

# 湿度標準計測の維持管理技術

株式会社 山武

中垣内 直美  
naomi Nakagaichi

## キーワード

湿度，露点，トレーサビリティ，不確かさ

当社のビルシステム事業における湿度標準（社内第一基準器による湿度計測値）の計測に関して、測定系と測定手順の整備により再現性の良い計測技術を確立した。また、ここ数年で国内に浸透してきた「不確かさ」による評価を行い、その見積り結果の妥当性を確認した。これにより湿度標準計測に関して、信頼性の高い維持管理技術が確立できたので報告する。

## Maintenance Management Technique for Humidity Standard Measurement

A measurement technique with good reproducibility was established for measurement of humidity standards (humidity values measured by primary standards) in the company's building systems business by developing a new measurement system and procedure. We also verified the suitability of estimation results by evaluating them according to "uncertainty," a method that has spread widely in Japan in recent years. It will be possible to establish highly reliable maintenance techniques for humidity standard measurements based on this technique.

## 1. はじめに

ISO9000や新計量法の施行をきっかけに、いろいろな物理量のトレーサビリティに対する関心やニーズが高まっている。ビルの空調に使用される湿度に関しても例外ではない。ここ数年では、当社に対してもバリデーションの要求などが多くあり、ニーズの高さを示している。1998年秋には湿度の認定事業者制度に関する官報が告示され、新たなトレーサビリティ制度が確立する運びとなった。この制度の確立により湿度に関するトレーサビリティの関心やニーズはさらに高まるものと考えられる。

また、計測の統一的な評価方法としての「不確かさ」（後述）が、日本にも浸透してきている。この評価方法は、1993年のISO/TAG4（計測に関する技術諮問グループ）による不確かさの表現ガイドの発行以来、諸外国に浸透してきた

考え方である。すでに立ち上がっている温度などの認定事業者制度では、この不確かさの見積り方法や値そのものが認定事業者の技術評価項目の1つになっている。

当社の湿度標準計測では、測定系や測定手順の改善によって再現性の高い計測技術を確立したとともに、不確かさによる評価を取り入れ、より信頼性の高い維持管理技術を確立した。

## 2. トレーサビリティ体系

現在の日本の湿度に関するトレーサビリティ体系を図1に示す。工業技術院計量研究所（以降、計量研究所と呼ぶ）は、「工業技術院依頼試験、分析、および設備の使用規則」にしたがって器差試験を行い試験成績書を発行している。これは一般に「依頼試験」と呼ばれている。湿度に

関しては高精度基準器を必要とする一部のユーザーに対してしか行われていない。当社では湿度センサの開発・製造の必要上、3年に1度の間隔で依頼試験を実施してもらいトレーサビリティを確保してきた。今後認定事業者制度が確立されると、認定事業者に校正を依頼してトレーサビリティを確保することになる。

当社の現在の湿度に関するトレーサビリティ体系を図.2に示す。これからわかるように、当社の湿度関連製品の基準は、基準露点計（露点に関しての社内第一基準器）と基準温度計（温度に関しての社内第一基準器）の測定値から求める相対湿度となっている。

