U.D.C. 533.275

塩化リチウムを使用した最近の湿度計

Modern Hygrometers Using Lithium Chloride

小宮山 茂 雄* 岩 淵 芳 雄** 菅 原 徹**
Shigeo Komiyama Yoshio Iwabuchi Tôru Sugawara

内 容 梗 概

塩化リチウムを使用した湿度計として，加熱式露点温度計，電気抵抗式感湿素子による相対湿度 ON-OFF 調節計，および測定範囲 15～95% R. H. の相対湿度計を開発した。

一般に，加熱式露点温度計には，起動に時間がかかり，応答が遅く，高温高湿のときには使用不能になるという欠点があるが，ここに述べる露点温度計はこれらの点を改良し，広範囲にわたって使用できるものである。また，電気抵抗式相対湿度計においては新しい温度補償法により発信器，計器間の配線が同軸ケーブル 1 本で済み，設置，取り扱いが容易であるという長所をもつものである。

これら湿度計の原理，構造，特性などについて述べる。

1. 緒 言

湿度の測定および制御は製紙，繊維，木材加工，製薬，食品工業はもちろん，そのほかの工業においても，近年その必要性が認められるようになり，また人間の生活環境の改善を目的として空気調和が広く採用されるようになって，ここでも温度とともに湿度の自動制御が行なわれるようになった。

従来，湿度の測定と制御を目的として電気式乾湿球湿度計が使用されてきたが，乾湿球式は多くの長所をもつ反面，送風用ファンを必要とし，水の補給，ガーゼの交換など保守上での難点が多く，これらの点の改良が望まれていた。

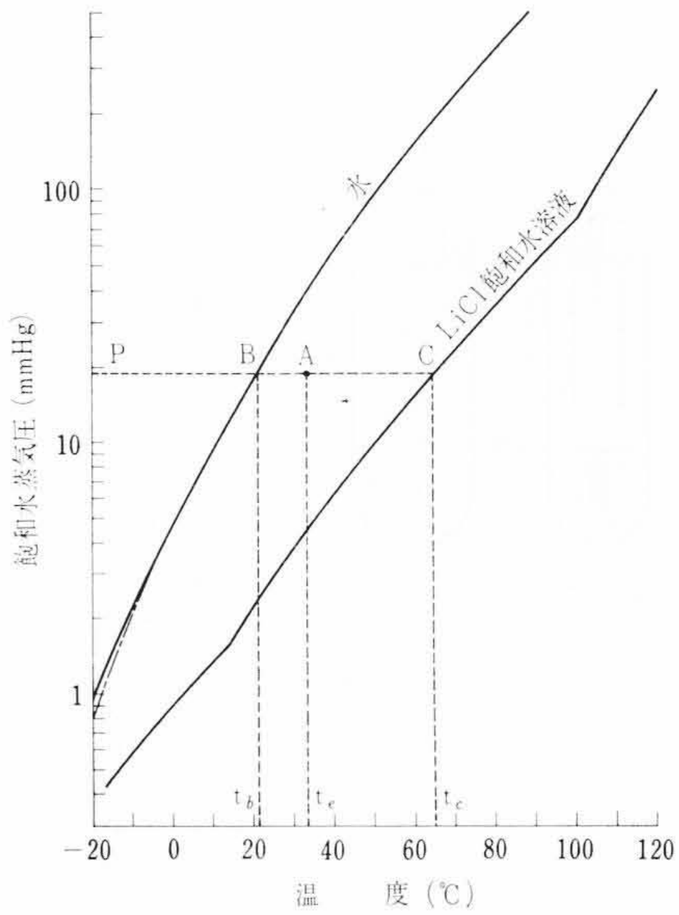
塩化リチウムを使用した湿度発信器は，保守簡易化の上で非常にすぐれており，露点温度計あるいは相対湿度計として広く使用されてきているが，やはりそれなりにかなり問題があり，使用上の制限もある。塩化リチウムには吸湿性があり，その性質を利用するため塩化リチウムと化学反応を起こすふん囲気，たとえば SO_2 ガスを含む空気の湿度は測定できないが，保守も 2～3 箇月に 1 回の塩化リチウム塗布で露点温度計として使用できる。相対湿度計はまったく保守の必要がないが，水滴を極度にきらうため，急冷される所には使用上注意が肝要である。このようにそれぞれ長所，短所をもつ塩化リチウムを使用した湿度計も使用目的と適用を誤らなければ，乾湿球式では測定不可能な場合も湿度の測定，制御が可能となる。以下塩化リチウムを使用した露点温度計，相対湿度計については概説し，その制御用調節計にも触れて湿度管理上の資料に供したいと思う。

2. 露 点 温 度 計

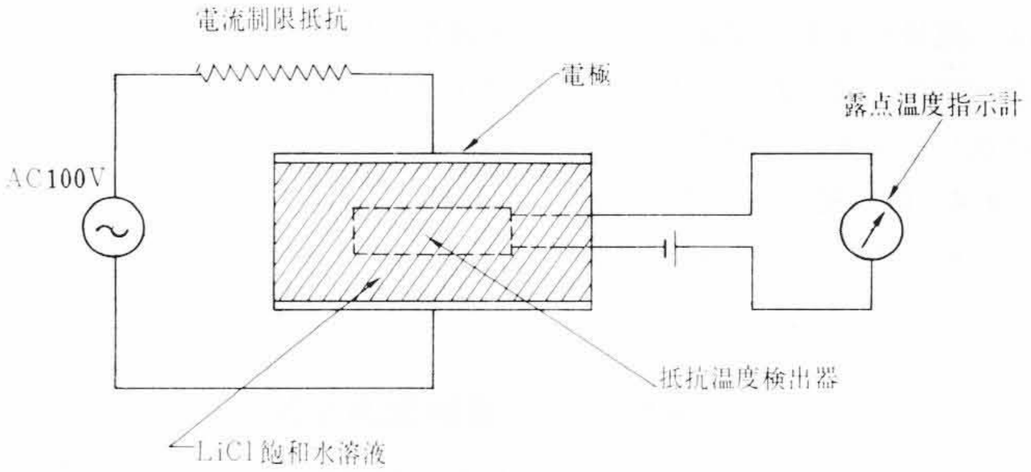
2.1 動 作 原 理

一般に塩類の飽和水溶液の飽和水蒸気圧は温度のみの関数で，温度の上昇とともに増大する。したがって，温度が一定で溶液の飽和水蒸気圧と周囲大気の水蒸気圧とが平衡しているときは水分の吸収，蒸発は起こらないが，周囲大気の水蒸気圧が増減すると，それに応じて水分の吸収，蒸発が起こり，また大気の水蒸気圧が一定でも塩の飽和水溶液の温度が変われば水分の吸収，蒸発が行なわれるようになる。ここに述べる露点計は塩（一般に塩化リチウムを使用する）のこの性質を利用したものである。

塩化リチウムの飽和水溶液の温度と飽和水蒸気圧との関係は第 1 図のごとくで，同図には水の飽和水蒸気圧曲線も併記してあるが，これより明らかなように水蒸気圧 P，温度 t_a の大気がある場合に A を通る水平線を引き，これと水および塩化リチウム飽和水溶液の飽和水蒸気圧曲線との交点を求め，それぞれ B, C とすると，B 点に相当する温度 t_b は露点温度となり，C 点に相当する温度 t_c は塩化リチウム飽和水溶液の飽和水蒸気圧が P となるときの温度となる。したがって塩化リチウム水溶液の温度をなんらかの方法で t_a より t_c まで上昇させて大気中の水蒸気圧と塩化リチウム飽和水溶液の飽和水蒸気圧とが釣り合うようにし，そのときの温度 t_c を測定すれば露点計が得られる。



