飽和水溶液と平衡関係にある気体の水蒸気圧の比 e/e_s は、その水溶液の水のモル分率 X_w に等しくなります。すなわち、

$$H = \frac{e}{e_s} * 100 = X_w * 100 \dots\dots\dots(13)$$

となり、水のモル分率 X_w は溶質の種類と温度により決まるため、相対湿度 H を得ることができます。

各塩類に飽和水溶液と平衡関係にある気体の相対湿度の関係を表 3 に示します。

飽和塩法は簡単な装置で実現できるが、一定の相対湿度を安定的に実現するには、温度平衡、塩の溶解平衡の達成が重要であり、経験的なノウハウが必要です。また、ほとんど流量が取れない欠点もあります。

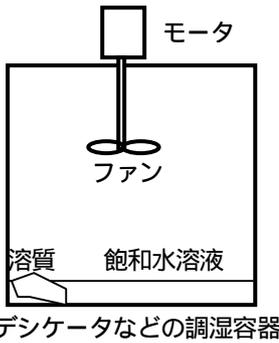


図 14 飽和塩法による湿度発生装置

物質の種類	湿度 % (RH)							
	0	5	10	15	20	25	30	
K ₂ SO ₄	99	96	94	94	94	93	92	
KNO ₃ (*)	96	96	95	95	95	94	92	
KCl	69	68	67	66	65	64	64	
NaCl	76	76	76	76	75	73	73	
NaBr	65	64	62	62	59	58	58	
Mg(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O(*)	60	59	57	56	54	53	52	
H ₂ CO ₃ ·2H ₂ O	43	43	43	43	43	43	43	
MgCl ₂ ·4H ₂ O	34	34	33	33	33	33	33	
LiCl	11	11	11	11	11	11	11	

注(*) 金属を腐食することがある。

表 3 塩類の飽和水溶液と共存して平衡にある気体の相対湿度

湿度センサ駆動回路の基礎知識

印加電圧の注意事項

湿度センサへの印加電圧には幾つかの制約事項があります。制約事項から外れて使用すると、精度が取れないどころか、大きな経年変化や湿度センサを破損する原因になる場合もありますので、十分に注意して下さい。

- ・ 電圧範囲
- ・ 周波数範囲
- ・ 波形
- ・ 直流分の有無

これら具体的内容は各湿度センサにより異なりますので、湿度センサ・メーカーに確認して駆動回路の設計を行って下さい。

電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路

電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路のシステム構成を図 15 に示します。すなわち、湿度センサにある一定の交流電圧を印加するための発振回路、湿度センサに生じる交流電圧を検出するための検波・増幅回路、そして、湿度センサの湿度-抵抗特性は非線形ですので、これを線形化するためのリニアライズ回路から構成されます。また、電気抵抗変化型湿度センサの温度依存性が大きいので、これを補正するための温度検出・温度補正回路を付加している構成が一般的です。

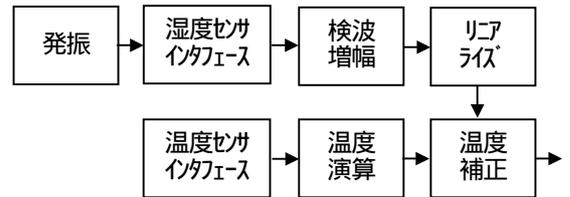


図 15 電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路のシステム構成

電圧出力式電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路

相対湿度に対して出力電圧が変化する電気抵抗変化型の湿度センサ駆動回路の例を図 16 に示します。回路中の定数は参考値です。各定数は湿度センサの特性により変わりますので、使用する湿度センサ特性に合わせて設定して下さい。

発振回路

図 16 ではオペアンプによる方形波発生回路(非安定マルチバイブレータ)を採用しましたが、図 17 に示すように方形波を発生する回路方式はいろいろありますので、設計の都合に合わせて適宜、選定することになります。また、湿度センサ・メーカーによっては湿度センサに印加する電圧波形を正弦波に限定している場合もありますので、この場合は図 18 のような正弦波発生回路を用いて下さい。

湿度センサ・インタフェース回路

電気抵抗変化型湿度センサの湿度 H - 抵抗 R_H 特性は次の式で近似することができます。

$$R_H = R_{50H} \exp A \left(\frac{1}{H} - \frac{1}{H_{50}} \right) \dots\dots\dots (14)$$

