

# ドライガス測定ニーズに応える 低露点計測技術の向上

## Progress in Low Dew Point Measurement Technology for Dry Gases

株式会社 山武	山口 徹 Toru Yamaguchi	株式会社 山武 アドバンスオートメーションカンパニー	井端 一雅 Kazumasa Ibata
株式会社 山武	中垣内 直美 Naomi Nakagaichi	株式会社 山武 アドバンスオートメーションカンパニー	金井 良之 Yoshiyuki Kanai

### キーワード

湿度、露点、トレーサビリティ、不確かさ、高精度、測定の信頼性、露点制御

近年、ドライな気体の湿度計測を必要とする産業界において、従来の品質維持・歩留まり改善といった目的に加え、低炭素消費社会の実現に向けた省エネの観点から、より精緻な露点の計測と制御が求められている。ビル空調や産業用調湿で経験豊富な山武としてこれに応えるために、JCSS (Japan Calibration Service System) 登録事業者である当社計測標準センターで確立されている露点の校正範囲 (-10℃~+23℃) を低露点領域 (-50℃~-10℃) に拡張するための技術向上を計った。この成果をもとに、平成20年度に独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE) が実施した技能試験に参加し、好成績を修めることができた。この結果から産業界へ低露点領域の校正を提供する目処が立った。

In recent years, industry's need for more precise dew point measurement and control when determining the moisture of a dry gas has increased due to the desire to conserve energy and achieve a low-carbon society, as well as for purposes such as quality control and yield improvement. As a company specializing in building automation and industrial humidity control, Yamatake has taken steps to meet this need by refining the technology used at its Measurement Standards Center, which is a JCSS\*-accredited dew point calibration laboratory (for -10 to 23 deg. C.), in order to calibrate the low dew point range (-50 to -10 deg. C.). Yamatake passed the proficiency testing which was administered in 2010 by the National Institute of Technology and Evaluation (NITE), and will soon begin to provide low dew point calibration service.

※ JCSS: Japan Calibration Service System

### 1. はじめに

ここ数年、計測の信頼性についての議論が非常に多くなっている。この背景には、日本の製造業が得意とする「ものづくり」において、「もの」の要求レベルの向上に伴って、「づくり」の原点のひとつである「正しく計測する」ことに求められるレベルも上がってきているからだと考えられる。

製品開発を生業とする当社にとって、「良い製品」の開発を行うためには、「正しく計測する技術」とそれを支える「計測標準の維持・管理技術」が合わせて重要であり、場合によってはそれらを同時に開発することが必要である。

### 2. 世の中の低露点計測ニーズの高まり

湿度は、温度と並んで温熱環境の代表的な指標の1つである。従来より、25℃ 50% rhで代表される、いわゆるマイルドな空気の湿度計測は広く一般的だが、近年、よりドライな空気の湿度計測のニーズが高まってきている。

例えば、吸湿性の高い原材料を取り扱う医薬・化学・食品加工業、熱処理炉の酸化・還元雰囲気調湿を行う鉄鋼・非鉄金属産業、水分やケミカルコンタミネーションを嫌う材料を取り扱うボタン電池・リチウムイオン電池・有機ELなどの製造業などがその代表例であろう。

こういった現場では、従来の品質維持・歩留まり改善

といった目的に加え、低炭素消費社会の実現に向けた省エネの観点から、より精緻な露点の計測と制御が求められるようになってきている。

こういった社会の要請に応えるために、当社では従来より提供している鏡面冷却式露点計ファインデュー(FINEDEW™)シリーズの計測露点範囲をさらに低露点領域に拡張するための開発を進めてきた。

この様な計測機器の開発においては、先に述べたように、以下の3つの要素をバランスよく実現しなければ達成することが困難です。

- ① コアとなるセンサ開発技術
- ② そのセンサを正しく校正する技術  
【国家標準にトレーサブルな値を付ける】
- ③ センシングを正しく行うための周辺技術  
【正しく測定するためのノウハウ】

本稿では、これまで進めてきたファインデュー(FINEDEW)の低露点への計測範囲の拡張開発で実施してきた内容について、特に上記②③を中心に報告する。

### 3. 湿度の国家標準供給のしくみ

日本の計量法に、湿度は政令単位（法定計量単位と同等に扱われる単位）として定められている。

そして日本の湿度の特定標準器（国家標準）は、茨城県つくば市にある産業技術総合研究所（以下、産総研）が保管する標準湿度発生装置群であると、経済産業大臣によって告示されている。

そのため日本の湿度の国家標準は、産総研が実現し、その湿度標準に産業界が測定結果を照らし合わせ（以下、校正という）、「もの」づくりを正しく行うことができる「しくみ」が成り立っている。

図1に産総研が供給する湿度標準の概略図（露点範囲）を示す。

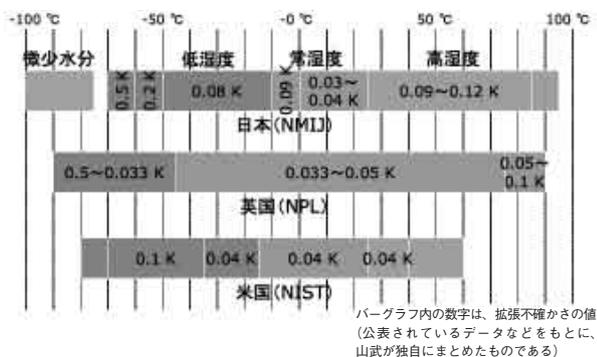


図1. 各国の湿度国家標準，供給範囲

図1は、すべて露点で書き表されているようにみえるため誤解がないよう補足説明をすると、

- a. 常湿度領域と高湿度領域は「露点」
- b. 低湿度領域は「霜点」
- c. 微量水分領域は「モル分率」

上記のa～cの概要がわかることを目的に温度として表している。

これらの理由を簡単に説明すると、a.の常湿度領域と高湿度領域は空気中にある水分が結露を生じる温度、すなわち「露点」で表すことが一般的であり、b.の低湿度領域は、空気中の水分が凍ることによって霜となるため「霜点」で表すことが一般的である。

c.微量水分領域は、上記の2つとは少し条件が異なり、空気中の水分量があまりにも少ないため霜点で表すとばらつきなどを含めた正確な値を示すときに不都合が生じることもあり「モル分率」で表されている（図1の微量水分領域は、霜点相当値で表記している）。