第 1 図 水と塩化リチウム飽和水溶液の蒸気圧曲線



第 2 図 露点温度計の原理図

以上のように露点を測定するには塩化リチウム水溶液を加熱することが必要になるが，溶液中に固体塩がない場合はその電気伝導度は非常に大きく，また少しでも固体塩が析出するとその伝導度は急激に低下するので，第 2 図のように二つの電極間に塩化リチウムの

* 日立製作所那珂工場
** 日立製作所日立研究所

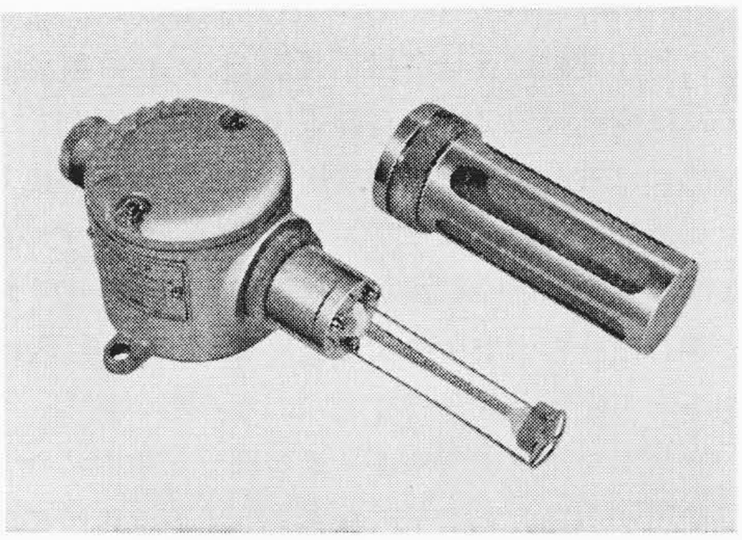
飽和水溶液を塗り，電極間に交流電圧を印加して通電によるジュール熱により塩化リチウム水溶液の温度を上昇させる。この場合塩化リチウム水溶液の温度はそれの飽和水蒸気圧が周囲大気の水蒸気圧に等しくなるまで上がる。そしてもしこの温度以上になると水分が蒸発して固体塩が析出し，急激に電気抵抗が増大し，電流が減少して発生熱量は少なくなり，温度が下がる。また，温度が下がり過ぎると水分を吸収して電気抵抗が少なくなり，加熱電力が増し，再び温度が上がる。このような現象が繰り返されるため塩化リチウム水溶液の温度はそれの飽和水蒸気圧が周囲大気の水蒸気圧に等しくなる温度に自動的に調整される。したがってそのときの温度を露点温度を目盛った温度計で測定すればよい。

この方式の露点温度計は比較的応答が速く，構造が簡単で，取り扱いも容易であるなどの多くの特長をもっている。

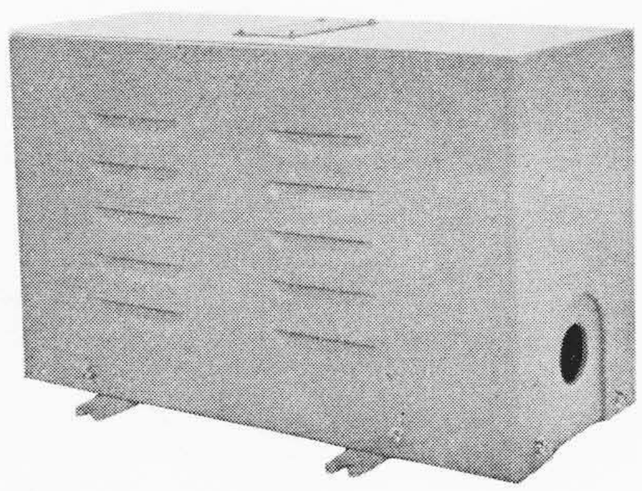
2.2　発信器の構造

塩化リチウム露点温度計は発信器，電源装置および受信計器（指示，記録計）より構成され，これらの外観は**第3～5図**に示すとおりである。

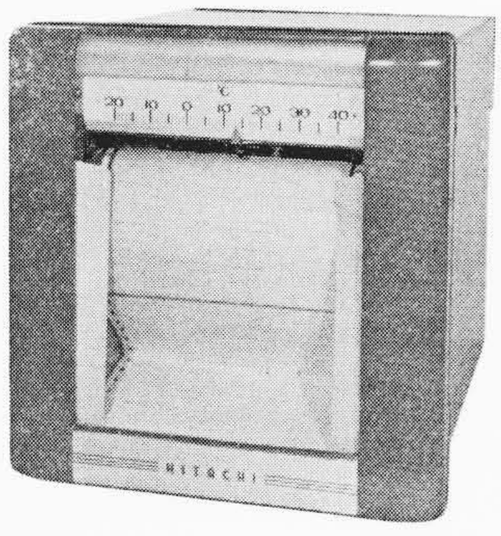
第3図は発信器の外観で，**第6図**は感湿部の内部構造説明図である。感湿部は表面を絶縁された細い金属パイプの上にガラステープを巻きつけ，その上に電極となる2本の白金系抵抗線を平行に巻き，その両端は磁器製端子に固定されている。塩化リチウム水溶液の温度測定用の白金測温抵抗体はガラスで絶縁した白金管に細い白



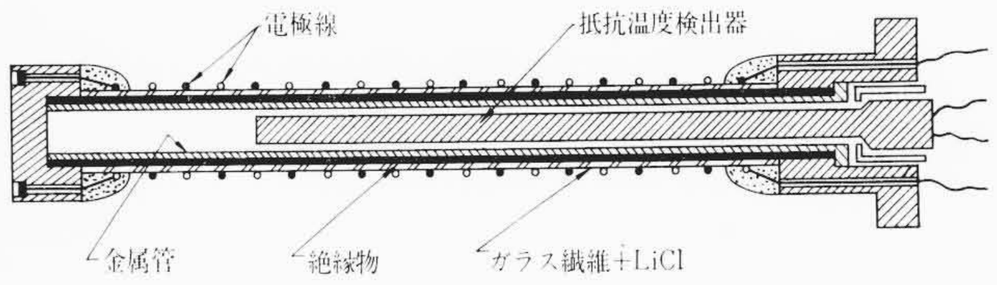
第3図　DP-H形露点温度発信器



第4図　X-DP　形　電　源　箱



第5図　VKB_{31}形露点温度指示記録計



第6図　感湿度内部構造説明図

金線をコイル状に巻き，その上に薄いガラス被膜をつけたものである。

塩化リチウム飽和水溶液を含浸させるガラス繊維は耐熱度のよい良質のものをよく洗浄して使用している。そうしないと起動時に局部加熱が起こり，その部分のガラス繊維が焼損したり，または温度指示が不安定になったりする。