但し、 R_{50H} は相対湿度 50%RH での抵抗値、 A は各湿度セ

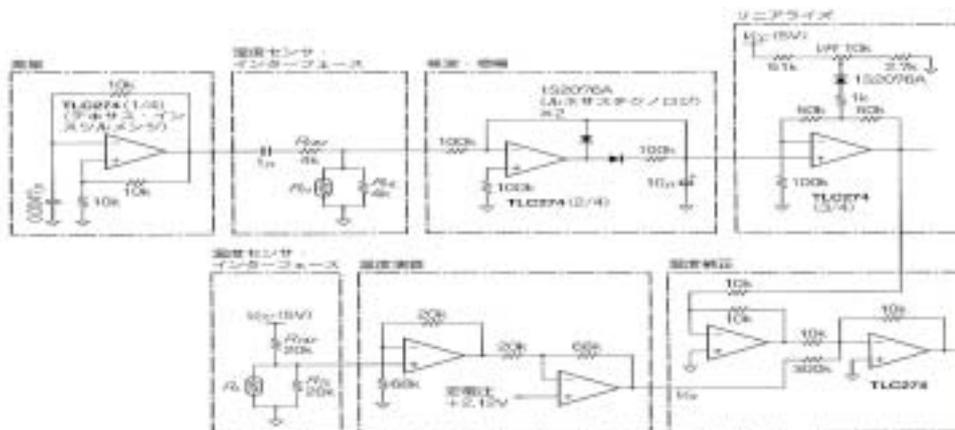


図 16 電圧出力式電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路の例
各定数は参考値です。採用する個々の湿度センサ特性に合わせて設定して下さい

よって、センサ特性を対数圧縮することにより直線化することができます。しかし、オペアンプとトランジスタを用いた対数圧縮回路では部品定数が多く、また、回路の温度依存性が大きいことから、ここでは抵抗一本による簡易な対数圧縮をおこないます。例えば、湿度センサ特性 R_H ($R_{50H}=30k$, $A=300$) に対して、抵抗 $R_{HL}=4k$ を並列に接続します。抵抗 R_{HL} により抵抗補間された湿度センサ特性は図 19 のようになります。この方法は非常に簡易ですが完全な直線化ではなく、非直線誤差が生じたり、低湿領域の感度が低下する欠点があります。また、抵抗 R_{HL} を変えることにより直線化の特性が変化しますので、湿度センサ特性と精度を必要とする湿度領域を考慮しながら抵抗 R_{HL} の値を決めてください。

抵抗 R_{HM} により発振回路の出力電圧を分圧することにより、湿度センサに印加する電圧を設定することができます。また、この値により後段に出力する電圧範囲を変えることもできます。