この図1を見ても、世界的にリードしていると言われている国家計量標準研究機関を擁するイギリスやアメリカと比べて、日本の国家計量標準（湿度：供給可能な露点範囲、露点の不確かさ）は遜色ない、むしろリードしているといえる。

このような産総研の機能である計量標準の基礎研究の日々の積み重ねがあるからこそ日本の「ものづくり」の基盤が支えられてきたと言っても過言ではないだろう。

話しを国家標準供給のしくみに戻すが、湿度の国家標準の値は、計量法に基づくJCSS制度によって、一般ユーザーに提供されている。

そのトレーサビリティの概略図を図2に示す。

2010年8月現在、日本では当社を含め6社が湿度の区分でJCSS登録事業者になっているが、校正サービスを提供している露点の範囲(下限値)は、-10℃までであり、今回の開発を進める上で参照する湿度標準が無いことが大きな問題・課題となった。

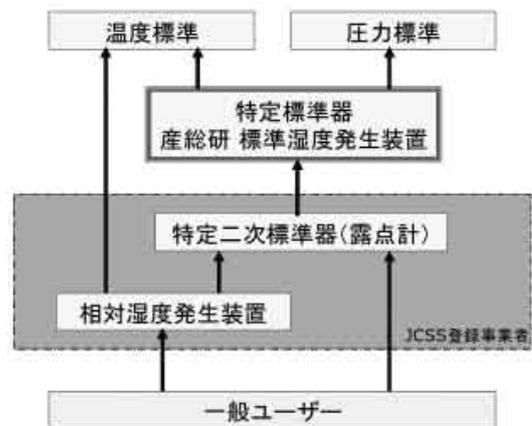


図2. わが国の湿度のトレーサビリティ体系

#### 4. 現在の当社湿度標準及び当社の校正事業

当社は長年にわたり湿度センサの開発のため、産総研によって校正された「露点計」と自社で校正を行った「湿度計」と「分流式の発生装置」を用いて、感湿素子や湿度発信器の評価試験を行ってきた。

これらの開発や評価において蓄積した技術を元に、2004年5月に湿度のJCSS認定を取得した。

その後、2004年12月に圧力で認定事業者になったが、計量法の改正に伴い認定事業者の呼び名が、登録事業者になったことや更新審査などのタイミングを利用し国際相互承認(MRA)対応の校正事業者として2007年2月には温度、2007年7月に湿度で再度登録を行った。

さらに2008年11月には電気の分野でもJCSS登録を取得し、現在4つの分野において、JCSSの校正事業を行っている。

azbilグループでは、計測標準センター以外でもJCSSの登録事業を行っている。その事業区分、最新の登録状況については、独立行政法人製品評価技術基盤機構（以下、NITEという）のWEBサイトにも公開されているので、検索できるURLを以下に紹介する。

<http://www.iajapan.nite.go.jp/jcss/lab/index.html>

湿度分野におけるJCSSの校正対象の種類と、登録を受けている範囲を図3に示す。

JCSS 制度上の区分と種類		弊社登録範囲	
校正手法の区分の呼称	種類	校正範囲	最高測定能力 (k = 2)
湿度測定器等	露点計	露点 -10℃以上 23℃以下	0.16℃
	電子式湿度計	校正温度 20℃以上 25℃以下において 相対湿度 10%以上 50%以下 ただし、露点温度 -10℃以上 23℃以下の 相対湿度	0.6%
		校正温度 20℃以上 25℃以下において 相対湿度 50%超 90%以下 ただし、露点温度 -10℃以上 23℃以下の 相対湿度	1.0%
	熱伝導率式湿度計		
	通風乾湿計		
	湿度発生装置		

図3. JCSS 制度上の校正対象種類と当社登録内容

現在、湿度のJCSSで校正が認められている種類は図3の5種類であるが、当社ではその中の露点計と電子式湿度計を校正対象としている。

図3にある“最高測定能力”とは、最良の性能を有した校正対象を校正した場合に実現できる校正結果であるが、この表現が非常にわかりにくいのでここで簡単に説明しておく。

当社の技術能力で保有する設備や環境条件で露点計を校正した場合、最高測定能力(k = 2)は0.16℃であることの意味は、

- ① 当社が保有する標準器「露点計」
- ② 設備「湿度発生装置」
- ③ 想定可能な最も性能の良いとされる校正対象「露点計」上記①と②を使用して③を校正した場合、その校正結果

は、95%の信頼水準で“校正結果の±0.16℃”の範囲に入るということを示している。

一般的に製造メーカーや校正事業者の“測定のレベル”や“校正結果の良し悪し”は、測定者の知識・技術・能力を除くと、以下の3つの要素で決定されることが多い。

- ① 標準器の性能
- ② 測定系・校正環境
- ③ 校正対象の性能

この測定のレベルや測定精度は“校正の不確かさ”で表すことができる。

この“校正の不確かさ”を求めるには6章であげる図7のような“バジェット表”と呼ばれる表がよく使われる。

このバジェット表は顧客や校正依頼者と校正の信頼性について議論する場合などに用いられるが、この詳細は6章の技能試験の項目で詳しく述べる。

#### 5. 今後の当社湿度標準

当社は計測・制御機器の開発、販売、メンテナンスを中心に事業をしていることもあり、様々な物理量の測定を行う必要がある。

これらの測定作業は、生産工場や研究施設にとどまらず、お客様の工場（以下、現地という）に伺って、計測・制御機器のメンテナンスを行うときにも実施している。

その現地で行うメンテナンスの一環として行っていた校正サービスにも、JCSS校正のニーズが高まっているため、一部の作業に対してJCSS現地校正サービスが提供できるよう、電子式湿度計の現地校正に関する登録を申請中である。