次に電極として抵抗線を使用した理由について説明する。従来のものは0.2～0.3 ϕ の銀線または金線を用いているが，その場合は起動時の塩化リチウム水溶液層の合成抵抗がきわめて低い（約1Ω）ため，消費電力が小さい，そのため温度上昇がおそく，塩化リチウム水溶液層の水分が蒸発して，大気中の水蒸気圧と塩化リチウム水溶液の飽和水蒸気圧とが平衡する温度に達するまでに長時間かかる。しかも，高温高湿になると水分が放出される温度に達しないために使用不能になることもある。従来このような欠点をなくすために制限抵抗を小さくして大きい電流を流すか，または，塩化リチウムを揮発性溶媒（アルコール類）に溶かして塗布するようにしていた。しかし前者は電源の容量が大きくなり，かつ，塩化リチウム水溶液の水分が蒸発し液層の電気伝導度が小さくなったときの消費電力が過大になり，一時感湿部がかなり高温になり絶縁材の耐熱性の問題が生じてくる欠点がある。また，後者は一時運転を停止し，再起動させるごとに塩化リチウム溶液を塗りかえなければならない不便がある。そこで筆者らは電極線自体の抵抗による消費電力を利用することとし，電極として白金イリジウムを用い，各電極線の抵抗値が約4Ωになるようにした(特許申請中)。これにより後述するように十分実用性のある露点温度計を作ることができた。

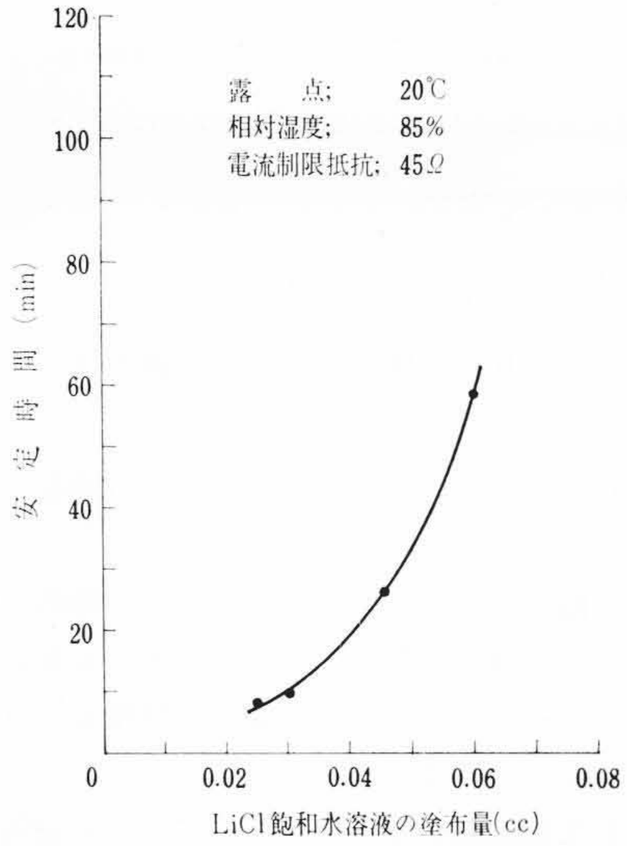
2.3　露点温度計の特性

2.3.1　起　動　特　性

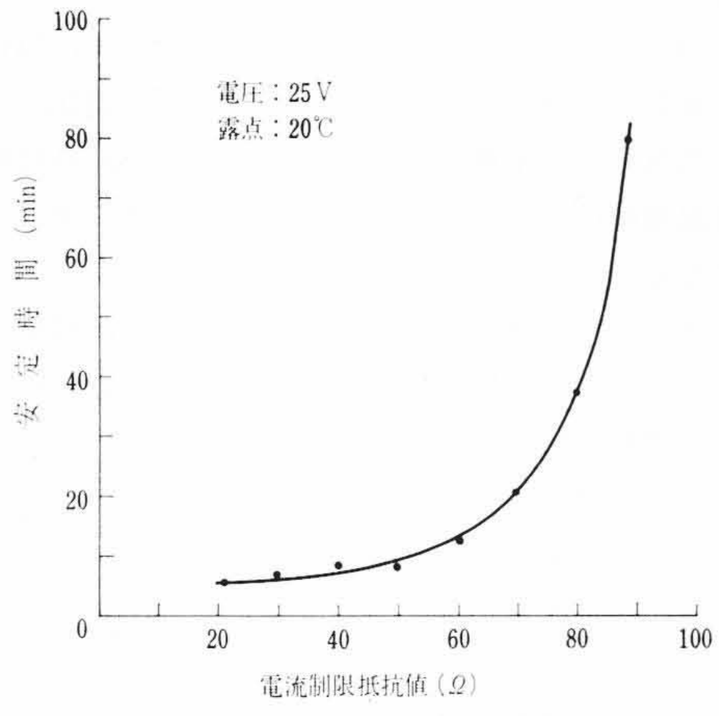
感湿部の加熱電極間に交流電圧が印加されると，ガラス繊維に塗布されている塩化リチウム水溶液層を通して電流が流れ，ジュール熱により感湿部の温度が上昇し，塩化リチウム水溶液中の水分が蒸発して大気中の水蒸気圧と塩化リチウム水溶液の水蒸気圧とが平衡する温度に落ちつくが，その起動特性は感湿部の構造に関係するばかりでなく，塩化リチウム飽和水溶液の塗布量にも大きく左右される。

第7図は塩化リチウム飽和水溶液の塗布量と安定時間（起動時に平衡温度に落ちつくまでの時間）との関係である。この結果よりわかるように液の塗布量が少ないほど短くなる。そして特別な方法によれば0.03～0.04 cc の塗布は容易で，また，0.05 cc 以上塗ると液が下の方にたまるのが認められるから，過剰であることがすぐわかる。

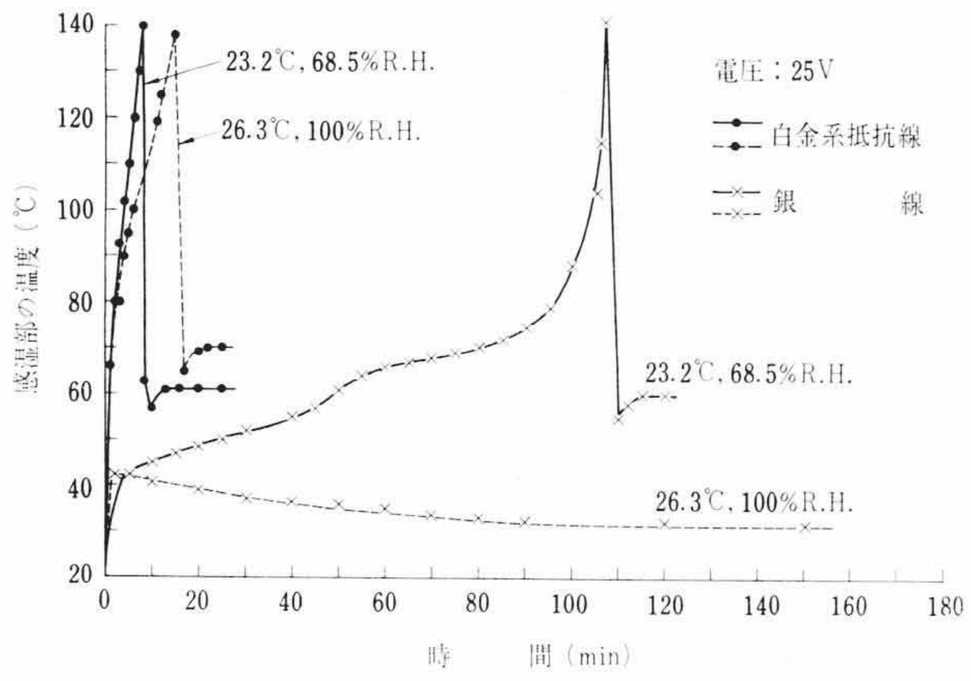
安定時間は起動時の初期電流値によっても変わる。実験結果を**第8図**に示す。ただし同図では電源電圧を25V とした場合の電流制限抵抗値で示してある。これより電流制限抵抗値が小さいほど安定時間が短くなるが，50Ω以下ではそれほど大きな影響がないことがわかる。したがって電流制御抵抗値は45Ω とし，電極抵抗と塩化リチウム水溶流層の合成抵抗を含めた全抵抗値が50Ωになるようにした。したがって起動初期の有効電力は1.25W となる。