本報告書では、この湿度標準の計測の維持管理技術について報告する。

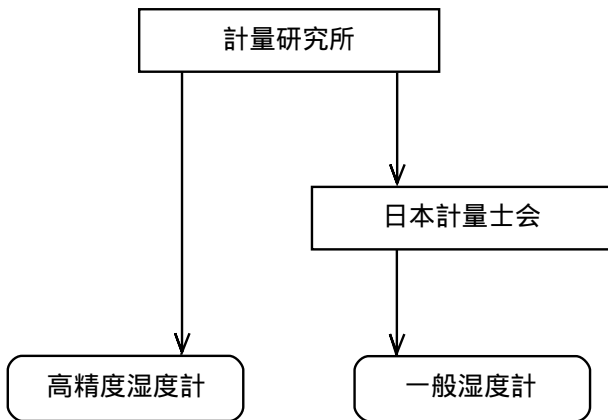


図.1 日本のトレーサビリティ体系

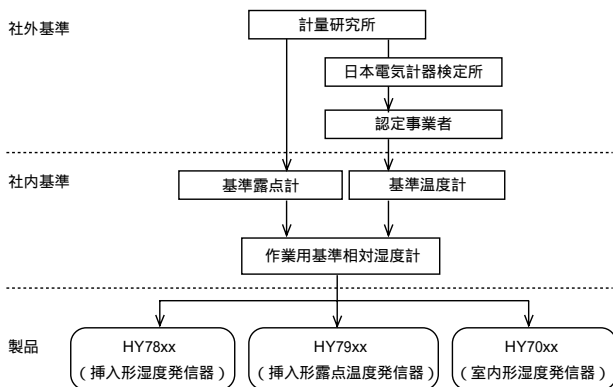


図.2 当社のトレーサビリティ体系

### 3. 湿度計測

湿度とは、空気中に含まれる水蒸気の質量または割合のことである。温度とともに一般に親しまれている物理量であるが、その計測は温度とは原理がまったく異なる。温度が直接測定できる物理量であるのに対して、湿度は温度や気圧、重さなどから間接的に求める量である。したがって、複数の物理量を考慮する必要があり複雑である。

また、湿度の基準は、水蒸気の含有量が正確にわかる空気となるが、温度計測で用いる水の三重点のような絶対的基準がなく、基準を作ること自体が非常にむずかしい。計量研究所が所有している国家基準は「秤量法」と呼ばれる方式で、空気中の水分を集めて重さを測り水蒸気量を知る方法である。質量を測ることによって「重さ」という基本単位に結びつけている。しかし、この方法でも水分を完全には収集できないなど、考慮しなければならない不確かさは決して少なくない。

湿度には絶対湿度、混合比、相対湿度、露点などいろいろな表現方法がある。それぞれ概念が異なるため算出方法も一様ではなく、これもむずかしさを深めている要因である。

空調で一般的に使用する湿度は、露点、相対湿度の2つである。露点は「 $t_p$ 」で表され、圧力一定のまま空気冷却したときに含まれている水蒸気が飽和となる温度である。相対湿度はもっとも一般的に使われている湿度表現で、実際の水蒸気圧と飽和水蒸気圧との比の百分率で表され、単位は「%」または「%RH」である。

相対湿度  $H = e / e_s \cdot \dots$  式(1)

露点 DP: 温度として直接求めるため、計算式はない

$e$  : 水蒸気圧

$e_s$  : 飽和水蒸気圧

露点と飽和水蒸気圧には一対一の関係があるため、一般に相対湿度は、試料空気の温度と露点を測定し、それぞれの飽和水蒸気圧の比として求める。飽和水蒸気圧はJIS Z 8806-1995にある飽和水蒸気圧表を用いるのが一般的である。

当社の湿度標準も露点と相対湿度を対象にしており、評価もこの2種類の湿度に関して行った。

### 4. 計測系

露点や相対湿度の測定においては、試料空気の安定性や、測定する機器の測定性能が重要である。当社では、試料空気の発生装置として分流槽を、露点測定用機器として鏡面冷却式露点計を、温度測定用機器として水晶温度計や白金測温抵抗体(Pt100)を用いている。また、それぞれの性能を維持するため、定期的な校正により機器の維持・管理を行っている。次に、それぞれの測定原理と校正方法を述べる。

#### 4.1 湿度発生装置

分流槽とは分流式の湿度発生装置のことである。分流式

の装置とは、図.3に示すように試料空気を乾燥空気と飽和空気に分けてその質量流量を制御し、それぞれの空気の混合比によって任意の湿度を作り出す湿度発生装置である。乾燥剤を通してほぼ0%RHになった試料空気は、乾燥用空気と飽和用空気に分流される。それぞれの空気は恒温水槽内のコイル状の配管を通ることで設定温度に保たれる。一方、飽和空気用コイルの先には飽和槽があり、これもまた恒温水槽内で設定温度に保たれている。飽和用空気は、この飽和槽の中を通ることによって、ほぼ100%RHの飽和空気となる。このように生成された乾燥空気と飽和空気の混合空気が、恒温水槽内にある試験槽に流れ出し、任意の温湿度環境を作り出している。