これに加えて、2010年の年末にかけて-50℃～-10℃（霜点）の低露点領域についても登録申請の準備を進めているところである。

また、中露点領域の登録においては、最高測定能力を図4のように変更する予定である。

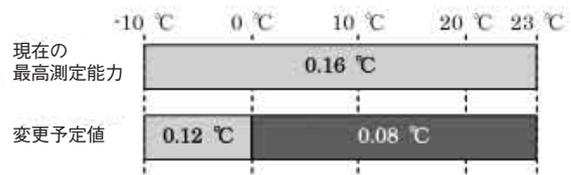


図4. 現在の最高測定能力と今後の予定（中湿度）

これは、以前に行った湿度の再登録時にいくつかの管理方法を見直し、再評価を実施したところ、その結果（安定性、再現性など）が、2004年にはじめて認定を取得した時に行った評価結果と比較して、大変良い結果が得られたことによるものである。

この時の結果から、再登録時に小さな不確かさで申請することも可能だったが、測定監査や時間の制約などか

ら最高測定能力は初期に申請した不確かさの値で再登録を行った。

しかし、これらの評価内容を裏付ける結果が、後述する、2009年度に行われた湿度の定期技能試験により実証されたため中露点の最高測定能力も現在の0.16℃よりも、小さい値で登録することが可能と予測している。

当社の現在と今後の標準供給体系を図5に示す。

## 6. 技能試験結果

2009年度には、湿度の技能試験が中高湿度の露点(-10℃~+50℃)、低湿度の霜点(-70℃~-10℃)の範囲で実施された。

湿度の技能試験はISO/IEC Guide 43 (JIS Q 0043)に適合するプログラムで、少なくとも4年に一度、定期的に行われ、登録事業者または登録を受けようとする事業者は参加が義務付けられ、校正の技術能力が評価されることになっている。

その湿度の技能試験の流れ(概略)を以下に記す。

- ① 十分安定していることが評価された露点計(以下、仲介器という)を、NITEが準備する。
- ② その仲介器を産総研で校正(値付け)する。  
【この時点では、産総研での校正結果は伏せられている】
- ③ NITEは技能試験に参加した事業者に仲介器を送り、参加事業者は、参加事業者の校正環境で校正を行う。
- ④ 参加事業者は所定の期間で校正を完了させ、その校正結果をNITEに提出する。

⑤ 数社(場合によってはすべて)の参加事業者の校正が完了したら、仲介器を、産総研に送り再度、校正(値付け)を行う。

【仲介器が健全な状態であることを確認する】

⑥ NITEが、それぞれの参加事業者の校正結果と産総研の校正結果とを比較し、妥当な校正ができていのかどうかを評価し、測定能力を確認する。

①~⑥が技能試験の簡単な流れであるが、⑥の評価方法を説明すると、参加事業者の校正結果は参照機関である産総研の校正結果と比較され、その差が不確かさの範囲内であるかどうかにより合否判定が下される。

具体的には、以下の式(1)によるEn値を算出し、その値が±1以内であれば技術能力が満足するものとして合格とみなされる。

$$E_n = \frac{X_{lab} - X_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad \dots \text{式(1)}$$

|En| ≤ 1 : 満足

|En| > 1 : 不満足

X<sub>lab</sub> : 参加事業者の測定値

X<sub>ref</sub> : 参照機関(NMIJ)の参照値

U<sub>lab</sub> : 参加事業者の測定値の拡張不確かさ(k=2)

U<sub>ref</sub> : 参照機関(NMIJ)の測定値の拡張不確かさ(k=2)