第7図　LiCl飽和水溶液の塗布量と安定時間との関係



第8図　起動電流と安定時間との関係

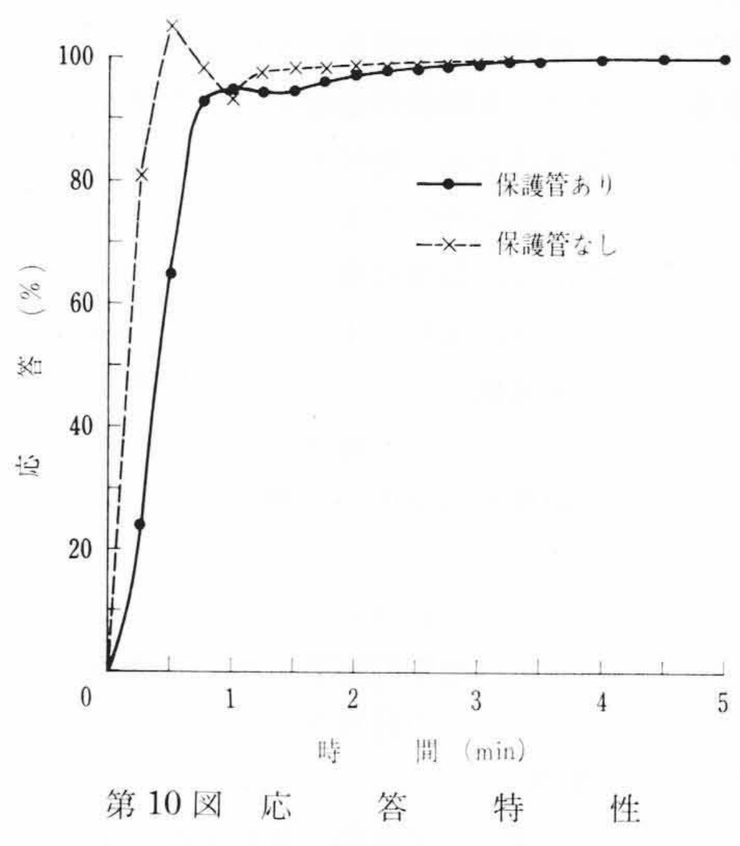


第9図　起　動　特　性

第9図は本露点温度計の起動特性で，これには銀線使用のものも併記してある。図に示すように白金系抵抗線の場合は相対湿度が変わっても温度上昇速度はあまり変わらず，かつ，大気中の水蒸気圧と塩化リチウム液の水蒸気圧とが平衡する温度に達する安定時間が短く，その値は10～20分である。銀線の場合は温度上昇が非常におそく，高温，高湿では平衡温度に達せず，測定不可能となる。以上の結果から電極として抵抗線を使用することは起動特性の改善にきわめて有効であることがわかる。

2.3.2　応　答　特　性

発信器を乾燥空気中から高湿の大気中に取り出したときの応答特性を**第10図**に示す。保護管をつけないときの応答は50%応答



第10図　応　答　特　性

に10秒，90%応答に20秒でかなり速いが，ステンレス製金網を張りつけた保護管をつけると前者の約2倍の時間を要するようになる。しかしこの形式のものは流速の影響を受けやすいので，多少応答をぎ牲にしても金網付保護管をつけることが望ましい。

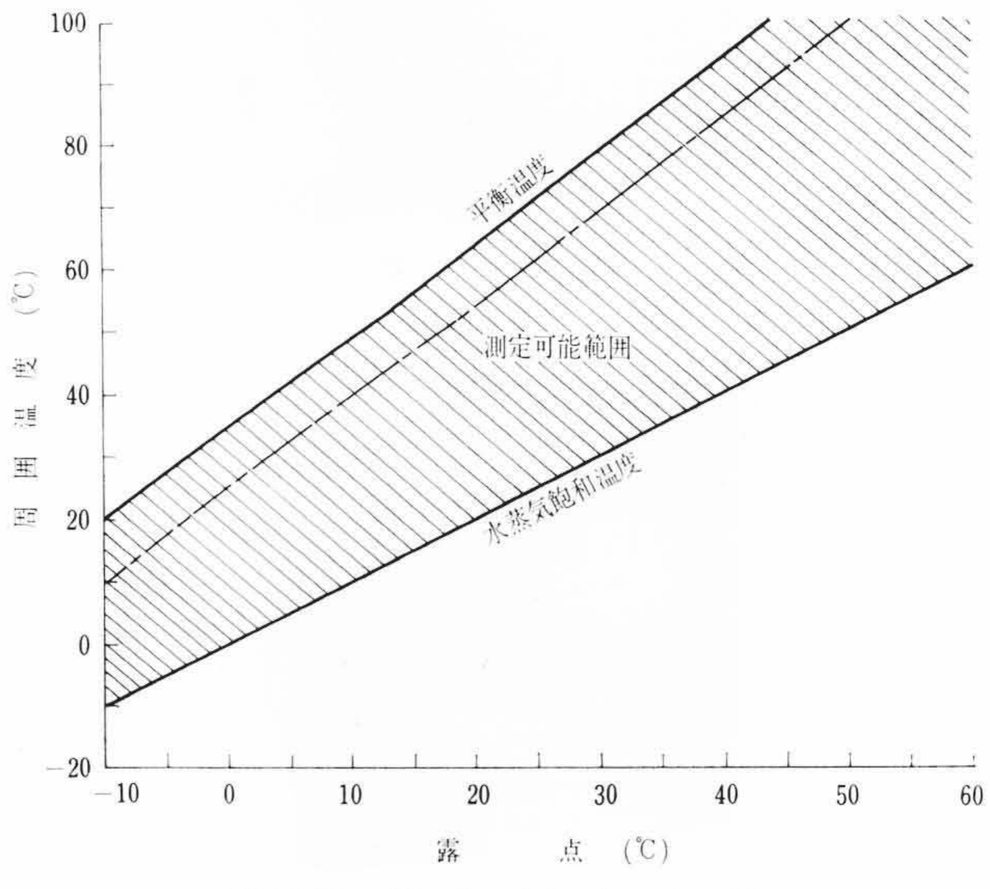
2.3.3　そ　の　ほ　か

加熱用電源電圧を急激に増大または減少すると温度が過渡的に上昇または下降するが，1分以内で平衡温度に達して安定する。しかしこのときの平衡温度は電圧変動20%で約1度(露点温度で約0.6度）異なり，電圧を上げたときは高く，下げたときは低い。このように電圧変動によって指示にフラツキや誤差を生ずるので，電源には変動幅 ±2% の自動電圧調整器を付加している。また，原理的には被測定大気の温度影響は大気の露点に対応する塩化リチウム液の平衡温度以下であれば受けないはずであるが，実際には多少影響される。しかし大気温度と平衡温度との差が10度以上の場合はその影響値は大気温度20度の変化で1度（露点）以下であるから実用上はあまり問題にならない。