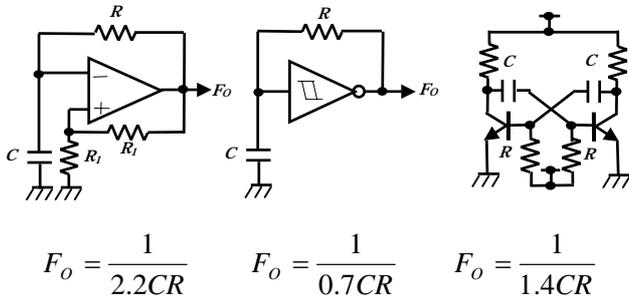


図 17 各種の方形波発振回路

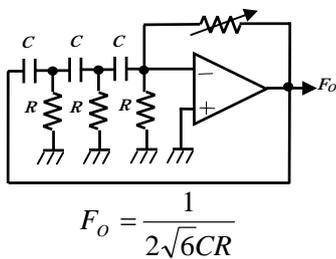


図 18 正弦波発振回路

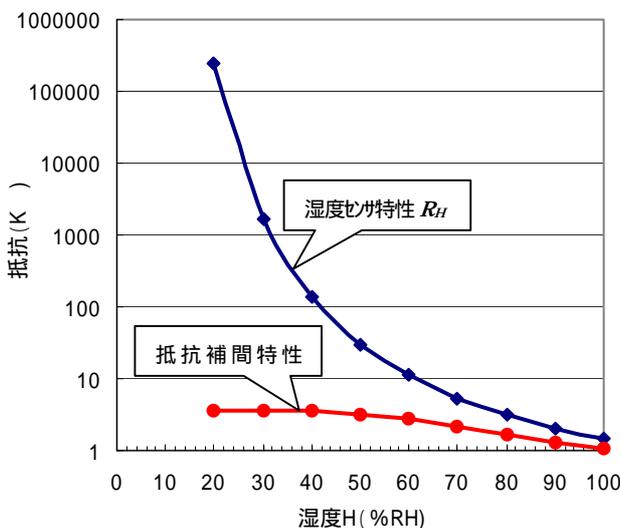


図 19 湿度センサ特性と抵抗補間特性

検波・増幅回路

図 16 の検波・増幅回路はダイオードとオペアンプによる半波整流回路です。この半波整流回路の増幅度を 1 に設定していますが、実際の設計においては、湿度センサ特性と前段の回路に合わせて増幅度を設定します。

リニアライズ回路

今回は回路構成が簡単なダイオードによる関数発生回路を用いています。この回路の入出力特性の実測データを図 20 に示します。湿度センサ・インタフェース回路からの出力電圧は図 21 のように非直線性が大きくなっている領域があり、これを関数発生回路の非直線特性により補正をおこないます。ただし、ダイオードを用いているため、この回路により新たな温度依存性が発生しますので注意が必要です。

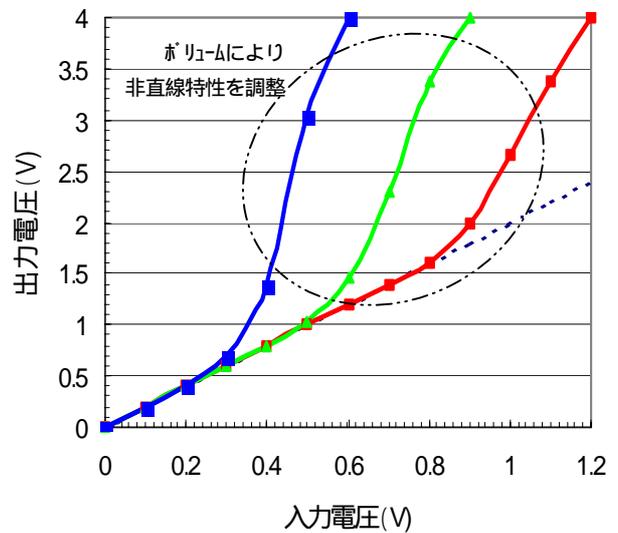


図 20 関数発生回路の非直線特性

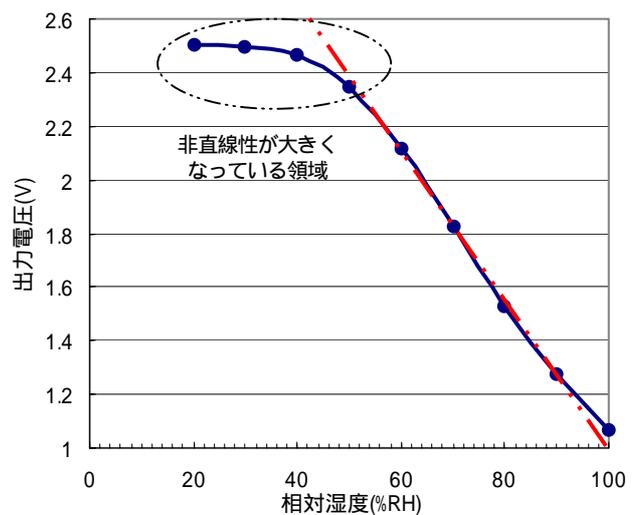


図 21 湿度センサ・インタフェース回路の特性

温度センサ・インタフェース回路

サーミスタの特性は

$$R_T = R_{20T} \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{20}} \right) \dots\dots\dots(15)$$