当社は2009年に実施された湿度の技能試験において、-10℃~+23℃の露点範囲と、-50℃~-10℃の

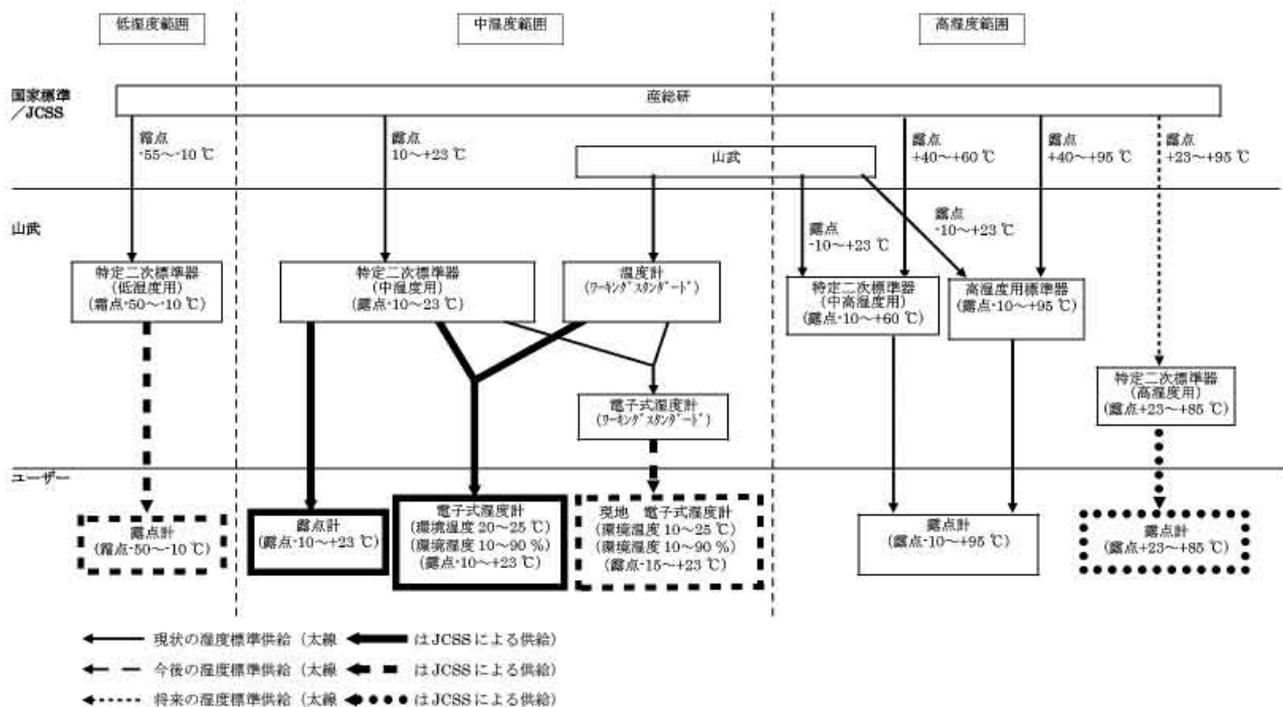


図5. 現在の標準供給体系と今後の予定

霜点範囲で参加した。

この技能試験時の当社の校正結果を図6に示す。

この図6は縦軸が校正結果の差異、すなわち産総研の参照値が0℃となっている図である。

したがって、この0℃のラインに、参加事業者がNITEに提出した不確かさを示す縦のバーが、クロスしていれば、合格していることが確認できる図となっている。

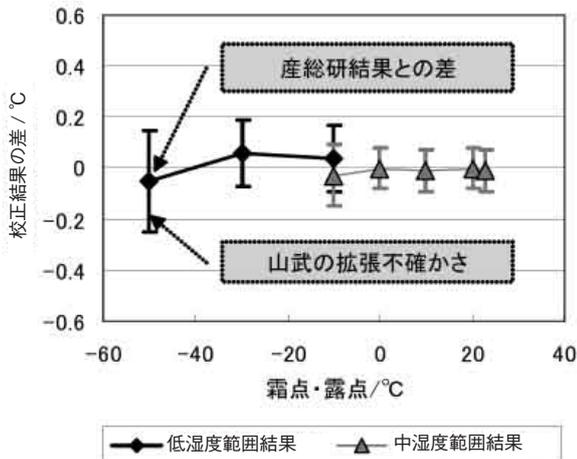


図6. 技能試験結果

この図6をみると、現在JCSSの登録事業を行っている露点-10℃～+23℃の範囲では、産総研の校正結果と良く一致していることが、お解りいただけると思う。

また、鏡面冷却式露点計では非常に測定が難しいと言われている低露点領域(-50℃)においても、良い校正が実施できていることが確認できた。

今回、初めて行われた低湿度の霜点範囲の技能試験において、産総研との差は拡張不確かさの範囲内に入っているため、低湿度の霜点範囲でもJCSSの登録事業者として校正事業を行っていく技術的な準備ができていることが確認できたと考えている。

参考までに、この技能試験において使用したバジエッ

ト表(一部)を図7に示す。

この図7は略語を多く使っており、誤解を招く恐れがあるので簡単に説明を加える。

すでに4章で説明したとおり、校正結果の不確かさは、大きく分けて以下の3つの要素になる。

- ① 標準器の性能
- ② 測定系・校正環境
- ③ 校正対象の性能

①標準器の性能を細分化すると、図7の $U_{s1} \sim U_{s5}$ の要因が挙げられる。

$U_{s1}$ は標準器(露点計)が示す値に含まれる不確かさであり、主に産総研で校正されたときの不確かさを考慮する。

$U_{s2}$ は、産総研で校正された時から、実際に当社の測定環境で使用するまでの期間に経年変化(ドリフト)が発生するため、その変化量を考慮する。

$U_{s3}$ は、実際の校正において、データを読み取る間、バラツキ量を考慮する。

$U_{s4}$ は、校正条件を変えて測定をした場合の一致度合い(既知の補正量は補正する)の標準偏差を考慮する。

$U_{s5}$ は、当社の標準器(露点計)は、表示分解能が0.01℃の桁数であるため、これ以下の桁(0.001℃)はわからないため、これらの量を考慮する。

②測定系・校正環境は、産総研で校正した環境と当社で校正中の校正条件が異なることや、実際の校正中に起こる様々な変化に対して、校正結果(露点)がどの程度の影響を受けるのかを定量化する項目である。

$U_{m1}$ の発生ゆらぎは、発生装置から発生される空気中の霜点に時間的な変動があると、標準器、校正対象の応答性の違いなどにより、異なる霜点の値を示す可能性がある。そのため、霜点の変動量を考慮する必要がある。