なお，発信器を使用場所により筒の部分が垂直になるように取り付けて使用する場合と水平になるように取り付けて使用する場合とが考えられるが，取付方向による特性の変化はほとんど認められず，発信器の取付方向は自由に選定できる。

2.4　測定可能範囲

原理的には測定下限は水の水蒸気圧曲線と塩化リチウム飽和水溶液の水蒸気圧曲線とが交さする温度，すなわち，露点 −30℃ まで



第11図　測　定　可　能　範　囲

可能で，また，上限に対しては限界は存在しない。しかし，上限は感湿部を構成する絶縁材料の耐熱性による制約をうけ，実用的には露点60℃，被測定対象の温度100℃以下である。

測定可能領域は**第11図**に示すように周囲温度によって制約され，たとえば周囲温度20℃ならば露点 −10～20℃の範囲が測定可能領域となり，露点20℃を測定するには大気温度は20℃から63℃の間になければならない。なお，前述したように鎖線より上の部分は大気温度による影響が大きくなるから使用上注意を要する。

3. 相対湿度調節計

おもに空気調和装置において，湿度のON-OFF制御に使用される相対湿度調節計である。この相対湿度調節計は電気抵抗式感湿素子を使った相対湿度発信器と発信器からの信号でON-OFF制御する無指示の湿度調節計で構成される。

発信器に使う感湿素子の湿度変化に対する抗抗値の変化は大きく，かつ速いので，感度が高く応答も速いという特長がある。しかし，1個の感湿素子の測定範囲は約20% R. H. であるので，広範囲にわたって連続して設定を変えることができない。したがって，空気調和装置のように1年を通して設定を変えないか，変えてもわずかな場合にはこれで十分であるが，用途によっては数個の感湿素子を用意して切り換えて使用する必要がある。

3.1 電気抵抗式感湿素子

前節の，熱平衡を利用した加熱式露点温度計と原理的に異なり，塩化リチウムの電気抗抗が周囲の相対湿度によって定まる性質を使った感湿素子である。

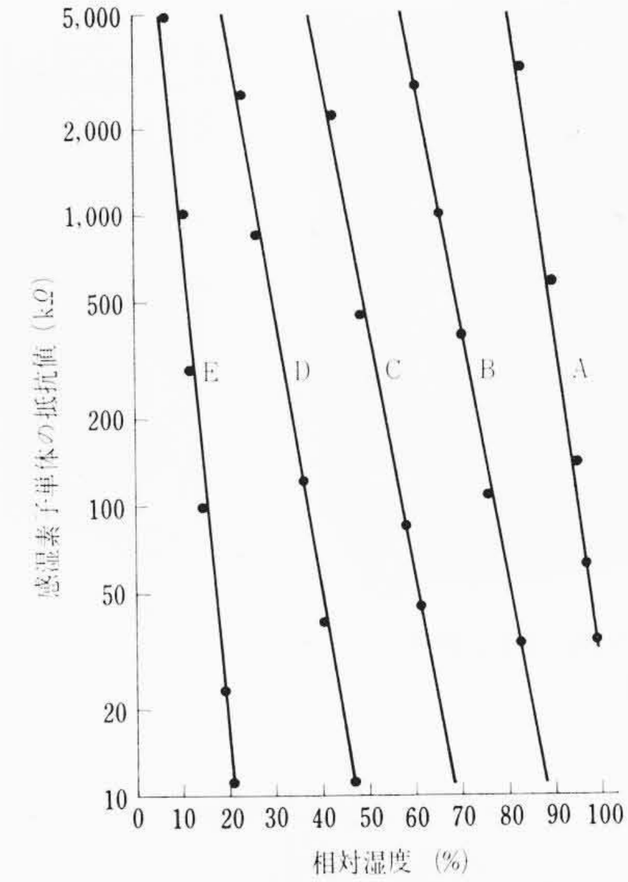
3.1.1 原理および構成

塩化リチウムなど電解質の塩は水分を吸収し，電離するので，その電気抵抗値は吸収した水分の量により変化する。ところで周囲の湿度により塩の吸収できる水分の量は定まるから，この塩の電気抵抗値を測定することにより周囲の湿度を測定できるわけである。この種の感湿素子はDunmore氏により研究され，実験に成功したものである[1]。

本感湿素子はDunmore氏とほぼ同じ方法で製作されている。その構成は**第12図**に示すとおりである。すなわち，ポリスチレン樹脂の基板，金の電極および部分けん化したポリ酢酸ビニールと塩化リチウムとの混合膜から構成されている。

3.1.2 諸　特　性

この感湿素子を恒温恒湿容器内に入れて，交流ブリッジで電気抵抗値を測定して感湿素子の相対湿度—抗抗特性を求めた。その結果は**第13図**に示すとおりである。図で明らかなように，感湿素子の抵抗値は相対湿度に対して対数的に変化する。それゆえ，この素子の抵抗変化は湿度に対して非常に感度がよいことがわかる。しかも抵抗値にヒステリシスはみられない。図中に5本の特性が示してあるが，これは添加する塩化リチウムの量がおのおの異なった感湿素子の特性を示している。低湿を測定できる素子ほど塩化リチウムの添加量が多い。逆にいうと，塩化リチウムの添加量を加減することにより，相対湿度の測定範囲を希望どおりにできることを示している。



第13図　感湿素子の相対湿度抵抗特性

次に応答特性であるが，感湿素子の周囲の湿度をある一定湿度から別な一定湿度に急に変化させたときに，感湿素子の抵抗値が完全に変化し終わるまでに要した時間を測定した。その結果は30～75%の相対湿度範囲内で相対湿度を2～13%変化させたときの応答時間は2～4.5秒であった。従来使用されている毛髪湿度計や乾湿球湿度計の応答速度が数分もあるのに比較して非常に速いことがわかる。

最後に温度特性であるが，素子の感湿部は電解質でできているので，その抵抗値の温度係数は負になる。そして素子中の電導はイオン電導によると考えられるので，温度範囲があまり広くなければ抵抗値は温度に対してだいたい対数的に変化する[2]。それからこの種の感湿素子は電解質を用いているので多少経年変化があるが，これはエージングにより実用上さしつかえない程度に軽減できる。