で示すことができます。但し、 R_{20T} は温度 20 での抵抗値、 B は各温度センサ固有の定数です。よって、同様に抵抗補間により直線化することができます。例えば、サーミスタ特性 R_T ($R_{20T}=20k$, $A=3450$) に対して、抵抗 $R_{TL}=20k$ の並列接続による抵抗補間特性は図 22 のようになり、次の式で近似することができます。

$$R_T' \approx -0.173t + 13.46(k\Omega) \dots\dots\dots(16)$$

ここで、 t はセルシウス温度()です。

また、温度センサ・インタフェース回路から出力される電圧は次の式で近似することができます。

$$V_t \approx -0.0225t + 2.117 \dots\dots\dots(17)$$

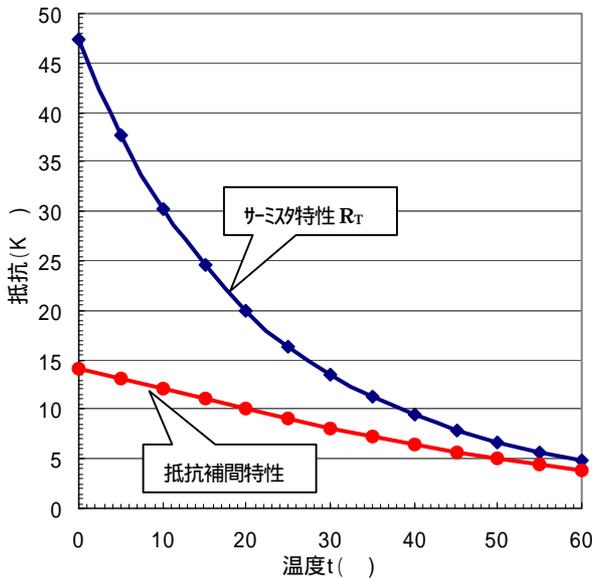


図 22 サーマスタ特性と抵抗補間特性

温度演算回路

温度演算回路の出力電圧 V_{ot} が温度 t に対して、

$$V_{ot} = 0.1t \dots\dots\dots(18)$$

の関係で出力する場合を考えます。温度演算回路の特性を

$$V_{ot} = aV_t + b \dots\dots\dots(19)$$

で表すと(18),(19)式より

$$a = -4.44, \quad b = 9.41$$

となります。

温度補正回路

例えば、図 5 の(b)の湿度センサ特性において、同じ抵抗値であっても温度変化 30 に対して相対湿度は 10%RH も変化します。つまり、リニアライズ回路出力電圧 V_{OL} に対して次の補正をおこなう必要があります。

$$V_{OH} = V_{OL} - 0.033V_{OL} \dots\dots\dots(20)$$

但し、温度補正前の湿度 100%RH に対して、リニアライズ回路の出力電圧 V_{OL} は 1V とします。

図 16 の回路図は各回路の動作原理を説明し易くするために各回路ブロックに分けて設計しましたが、工夫することにより簡略化することも可能です。

周波数出力式電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路

周波数出力式では、リニアライズ、相対湿度変換演算、温度補正をハードウェアでおこなうことは難しいので、出力周波数をマイコンに取り込んで、ソフトウェアにより演算処理する方法が一般的です。

相対湿度に対応して周波数が変化する電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路を図 23 に示します。

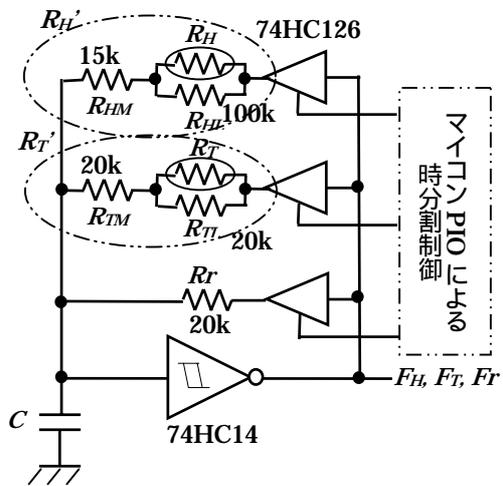


図 23 周波数出力式電気抵抗変化型湿度センサ駆動回路

時分割制御、周波数比演算

74HC126 をマイコンにより制御することにより、抵抗 $R_{H'}', R_{T'}', R_r$ に対応した次の周波数を時分割で出力します。

$$F_H \propto 1/CR_{H'}, F_T \propto 1/CR_{T'}, F_r \propto 1/CR_r \dots\dots\dots(21)$$

これらの周波数をマイコンに内蔵されているカウンタに取り込み、次の演算をおこなうことにより抵抗 $R_{H'}', R_{T}'$ の値を求めることができます。

$$R_{H}' = R_r \frac{F_r}{F_H}, R_{T}' = R_r \frac{F_r}{F_T} \dots\dots\dots(22)$$