$U_{m2}$ は、測定空間に圧力差があることによって、霜点に変化するため、この圧力差の影響を物理的な根拠から

	霜点	-50℃	内容
標準側	$U_{s1}$	0.0400	標準器(FINEDEW)を上位標準(産総研の国家標準)で校正した時の不確かさ
	$U_{s2}$	0.0200	標準器(FINEDEW)が次の校正周期までに変化することに関する不確かさ
	$U_{s3}$	0.0250	標準器(FINEDEW)の短期的なばらつきによる不確かさ
	$U_{s4}$	0.0244	標準器(FINEDEW)を繰り返し測定した場合の再現性による不確かさ
	$U_{s5}$	0.0029	標準器(FINEDEW)の最小表示分解能に関する不確かさ
環境	$U_{m1}$	0.0296	発生露点の時間的な変動による不確かさ
	$U_{m2}$	0.0084	発生口と露点センサ内の差圧から来る不確かさ
	$U_{m3}$	0.0292	飽和槽温度の変化による不確かさ
校正時	$U_{k1}$	0.0140	繰り返し校正をした結果による不確かさ
	$U_{k2}$	0.0029	校正対象の最小表示分解能による不確かさ
	$U_{k3}$	0.0250	校正対象の短期的なばらつきによる不確かさ
$U_0$	合成不確かさ	0.0765	各不確かさを合成(二乗和し平方根をとった)したもの
$\nu_{eff}$	有効自由度	407	今回の結果が何回繰返しを行ったのと同様の結果であるかを算出したもの
$k$	包含係数	1.97	95%の信頼水準を得るための係数
$U$	拡張不確かさ	0.1504	校正結果の不確かさ(信頼水準95%)

図7. 低湿度用露点計の技能試験時バジエッ表

露点への影響量を考慮する。

$U_{m3}$  は、飽和槽の温度変化によって、霜点に与える影響量を考慮する。

③校正対象の性能は、前記した①と②がもつ不確かさの成分を含んだ結果が表れるが、切り分けることが難しいため殆どの場合、校正結果のバラツキに含まれる。

$U_{x1}$  は、繰り返し校正を実施した結果の標準偏差をバラツキ量として考慮する。

$U_{x2}$  は、 $U_{s5}$  でも説明したとおりだが、校正対象機器が0.1℃の表示分解能の場合、表示値が-50.0℃であったとしても、-49.9500…から-50.0499…の間のどこを示しているかは不明であるため、その量を考慮する。

$U_{x3}$  は、校正対象機器におけるバラツキ量で、内容は $U_{s3}$ と同様なので説明は省略する。

これらの要因をすべて合成したものが、 $U_c$  合成標準不確かさとして表されるが、ここで注意すべき点がある。

それは③の校正対象の性能の項目で説明したとおり、校正結果のバラツキには、①と②の成分も含まれるため、校正対象機器に対して妥当(適切)な校正が実施できたのか、否かを確認しなければならないということである。

通常、繰り返し測定を行い、その平均値で結果を算出するが、平均値は校正結果の推定値である。

この校正の繰り返し回数が無限大に大きい場合、その推定値は限りなく最良の推定値に近づくと考えられるが、実際には限られた回数しか測定できない。

そのため、推定値自体にバラツキがあり推定値そのものの妥当性が求められる。

この妥当性を確認する1つの方法に有効自由度で表す方法がある。

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

$v_{\text{eff}}$  : 有効自由度

$u_c(y)$  : 合成標準不確かさ

$u_i(y)$  : 校正データから算出する個々の標準不確かさ

$v_i$  : 校正データから算出する個々の標準不確かさの自由度

この有効自由度から、 $t$  分布表を利用し95%の信頼水準にあたる包含係数 $k$ を導くことができる。この包含係数 $k$ を合成標準不確かさ $u_c$ にかけて、拡張不確かさ $U$ が算出できる。

$$U = k \times u_c$$

## 7.1. 技能試験に用いた「低露点ファインデュー(FINEDEW)」の紹介

今回の技能試験には、新規に開発を行った鏡面冷却式露点計「低露点ファインデュー(FDW20)」を用いた。



図8. 低露点ファインデュー外観

一般的に、鏡面冷却式露点計は高精度で露点の測定が可能であるが、低露点領域では応答性や安定性が悪くなることが知られている。

ところが、この低露点ファインデュー(FDW20)は、下記にあげる山武独自の技術により、精度、応答性、安定性を飛躍的に高めることができた。

- ① 鏡面や鏡面温度センサ、鏡面冷却器などの露点検出部を超小型化したことにより、低露点領域(微小水分)の結露を安定的に発生させることが可能。
- ② 極細投受光同軸光ファイバーと高感度光電センサにより、結露の高感度検出を実現。
- ③ 高性能制御回路により、高精度温度検出、高速応答性及び高い制御安定性を実現。

なお、技能試験に先立ち、産総研において低露点ファインデューのjcss校正を実施した結果、良好な結果を得ることができたので、参考までにjcss校正証明書を図9に示す。

この校正結果や技能試験の結果が良いだけでなく、一般ユーザーが使用する観点から見ても、これまでは計測にのみ使用されてきた鏡面冷却式露点計だったが低露点領域で、高速応答が可能となったことから、露点制御の高精度センサとしても使用することができるという顧客価値が提供可能となった。

## 8. 低露点の計測技術を向上させた周辺技術

### 8.1 発生装置周囲温度の影響

技能試験に使用した低露点用の湿度発生装置は、分流式で試料空気や飽和槽などの温度制御を行わないタイプの発生装置を使用したため、校正環境のわずかな温度の変化によって、試料空気の飽和具合に変化が生じ安定

した湿度発生ができないことが問題となり、この問題を解決するためには2つの改善事項を同時に実施する必要があった。

1つは校正環境の温度制御の向上である。

これには当社の精密空調制御システムを使って恒温槽を作成し、その中に湿度発生装置を入れることで解決した。

もう1つは、飽和槽の外側に厚さ約10mmの断熱材で覆い熱の流出入を緩やかにした。

これらの改善ができてきていることの確認のために、飽和槽と断熱材の間に、Pt100Ωの温度計を貼り付け温度を測定した。

その測定結果を図10と図11に示す。

恒温槽内に湿度発生装置を設置する前は室温の影響により、測定ごとに飽和槽壁温度に違いがあったが、恒温槽設置後はほぼ一定の値に制御できていることがわかる。

温度スケールを細かくした図11からも、恒温槽設置前と後では、飽和槽周囲の温度制御幅にも違いがあり、恒温槽設置前が±0.1℃以上の変化があるのに対して、恒温槽設置後では±0.02℃程度に収まっていることがわかる。