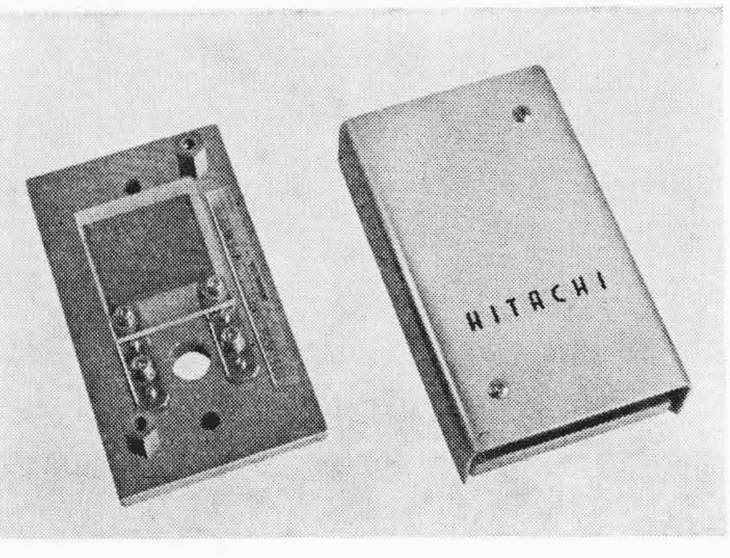
3.2 湿度調節計

感湿素子からの信号で，湿度をON-OFF制御する無指示の湿度調節計である。

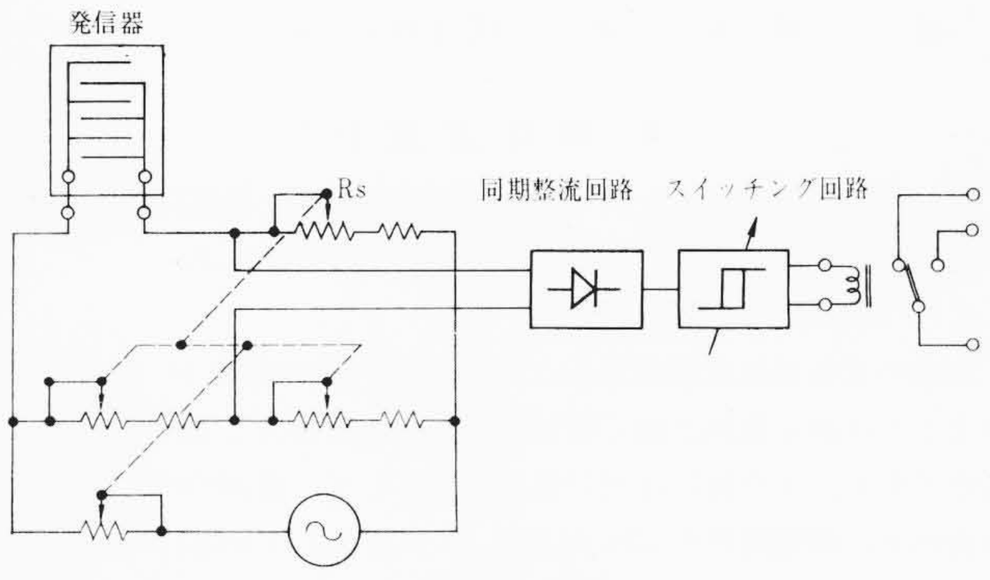
3.2.1 原　　理

第14図に示すように原理は交流抵抗ブリッジとスイッチング回路を組み合わせたものである。

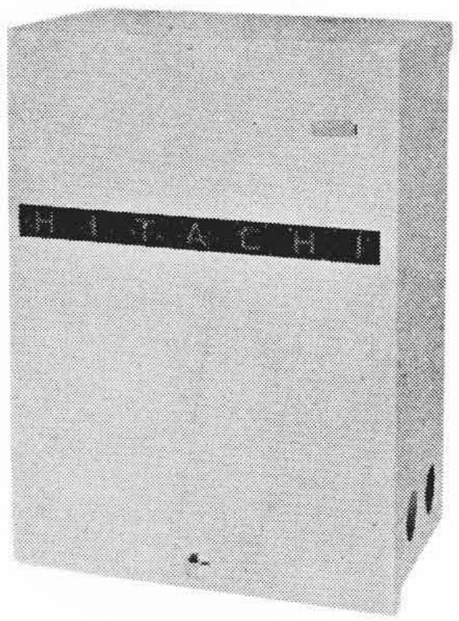
ブリッジ回路は，前述の特性をもつ感湿素子からの信号を受けるために，次のような条件を満たすものである。



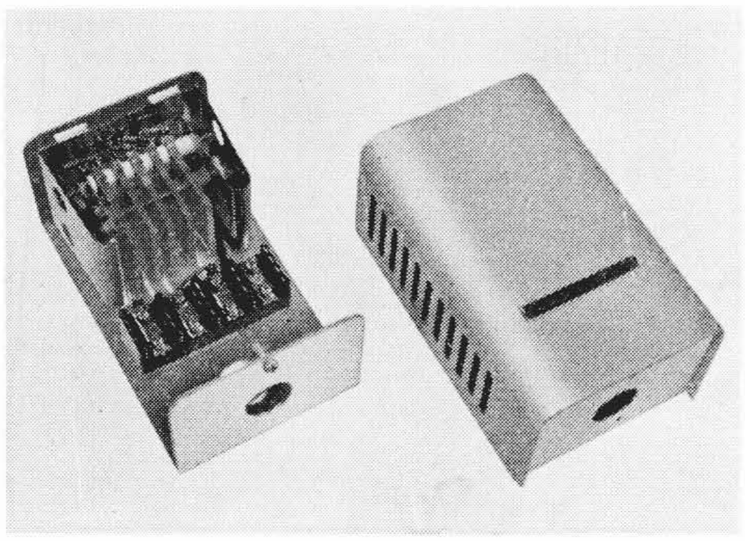
第12図　AL_{503}形相対湿度調節計用発信器



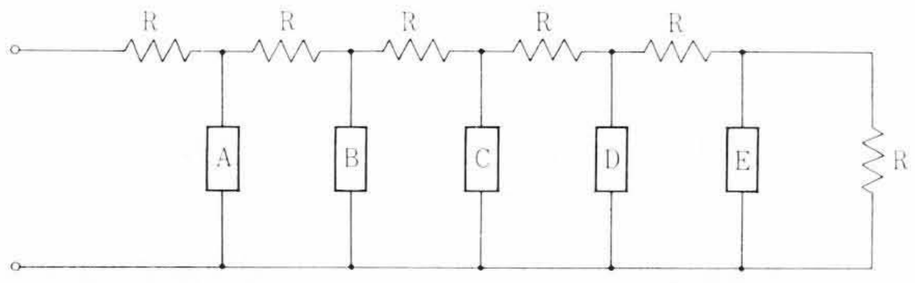
第14図　電気抵抗式相対湿度調節計原理図



第15図　VB_{52}-EH_0形電子管式
湿度調節計



第17図　AL-RH形相対湿度計用発信器



第16図　相対湿度計用発信器回路
（5種の感湿素子と固定抵抗とを組み合わせたものである）

（1）　相対湿度と感湿素子の示す抵抗値の対数の間にはほぼ一次の関係が成立する。それゆえ，設定を相対湿度で平等目盛りにするために設定用可変抵抗器には対数特性を持たせている。

（2）　感湿素子に過大電流を流すことはできない。過大電流を防ぐために電源に直列に可変抵抗器をそう入し，ブリッジ回路の3辺の設定用可変抵抗器とともに変えて，平衡時には100 μA，不平衡時にも200 μAを越えないようにしている。

ブリッジ回路からの偏差信号は同期整流回路を通って直流の偏差信号になり，緩衝段を経てスイッチング回路に導びかれる。

スイッチング回路はシュミット回路，リレー駆動およびリレーから成る。ここに使われるシュミット回路はループ利得を変えることができるようになっているので，ON-OFF幅を制御対象に最も適した値に設定することが可能である。

3.2.2　構　　造

第15図に相対湿度調節計を示す。同期整流回路，スイッチング回路などすべてソリッド・ステート化してあるので，保守点検をほとんど必要としないコンパクトな構造となっている。