図 23 の抵抗 $R_{HM}'', R_{HL}'', R_{TM}'', R_{TL}''$ の役割は、図 16 の抵抗 $R_{HM}', R_{HL}', R_{TM}', R_{TL}'$ の役割である簡易な対数圧縮による直線化ではなく、湿度センサに印加される電圧の周波数範囲を制限することを目的とします。例えば、図 19 の特性の湿度センサに対して、 $R_{HM}''=15k$, $R_{HL}''=100k$ とすると、相対湿度に対する発振周波数 F_H の関係は図 24 となり、周波数の範囲は 10kHz ~ 100kHz に制限されます。

発振周波数 F_H - 相対湿度 H 変換演算

(22)式の演算により得られた発振周波数 F_H から相対湿度 H を求める演算方法は幾つかの種類がありますが、今回

は折線近似による方法を説明します。

図 25 に示すように、発振周波数 F_H と相対湿度 H の関係は幾つかの直線に分割して示すことができます。従って、図 26 に示すフローチャートにより発振周波数 F_H から相対湿度 H への変換演算をおこないます。

温度補正演算

基本的には(19)式と同じ演算をおこないますが、ハードウェアによる演算とは異なりソフトウェアにより演算では湿度領域により温度係数 a を変えることにより、より精度の高い温度補正演算をおこなうことも可能です。

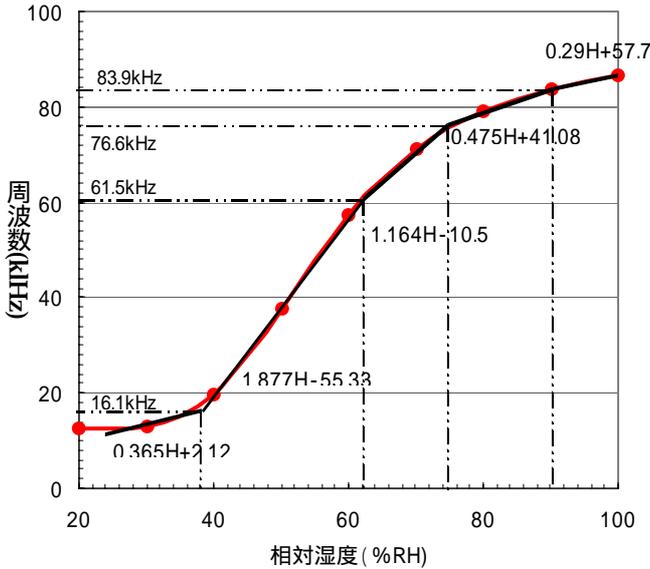


図 24 折線近似により発振周波数 F_H - 相対湿度 H 演算

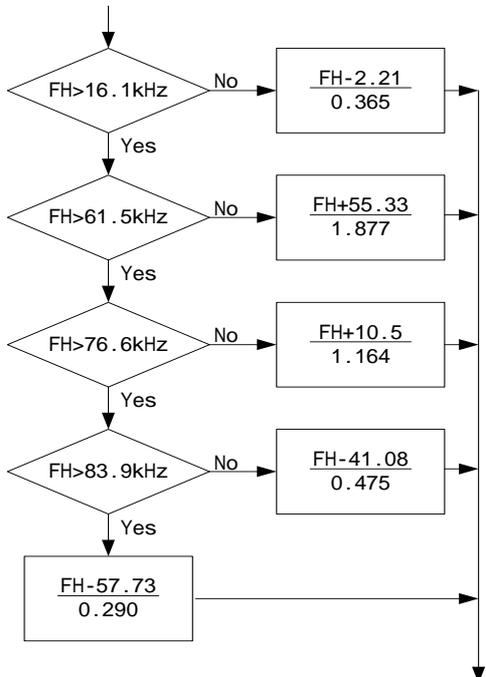


図 25 発振周波数 F_H - 相対湿度 H 演算のフローチャート

静電容量変化型湿度センサ駆動回路

一般に、静電容量変化型湿度センサは相対湿度 H - 静電容量 C_H 特性の直線性が非常に良く、また、温度依存性も非常に小さい特長を持つため、湿度センサ駆動回路を簡略