この恒温槽によって、飽和槽周りの温度安定化に十分な効果を発揮した。

総数2頁の1頁  
第106026号



## 校正証明書

依頼者名	株式会社 田武
依頼者住所	神奈川県藤沢市川名1丁目12番2号
校正実施場所	独立行政法人産業技術総合研究所つくば中央第三実用所
特定二次標準器名	露点計
製造者名	株式会社 山武
型式・器数番号	本体FDW10-B005 (No.0005) センサFDW-XL0005 (No.XL0005)
校正方法	2頁のとおり
校正実施動作	2頁のとおり
校正結果	2頁のとおり
受付年月日	2009年12月4日
校正実施年月日	2009年12月9日～2010年2月1日

以上に相違ないことを証明する

校正責任者  
計量標準総合センター

北野 寛

北野 寛

発行所  
東京都千代田区霞が関一丁目1番1号  
独立行政法人  
産業技術総合研究所



理事長 野間口 孝

発行日 2010年2月3日

この証明書は、計量法第136条第1項に基づき特定標準器による校正の結果を示すものである。  
事後の承認なしに、この証明書の一部のみを複製してはならない。

総数2頁の2頁  
第105026号



1. 校正方法  
JIS B 7920に記載された二温度生の原理による標準湿度発生装置（恒湿用）(H0-LH5)が発生するガスを露点計に導入して校正を行った。
2. 校正結果
 

標準の値 (露点) (°C)	露点計の指示値 (°C)	偏差 (°C)	偏差不確かさ (k=2) (°C)
-55.00	-54.77	0.23	0.20
-50.00	-49.81	0.19	0.08
-40.00	-39.88	0.12	0.08
-30.00	-29.93	0.07	0.08
-10.00	-10.00	0.00	0.08

(備考) 校正実施年月日 2009年12月9日～2010年2月1日  
被校正器 本体 型式: FDW10-B005 製造番号: N0.B005  
センサ 型式: FDW-XL0005 製造番号: N0.XL0005  
偏差は、露点計の指示値から標準の値を引いたものである。  
不確かさは、発生装置の不確かさと校正時の不確かさを合成したものである。  
偏差不確かさは、包含係数k=2として求めた。
3. 校正実施条件
  - (1) キヤリアガスは亜高である。
  - (2) 標準湿度発生装置の露点を、標準の値±0.1℃以内に設定し、校正を行った。
  - (3) 湿度計はITS-90、絶対湿度計式はSontagの式を用い、露点修正係数は207ressponの式を用いている。
  - (4) 露点計の指示値は、デジタル出力を計算機に取り込んで求めた。
  - (5) 標準湿度発生装置の発生するガスを露点計へ導入するには、0.5MPaまで接続されたステンレス管（外径12.7mm、長さ合計約1.9m）、及びスリッパローグ継手により接続されたステンレスR4管（外径6.35mm、長さ約0.1m）を用い、露点計のガス入口へスリッパローグ継手により接続した。出口側は流量調節弁と露点計を通して大気中へそのまま放出した。試料流量は0.5L/minであった。試料の圧力は常に大気圧よりわずかに高く、発生装置の出口で101.3kPa～102.3kPaの範囲であった。サンプリングホースの圧力降下の修正を行った。
  - (6) 露点計セルケースの温度は-10℃とした。
  - (7) 校正を始める前に依拠器による露点の精確な確認を行った。
  - (8) センサ裏面の水の状態を確認して、測定した。
  - (9) 測定中の測定室の温度は17.9℃～25.3℃の範囲内、相対湿度は約22%～34%の範囲内であった。

以上

図9. 低露点ファインデューのjcass校正証明書

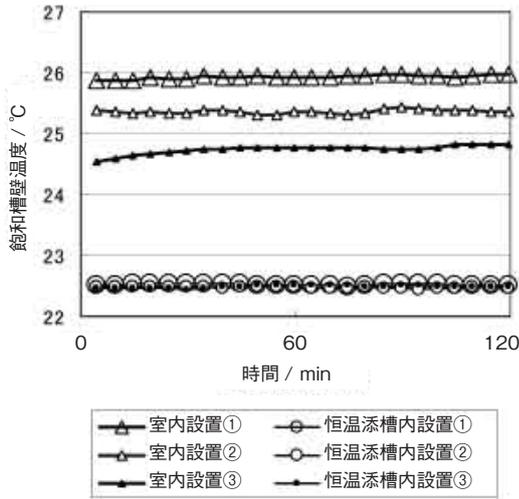


図 10. 設置場所による飽和槽周り温度の違い (1)

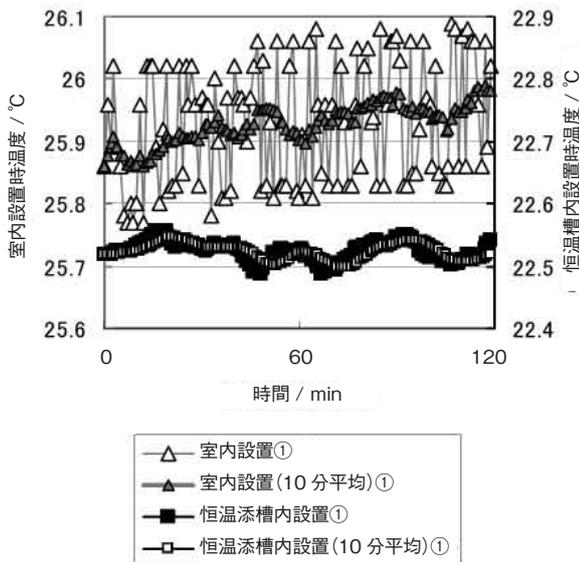


図 11. 設置場所による飽和槽周り温度制御の違い (2)