仕様の概略は下記のとおりである。

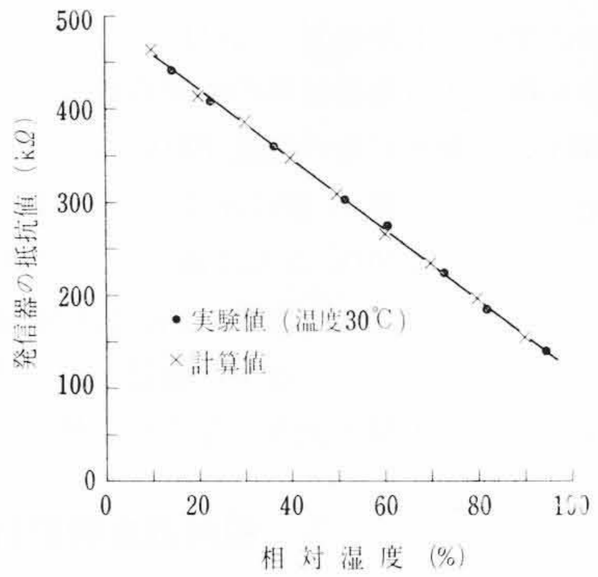
設定範囲	±10% R. H.（中央値は感湿素子により定まる）
動作隙間	0.5～2.0% R. H.
接点構成	SPDT　AC 100 V 1 A

4. 相対湿度計[4]

電気抵抗式感湿素子を使った相対湿度発信器と受信計器として電子管式自動平衡計器を組み合わせた相対湿度計である。

4.1　相対湿度計用発信器

1個の電気抵抗式感湿素子は測定範囲が約20% R. H. なので，そのままでは測定範囲が狭く相対湿度計の発信器としては使いにくいものである。本発信器は相対湿度計用として，数個の感湿素子を組み合わせ，測定範囲を15～95% R. H. に拡大している。



第18図　相対湿度計用発信器の
相対湿度—抵抗特性

4.1.1　原理および構成

第13図に示すように感湿素子1枚では約20%の相対湿度範囲を測定できる。それで測定範囲の異なる感湿素子をなるべく数少なく使用し，しかも広範囲の相対湿度を測定できるようにしたのが**第16図**に示す回路である[4]。すなわち，5種の感湿素子と固定抵抗とを組み合わせて，その相対湿度—抵抗特性を直線関係にしたわけである。**第16図**において高湿から低湿へと周囲の湿度が変化するにつれて，左側のAの素子から順次に開放状態になっていくわけである。この発信器の外観を**第17図**に示す。

4.1.2　相対湿度—抵抗特性

交流ブリッジで測定した抵抗値と単体の感湿素子の特性から近似計算した値とを**第18図**に示す。図から明らかなように非常に直線性はよい。また計算値ともよく合致している。この直線のこう配から相対湿度が1%増加すると，抵抗値は約4 kΩ減少することがわかる。

4.1.3　温　度　補　償

前に述べたように感湿素子単体の温度係数は負であるので，その組み合わせである発信器の温度係数も負になる。実際に測定した結果を**第19図**に示す。10度の温度変化により抵抗値は約5～15 kΩ変化する。それゆえ普通の金属抵抗などでは補償できない。受信部の交流ブリッジ中にサーミスタなどそう入すれば補償できるが，発信器内だけで補償するのに比べて発信器と受信部間のリード線が2本増えるので，コストと雑音の点で不利である。それで本方式では大きな正の温度係数をもつ半導体を**第20図**のように発信器内にそう入した[5]。それゆえ本方式では発信器と受信部とを1本のケーブルで結ぶことができる。この温度補償付発信器の温度特性を**第21図**に示す。**第19図**と**第21図**の結果から明らかなように，温度補償をしていないときは20度の温度変化により相対湿度にして最大7.5%変化するものが，温度補償付きでは20度の変化により2%以下の変化にすることができた。

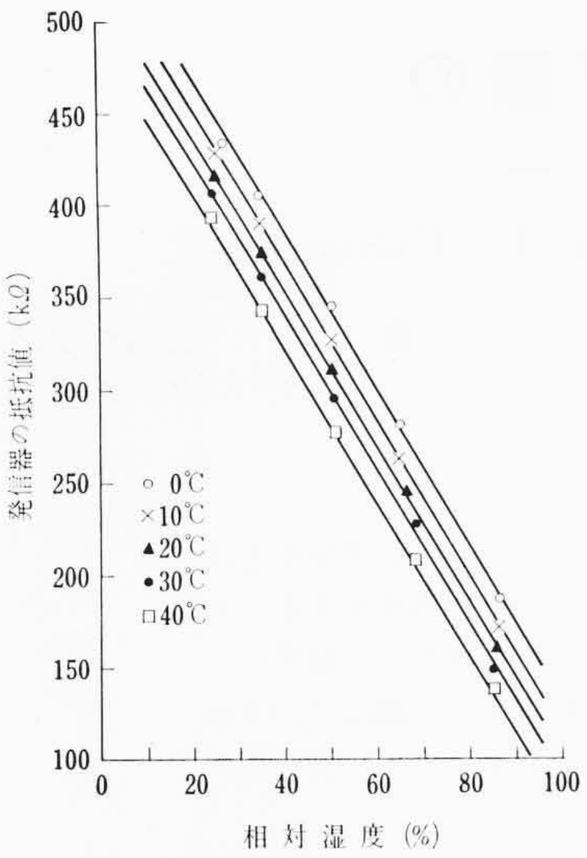
4.2　受信計器の原理および構成

相対湿度発信器からの信号，すなわちふん囲気の相対湿度によって定まる抵抗値で相対湿度を指示，記録または調節する受信計器である。

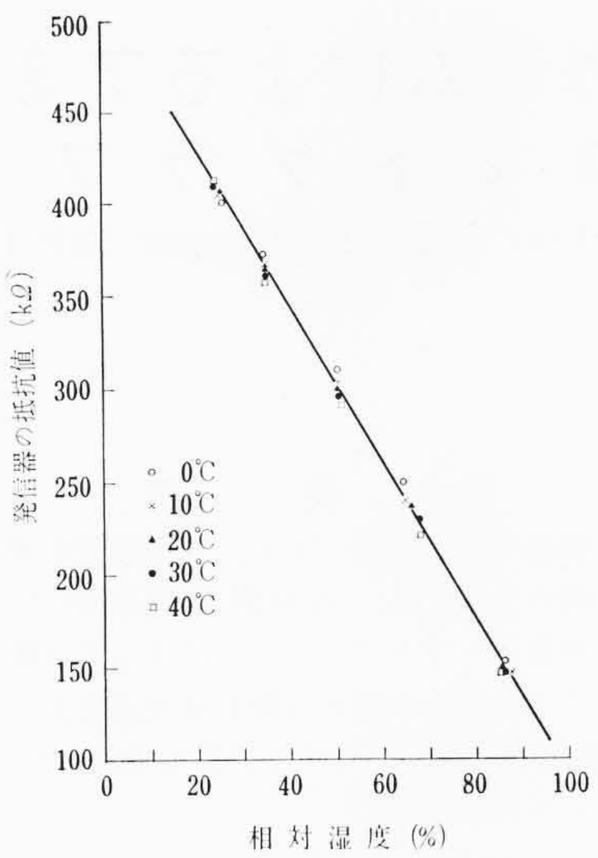
第22図の原理図に示すように本体は電子管式自動平衡計器であるが，測定回路は湿度発信器の抵抗値が大きく，また湿度変化による抵抗値の変化量も大きいので，一般の抵抗測定回路と下記のような点で多少異なっている。