この方式では、乾燥空気と飽和空気を分流するマスフローコントローラの不確かさや制御性が発生湿度に大きく影響してくる。マスフローコントローラを定期的に校正することにより、不確かさを低減させている。

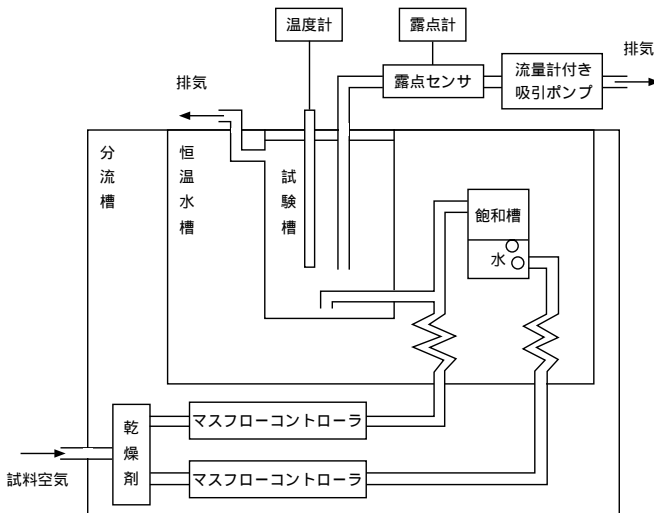


図.3 湿度発生装置原理図

#### 4.2 鏡面冷却式露点計

鏡面冷却式露点計は、センサ内部にある鏡面上に試料空気を流し、その鏡面を冷却して鏡面が曇る（結露）瞬間を露点として捕らえる露点計である。図.4に示すように鏡面には冷却用ヒートポンプが付いており、鏡面を冷却・制御している。鏡面には温度計が付いており、冷却・制御された鏡面温度をモニタしている。一方、鏡面状態は光の反射量によってモニタされている。鏡面が曇ると光の反射量が減るため、曇るか曇らないかの微妙なところで鏡面温度制御し、その温度を測定することで露点を検出するものである。温度計の時定数や冷却ヒートポンプの制御性によって、検出までに数十分の時間がかかることがあるが、結露の瞬間を捉えるため正確な露点を測定することができる。

先に述べたように、この露点計は計量研究所の依頼試験で校正を行っている。

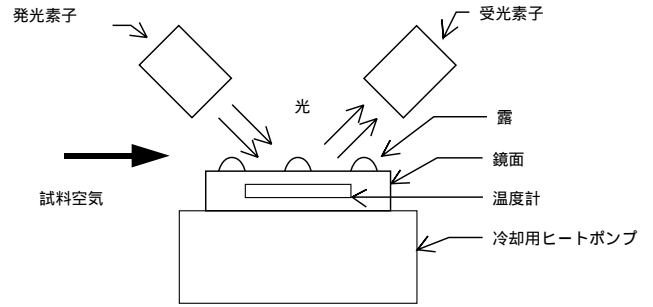


図.4 鏡面冷却式露点計原理図

#### 4.3 水晶温度計・白金測温抵抗体

水晶温度計は、水晶振動子の発振周波数が温度によって変化することを利用した温度計である。

白金測温抵抗体は白金の抵抗値が温度によって変化することを利用した温度計である。

湿度計測における温度測定は、空気中の水分を直接計測するものではなく、相対湿度計測時に2次的に利用する物理量である。そのため、詳細は省略する。

#### 5. 測定系・手順の改善

湿度標準計測に関して、これまでは基本的な手順のみを共有し細かいノウハウは統一されていなかった。今回、機器や機器の設置場所などを統一し、細かい測定手順をマニュアル化することでノウハウの共有化を行った。具体的な内容は次のとおりである。