化できます。

電圧出力式静電容量変化型湿度センサ駆動回路

マルチバイブレータを用いた相対湿度に対して出力電圧が変化する静電容量変化型湿度センサ駆動回路の例を図 26 に示します。今回は図 5(a)の特性を前提に回路定数を設定しました。この回路のトランジスタのコレクタ電圧は図 27 の方形波となります。

図 27 のパルス幅 t_1 、 t_2 は次の式で示すことができます。

$$\tau_1 = 0.7C_H R_2, \tau_2 = 0.7C_2 R_1 (\approx 5\mu s) \dots\dots(23)$$

また、発振周波数 F_H は

$$F_H = \frac{1}{0.7(C_H R_2 + C_2 R_1)} \approx 100kHz \dots\dots(24)$$

となります。更に出力電圧 V_0 は

$$V_0 = \frac{\int_0^{\tau_1+\tau_2} V_{C2} dt}{\tau_1 + \tau_2} - \frac{\int_0^{\tau_1+\tau_2} V_{C1} dt}{\tau_1 + \tau_2} \approx \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_1 + \tau_2} V_{dd} \dots\dots(25)$$

静電容量 C_H と出力電圧 V_0 の関係の実測データを図 28 に示します。

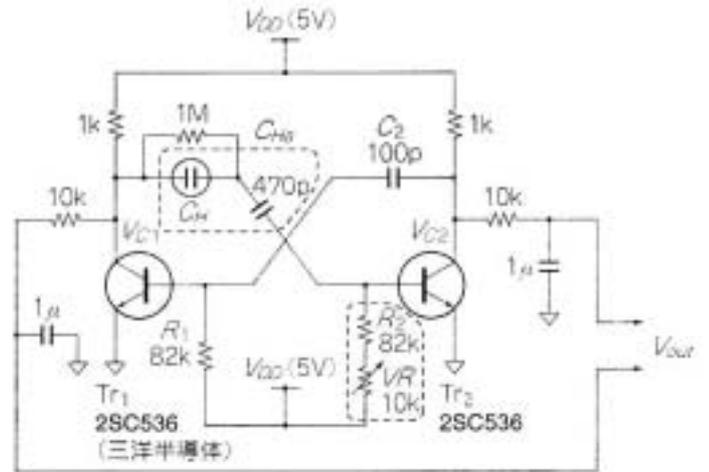


図 26 電圧出力式静電容量変化型湿度センサ駆動回路

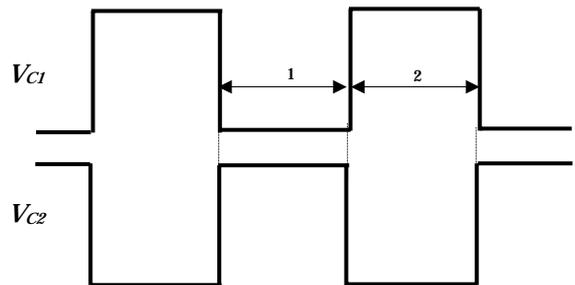


図 27 湿度センサ駆動回路のコレクタ電圧波形

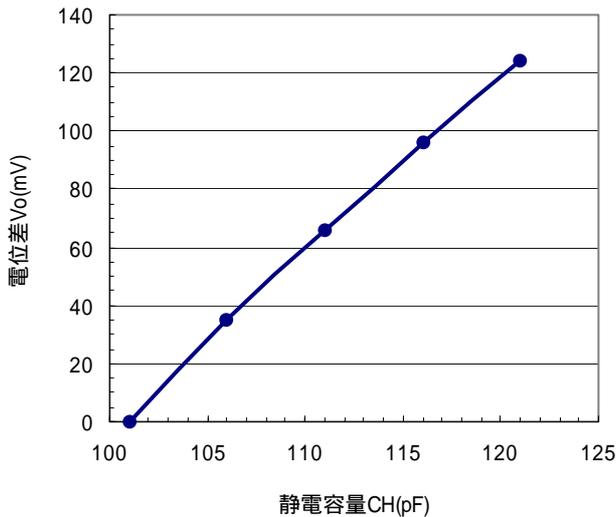


図 28 静電容量 C_H - 出力電位差 V_o 特性

周波数出力式静電容量変化型湿度センサ駆動回路

シュミット・インバータ方形波発振回路を用いた相対湿度に対して周波数が変化する静電容量変化型湿度センサ駆動回路の例を図 29 に示します。出力数周波数 F_H , F_r は