## 8.2 サンプリングチューブによる露点への影響

霜点 $-30^{\circ}\text{C}$ 付近から、それ以下の低露点を測定する場合は、ガス中の水分量が非常に少ないため、ちょっとした水分に測定結果が大きく左右されるため測定には様々な注意が必要である。

その注意の1つとして、露点計につなぐ配管の内部でおこる水分吸着や脱離による影響があげられる。

今回は、それらの影響を確認するため、いくつかの実験を行なったので代表的な結果を報告する。

### 8.2.1 露点計につなぐ配管材料と長さの影響

露点計につなぐ配管材料と長さをいくつか替えて、霜点 $-55^{\circ}\text{C}$ から $-50^{\circ}\text{C}$ を測定した結果、配管材料や長さによって測定結果や応答性に影響が出ることが確認できた。

今回確認した配管材料はステンレス EP管(内部電解研磨)、ステンレスフレキシブル管、銅管、フッ素樹脂チューブチューブの4種類で、フッ素樹脂チューブチューブについてのみ長さを0.5 mと10 mの2種類使用した。

【実験 1】：配管の種類による霜点の違い	
測定霜点	約 $-40^{\circ}\text{C}$
配管材質	フッ素樹脂チューブ ステンレス EP 管 銅管
配管長さ	10 m ただし、フッ素樹脂チューブのみ 0.5 m も追加で同時に実施
配管径	内径： $4.35\text{ mm}$ 肉厚： $1\text{ mm}$
測定環境条件	$25^{\circ}\text{C} / 50\% \text{ rh}$ ただし、フッ素樹脂チューブ 10 m のみ $25^{\circ}\text{C} / 95\% \text{ rh}$ も追加で同時に 実施
【結果】：図 12 の結果が示すように $25^{\circ}\text{C} / 50\% \text{ rh}$ 環境においたステンレス EP 管、銅管、フッ素樹脂チューブ 0.5 m の測定値に大きな差なかった。それに対し、フッ素樹脂チューブ 10 m は、高い測定値を示した。特に、 $25^{\circ}\text{C} / 95\% \text{ rh}$ の環境においたフッ素樹脂チューブ 10 m は、 $0.6^{\circ}\text{C}$ ほど高い霜点を示した。	

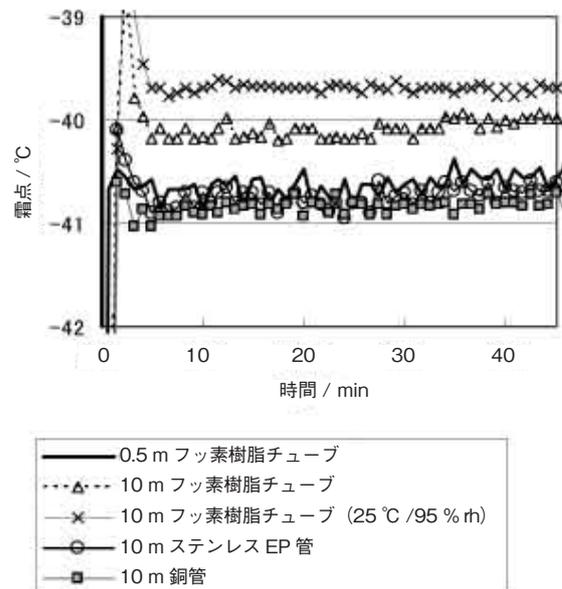


図 12. 配管種類による霜点の違い

<b>【実験2】：周囲温湿度の変化による霜点の違い</b>	
測定霜点	約-55℃
配管材料	フッ素樹脂チューブ
配管長さ	0.5 m と 10 m
配管径	内径：4.35 mm 肉厚：1 mm
測定環境条件	0.5 m チューブ：25℃ /50% rh 10 m チューブ：40℃ /95% rh から 25℃ /95% rh に変化させた。
<b>【結果】</b> ：実験1の結果(図12)に加え、図13の結果が示すように10 m フッ素樹脂チューブは周囲の温湿度の変化によって測定値に大きな変化が現れることが確認できた。	

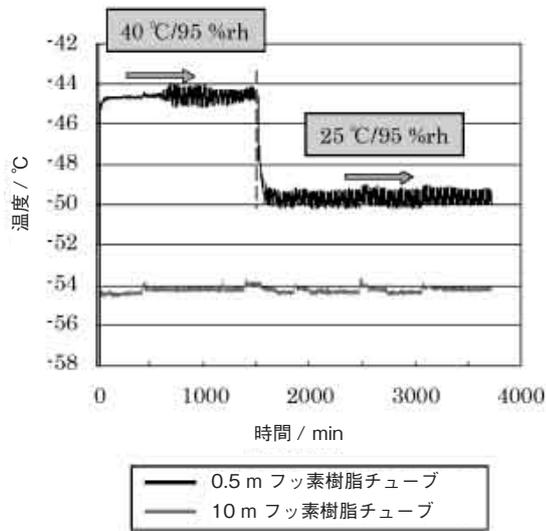


図13. 周囲温湿度の違いによる霜点計測の違い

<b>【実験3】：配管の種類による応答性の違い(1)</b>	
測定霜点	約-50℃ ⇒ -40℃
配管材料	フッ素樹脂チューブ ステンレス EP 管 銅管
配管長さ	10 m ただし、フッ素樹脂チューブのみ 0.5 m も追加で同時に実施
配管径	内径：4.35 mm 肉厚：1 mm
測定環境条件	25℃ /50% rh ただし、フッ素樹脂チューブ 10 m のみ 25℃ /95% rh も追加で同時に 実施
応答性評価の 測定条件	霜点：-50℃から-40℃へ 発生霜点を変更
<b>【結果】</b> ：図14の結果が示すように、配管長さによる応答性に違いはあったが、配管種類による応答性に違いはなかった。ただし、10 m フッ素樹脂チューブはオーバーシュートしており、樹脂への吸着・脱離が金属と比較して大きいと考えられる。	