測定機器を統一して機器の違いによる不確かさを低減させた。

機器の選定や設置場所の決定時は、測定室の環境の影響を受けにくいように考慮した。

細かい手順をすべてマニュアルに盛り込んだ。

この結果、人による方法の違い・測定ごとの違いを排除することができた。

今回の改善前後の発生相対湿度を図.5,6に示す。これは、発生相対湿度の設定を25~50%RHとし、2週間に1度、約4ヶ月間にわたり計測した8回分のデータを時系列にプロットしたものである。改善前は希望の発生湿度に対して±3%RHのずれがあったが、改善後は±1%RH以内に入っている。すなわち、希望の湿度が再現性良く発生できるようになった。

また、改善前後の不確かさを算出した結果、露点計測値の不確かさは約0.1%の改善があったことがわかった。不確かさ算出については、6.で詳しく述べる。

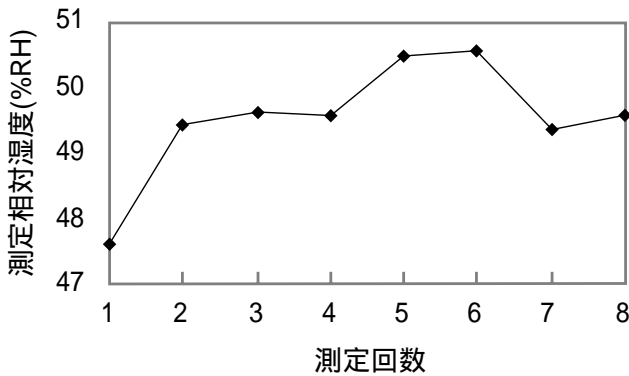


図.5 改善前の発生相対湿度

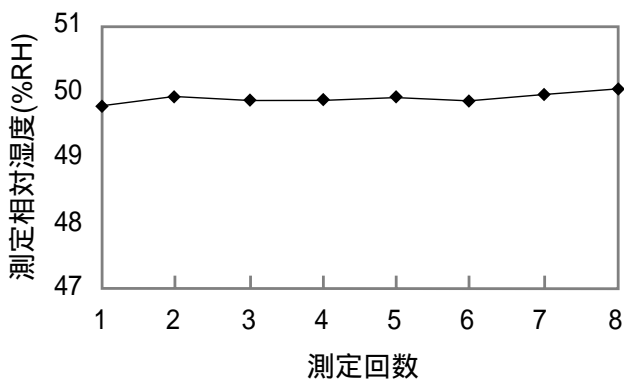


図.6 改善後の発生相対湿度

## 6. 不確かさの算出

JISの定義によると不確かさとは、「真の値が存在する範囲の推定値」である。すなわち、測定値に適切にすべての補正を加えたとしても、その結果は真の値を示してはならず、その値がどの程度正しく表されているかの疑問が残っている。その疑問の量を表す指標が不確かさである。不確かさはこれまでの「精度」と異なり、本来未知である「真の値」にこだわらず、測定した結果からその値が存在する範囲を求めるものである。その測定が、いつ、どこで、誰が、何を、どのようにして行ったかの状況そのものを不確かさの要因として捕らえることによって抜けない評価が可能となる。

一般的に不確かさとは次の3つに分類される。

標準不確かさ

合成標準不確かさ

拡張不確かさ

標準不確かさは、測定結果の標準偏差で表わす不確かさである。不確かさ表現ガイドでは標準不確かさの評価方法を、統計的解析による評価方法(タイプA)と統計以外の手段による評価方法(タイプB)のいずれかの方法により行うことを明示している。統計的解析による場合は、測定

データの分布を求め、それが一様分布か正規分布かなどを考慮して、その分布に合った標準偏差を求める必要がある。統計以外の手段により求める場合は、理論や蓄積データから分布を推定し、標準偏差を求める必要がある。

複数の測定結果から得られる値の不確かさを求める場合は、それぞれの標準不確かさを式(2)のように合成不確かさとして算出する。さらに、式(3)により合成標準不確かさをk倍した値を拡張不確かさという。kは2~3の値をとり、k=2の場合は95%、k=3の場合は99.7%の信頼水準をもつ値となる。一般にはk=2とするのが通常である。

$$\text{合成標準不確かさ} = \sqrt{(\text{各パラメータの標準不確かさ})^2} \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\text{拡張不確かさ} = k \times \text{合成標準不確かさ} \quad \dots \text{式(3)}$$