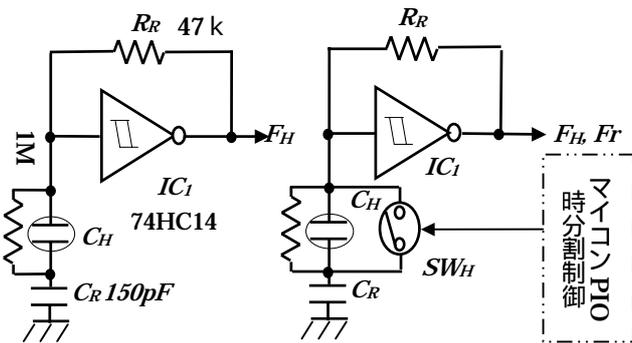
$$F_H = \frac{1}{0.7 R_R} \left(\frac{1}{C_R} + \frac{1}{C_H} \right)$$

$$F_R = \frac{1}{0.7 R_R C_R} \dots\dots\dots (26)$$

となります。また、周波数比 r_f は

$$r_f = F_H / (F_H - F_R) = \frac{C_H}{C_R} \dots\dots\dots (27)$$

となります。静電容量 C_H と周波数 F_H , および、周波数比 r_f の関係の実測データを図 30, 31 に示します。



(a)周波数ダイレクト方式 (b)周波数比方式

図 29 周波数出力式容量変化型湿度センサ駆動回路

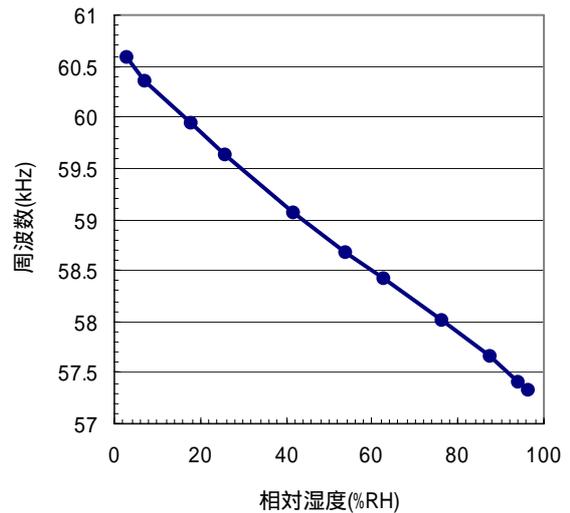


図 30 静電容量 C_H - 出力周波数 F_H 特性

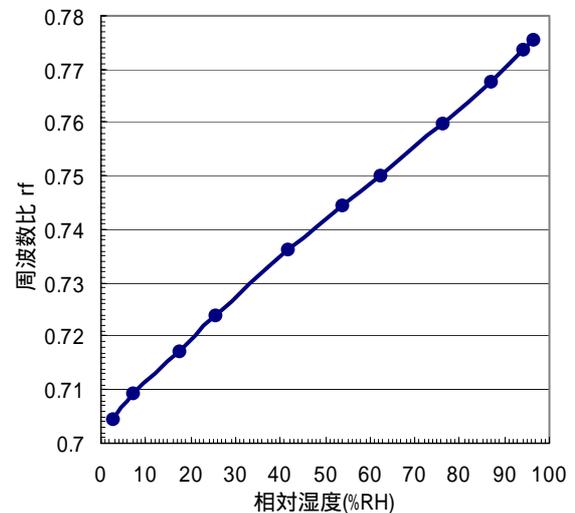


図 31 静電容量 C_H - 周波数比 r_f 特性

<参考文献>

トランジスタ技術編集部；温度・湿度センサ活用ハンドブック、CQ 出版社
トランジスタ技術編集部；センサ応用回路の活用ノウハウ、CQ 出版社
トランジスタ技術編集部；センサ・インターフェーシング No.1、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
高橋清他；センサエレクトロニクス、昭晃堂
清山哲郎他；化学センサー、講談社
山香英三；ハイテクノロジー・センサ、共立出版
南任靖雄；センサと基礎技術、工学図書
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
センサ技術編集部；センサデバイスガイドブック'86、情報調査会