（1）　測定範囲を広くとるために，測定用スライド抵抗器 r_{ms} はブリッジの1辺のみの抵抗値を変えている。

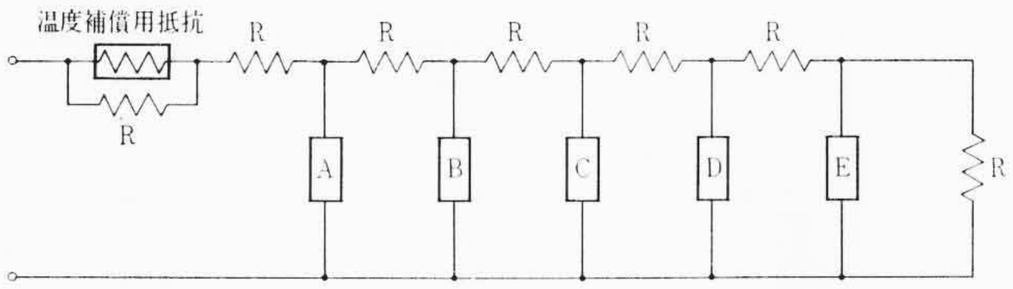
（2）　抵抗値の変化量が大きいので，ブリッジ回路の感度が測定値によって異なり，計器のループ利得が測定値によって変化するので，それを補正するために利得調整用スライド抵



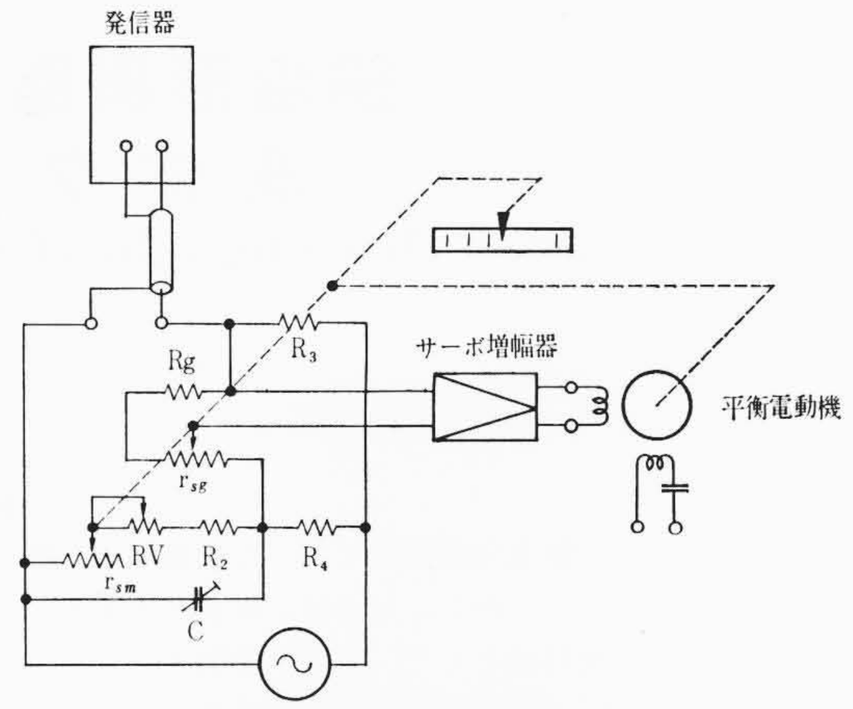
第 19 図　相対湿度計用発信器の温度特性



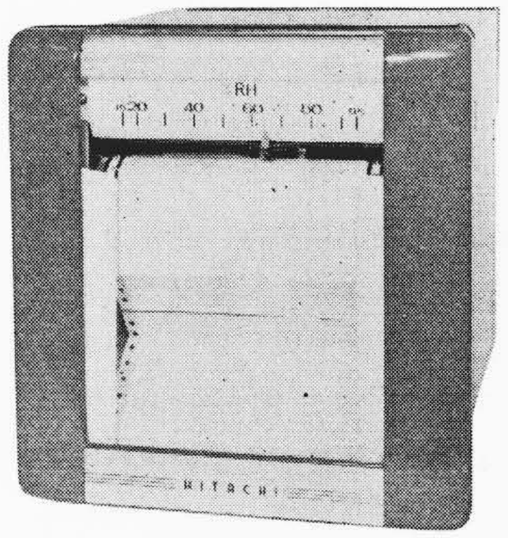
第 21 図　温度補償した相対湿度計用発信器の温度特性



第 20 図　温度補償した相対湿度計用発信器回路



第 22 図　電気抵抗式相対湿度計原理図



第 23 図　VKB_{31} 形相対湿度指示記録計

抗器 r_{sg} が測定用スライド抵抗器 r_{ms} と一緒に動きループ利得を一定に保つ。

（3）　発信器の抵抗値が大きいので，誘導障害を避けるためと，漏えい抵抗による誤差を除くために，発信器から受信計器までの配線にはポリエチレン同軸ケーブルを使用する。また，配線によって発信器に並列にはいる電気容量の影響を除くために電気容量 C を測定辺の対辺に取り付けているので長い距離伝送も可能である。

（4）　わずかではあるが発信器に経年変化があるので，それを補正するために零調整用の半固定抵抗器 RV がある。

測定回路を上記のように組むことで，いずれの電子管式自動平衡計器でも相対湿度の測定ができるが，一例として VKB_{31} 形相対湿度指示記録計を**第 23 図**に示す。

仕様の概略は下記のとおりである。

測定湿度範囲　　15～95% R. H.

使用温度範囲　　0～40℃

5. 結　　言

以上，塩化リチウムを使用した湿度計について述べたが，電気式乾湿球湿度計を含めて，これら湿度計を比較すると下記のようになる。

（1）　電気式乾湿球湿度計

電気式乾湿球湿度計は相対湿度を直示するほかに，温度の測定も同一発信器を使って可能である。氷点以下では使えないが，常温以上では精度が高い。測定温度範囲をあまり広くとると演算誤差が大きくなる。機械的な送風器と水を補給するための保守が必要である。

（2）　加熱式露点温度計

加熱式露点温度計は露点温度を直示し，精度が高い。熱平衡温度を測定するので強風に当たらないようにする必要がある。数箇月ごとに塩化リチウムを塗り直す必要がある。また，塩化リチウムを使用した湿度計に共通した欠点であるが塩化リチウムに化学反応を起こすふん囲気中では使用できない。

（3）　電気抵抗式相対湿度計

電気抵抗式相対湿度計は相対湿度を直示する。保守取り扱いが簡単であり，感度も高く応答も速い。しかしわずかではあるが経年変化があるので，高い精度を保つためには約半年に一度の現地較正が必要である。

（4）　電気抵抗式相対湿度調節計

この調節計は，これら湿度計中最も簡単で安価なものである。相対湿度によって，高感度で制御動作を行なうが，1 個の感湿素子の測定湿度範囲が狭いので広範囲にわたる制御は困難である。

湿度計は使用目的によって，使用条件が大きく変わるので，使用条件を詳細に検討して，使用目的に最も適したものを採用することがたいせつである。塩化リチウムを使用した湿度計の製品化によって，測定できる範囲は大幅に拡張されたが，より多く，多種にわたる湿度測定の要求に応ずるため，極高・極低湿度の測定方式の開発が今後の問題である。

終わりにのぞみ，本湿度計の開発製品化に当たり，ご指導，ご協力を賜った上司，関係各位に厚くお礼申し上げる。

参　考　文　献

（1）　Francis, W. Dunmore: J. R. N. B. S., **23**, 701～714 (Dec. 1939)
（2）　斉藤幸男:　電気材料学 74～78（昭 36, 共立全書）
（3）　菅原，鈴木，岩淵:　自動制御連合講演会前刷（昭 38-10）
（4）　岩淵:　実用新案出願中
（5）　菅原，鈴木:　実用新案出願中