露点計測に関して、不確かさを形成する要因を以下のように大まかに3つに分類した。

基準の露点計に起因するもの

測定系に起因するもの

環境に起因するもの

これらをさらに細分化しそれぞれの不確かさを見積もることで、露点計測の不確かさを算出した。次にこれらの詳細な項目と、その算出方法を述べる。算出にあたっては、先に述べたタイプAまたはBによる方法を用いた。

### 6.1 基準の露点計に起因する不確かさ

露点計自体の不確かさや校正の不確かさなどがこの中には含まれる。

露点計の校正の不確かさ

露点計を校正した時の校正試験の不確かさである。計量研究所から発行される試験成績書に記載されているk=2の拡張不確かさを1/2として用いている。

露点計の長期安定性

露点計を長期間使用した場合ドリフトが生じる可能性がある。定期的な校正はこれをリセットするために行われるものである。したがって校正直後と次の校正直前では値に差がある可能性がある。過去の試験成績書のデータの蓄積から、長期安定性を見積り不確かさとした。

露点計の再現性

再現性の測定データの分布を調べ、分布に合った標準偏差を不確かさとした。

### 6.2 測定系に起因する不確かさ

測定時の空気の流れや読み取りの誤差などシステム全体に関する不確かさである。

試験槽内の湿度分布

試験槽内には空気の流れなどによる圧力分布や温度分布があり、それらを原因とした湿度分布があると考えられる。水平位置や垂直位置を変えて露点測定することでこの分布を計測し、不確かさとして見積もった。

試験槽内の時間的安全性

同じ場所であっても、恒温水槽の温度のゆらぎや乾燥空気・飽和空気の流量のゆらぎによって発生湿度が時間的に変化する。長時間連続で露点測定することでこれによる不確かさを見積もった。

吸引チューブの吸脱湿

試験槽内が一定の湿度であっても、露点センサに試料空気を導くチューブに水分が吸着した場合、露点センサ内に導かれる試料空気の水分量は、試験槽内空気の水分量よりも少なくなる。これによる不確かさを見積もるため、チューブの長さを変えて露点測定し、単位長さあたりの吸脱湿の影響を求め、計測時のチューブ長さの不確かさとして見積もった。

このほかの評価項目として、恒温水槽の水位・飽和水槽の水位・吸引流量などによる不確かさを見積もった。

6.3 環境に起因する不確かさ

測定系が置かれる測定室の環境に起因する不確かさである。

室温

露点計はセンサ内部にある鏡面を冷却して露点を検出している。したがって室温が急激に変化すると冷却能力に影響を与える。たとえば室温が下がった場合、鏡面を冷やし過ぎるため露点は低く表示される。この量を測定し、不確かさを見積もった。

湿度

空気の流れを考えた場合、大気中の湿度が流入する箇所はない。乾燥剤は十分な乾燥空気を生産できる能力があるので(乾燥空気の能力に起因する不確かさは別途見積もった)、大気中の湿度の影響はないと考える。したがって、この項目の不確かさはゼロと見積もった。

このほかの評価項目には、大気圧や電源電圧・振動などがある。

これらは管理範囲を考慮して見積もった。また、この不確かさを見積りの結果、測定系や手順の改善前後の拡張不確かさには、露点で0.1、相対湿度で0.5%RH程度の差が確認できた。

7. 不確かさの妥当性評価

今回見積もった不確かさが妥当な値かどうかを評価する

ため、次のような試験を行った。

校正の不確かさがわかっている露点計をもう1台用意し(露点計B)、これまでに使用してきた露点計Aと同時測定による計測値の比較を行った。不確かさの算出が妥当である場合、両者の測定値の差はこの評価試験の不確かさの範囲内に入るはずである。この評価試験の不確かさは、式(4)のように、先に見積もった露点計Aによる湿度標準供給の不確かさと、露点計Bを加えたことによる不確かさの合成標準不確かさであらわすことができる。両露点計の計測値の差がこの合成標準不確かさ範囲内に入らない場合は、次の2つの理由のどちらかあるいは両方のために、不確かさを正しく見積もっていないことを意味する。1つは考慮していないパラメータの影響があるということである。もう1つは、考慮したパラメータの不確かさを小さく見積もり過ぎていたということである。