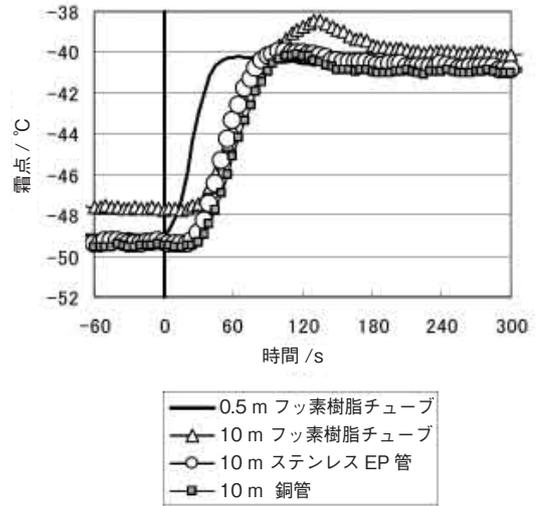


図14. 配管種類による応答性の違い(1)

<b>【実験4】：配管の種類による応答性の違い(2)</b>	
測定霜点	約-50℃ ⇒ -40℃
配管材料	ステンレス EP 管 ステンレス フレキシブル管
配管長さ	10 m
配管径	内径：4.35 mm 肉厚：1 mm
測定環境条件	25℃ /50% rh
応答性評価の 測定条件	霜点：-50℃から-40℃へ 発生霜点を変更
<b>【結果】</b> ：図15の結果が示すように、同じ長さのステンレス管でも、フレキシブル管では応答性が遅いことが確認できた。配管内側の表面積の影響と考えられる。	

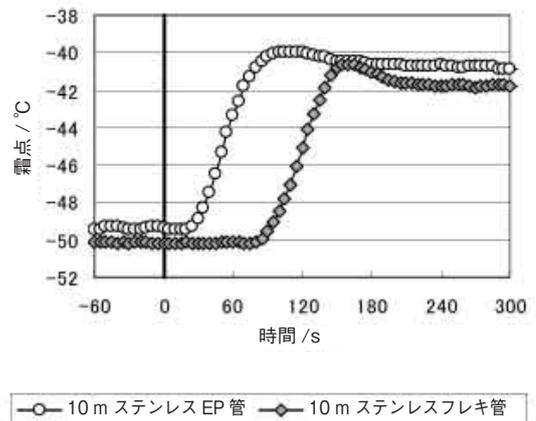


図15. 配管種類による応答性の違い(2)

これらの実験から低露点領域では露点計までの配管材料の材質は透過がなく、水分の吸着が少ないものを使い、長さを短くすることが重要であることが再認識できた。

## 9. おわりに

本稿では、露点計測範囲を拡張するために取り組んだ技術向上について、周辺技術の検討を含めて紹介した。

一般的に、計測という行為はできて当たり前だと思っている人が多いかもしれない。しかし、要求されるレベルが高くなれば、そう簡単なことではない。当社では、開発部と計測標準センターが得意分野で協業し、より良い「ものづくり」を進めている。そして今後とも、より良い「ものづくり」を通じて、お客さまとともに価値をつくり、信頼をいただけるよう努力していく所存である。

### <解説>

- (1) JIS Z 8806 では「湿潤空気の水蒸気圧に、水の飽和水蒸気圧が等しくなる温度」のことを「露点」と呼んでいるが、そのほか「露点温度」と呼ばれることもある。
- (2) JIS Z 8806 では「湿潤空気の水蒸気圧に、氷の飽和水蒸気圧が等しくなる温度」のことを「霜点」と呼んでいるが、そのほか「霜点温度」と呼ばれることもある。
- (3) 広義には、「露点」・「霜点」を総称して「露点」とよぶことがある。
- (4) 「jcss (スモールジェーシーエスエス) 校正証明書」は、国立標準研究所または指定校正機関等が発行する jcss ロゴマーク付の校正証明書で、JCSS 制度で登録を受けた校正事業者が発行する JCSS ロゴマーク付きの「JCSS (ラージェーシーエスエス) 校正証明書」と区別されている。

### <参考文献>

- (1) Calibration and Measurement Capability, Thermometry Japan NMIJ, The BIPM key comparison database, Nov. 2009 独立
- (2) 北野寛, 湿度標準の現状と供給範囲の拡大, AIST Today, Mar.2005
- (3) Calibration and Measurement Capability, Thermometry United Kingdom NPL, The BIPM key comparison database, June 2010
- (4) S. Hasegawa and J.W. Little, The NBS Two-Pressure Humidity Generator Mark 2, Journal of Research of the National Bureau of Standards - A. Physics and Chemistry, Vol.81A, No.1, Jan.-Feb. 1977
- (5) 独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センター計量認定課：平成 20 年度 JCSS 技能試験手順書
- (6) 独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センター：試験所間比較による技能試験報告書（中高湿度用露点計）JCPT-99-1
- (7) 独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センター：

試験所間比較による技能試験報告書（低湿度用露点計）JCPT-99-2

- (8) 飯塚幸三監修：ISO 国際文書 計測における不確かさの表現ガイド, 日本規格協会
- (9) 山口徹, 伊林洋志, 新沢陽介, 江口忠登美, 磨田光夫：現場技術者のための計測技術入門, 日本規格協会

### <商標>

FINEDEW は、株式会社 山武の商標です。

### <著者所属>

山口 徹	計測標準センター
中垣内 直美	計測標準センター
金井 良之	アドバンスオートメーションカンパニー 開発部 開発7グループ
井端 一雅	アドバンスオートメーションカンパニー マーケティング部