合成標準不確かさ =

$$\sqrt{(\text{湿度標準供給の不確かさ})^2 + (\text{露点計Bによる不確かさ})^2} \dots \text{式(4)}$$

見積りの結果、本試験の拡張不確かさは相対湿度換算で約±1%RHとなった。

計測結果を図.7に示す。これは図.5,6と同様に、約4カ月間の8回分のデータである。縦軸には、露点計AとBから計測した計測値の差を相対湿度に換算して示した。両露点計から計測された相対湿度の差は0.5%RH以内であり、先に見積もった本試験の拡張不確かさ約±1%RH以内に入っている。この結果から、湿度標準供給の不確かさが妥当であることが確認できた。

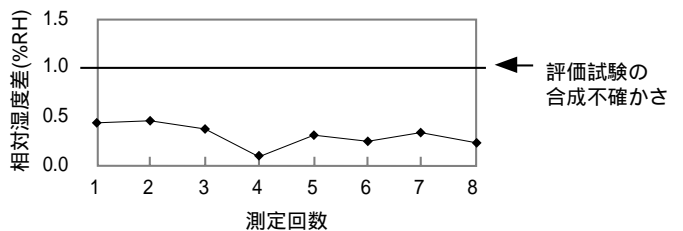


図.7 2台の露点計による相対湿度計測値の差

8. おわりに

湿度標準の維持管理のため、「定期計測」を行っている。定期計測とは、マニュアルにそった方法で定期的に測定することで異常をいち早く発見し、早急な原因究明および対策によって安定した湿度標準を供給するための管理手段である。異常があった場合には、機器の異常か測定の悪さを判断し、機器の修理やマニュアルの改訂などにより対応

をとっている。定期観測は25℃で約10%RHから80%RHの範囲で行っているが、今回の不確かさ見積りおよび評価は製品の調整点である25℃50%RHについて行った。

7.で述べた、計測値の差と合成標準不確かさを比較する評価方法は、ISOのガイド43-1にある技能試験データの処理のための統計的方法を参考にした。この評価を行うことにより、不確かさを信頼性のある管理基準として位置づけることができた。これにより、さらに信頼性の高い湿度標準を供給することができるようになったと考えている。今後も定期計測により維持管理を続けるとともに、改善を重ねさらに不確かさを小さくする努力をすすめる。また、製品出荷検査時の不確かさの改善にも取り組んでいく予定である。

## 9. 謝辞

今回立ち上がろうとしている湿度の認定事業者制度については、計量研究所が中心となった湿度標準供給技術研究会で研究が行われてきた。当社もこの研究会のメンバーとして会議への参加や持ち回り施行への参加など、制度の確立に協力してきた。その一方、研究会を通じ湿度に関するさまざまな情報や知識などを得ることができ、当社の技術向上に役立てることができた。計量研究所の高橋先生をはじめとする、研究会メンバーの皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 稲松 照子 湿度標準:計測の信頼性評価 日本規格協会 編集委員長 今井秀孝 P162-172
- (2) 計測における不確かさの表現ガイド 日本規格協会 監修 飯塚幸三
- (3) 田村 一 水分量の絶対値測定と湿度標準の供給:化学工業 Vol.40, No.12 P1082-1089
- (4) 工業技術体系10 湿度・水分測定 工業計測技術体系編集委員会編 日刊工業新聞社
- (5) 稲松 照子 湿度計測に関する規格とトレーサビリティの最近の動向 (その2): E S P E C 技術情報No.6 タバイエスベック株式会社 P1-7
- (6) 分流式湿度発生装置取り扱い説明書 神栄株式会社
- (7) 鏡面冷却露点計製品カタログ 株式会社東陽テクニカ
- (8) JIS Z 8103-1990 計測用語
- (9) ISO/IEC ガイド 43-1 : 1996

## 著者所属

ビルシステム開発生産統括部 中垣内 直美