

## 湿度・露点計測の基礎知識



基本的な使い方が分かれば湿度計測の効果を最大限に高めることができます。

湿度の計測および管理は、さまざまな工業分野で必要とされています。計測範囲、広域な温度・圧力条件に対する耐性、結露からの回復機能、危険環境での稼働性、設置・校正オプションなど、用途によって湿度計測器に求められる要件も異なります。1台ですべてのニーズに対応できる計測器は存在しません。実際に、販売されている製品は多種多様であり、コストや品質も様々です。

ここでは、適切な湿度計測器の選択に役立つ以下のポイントについてご説明します。

- 様々な湿度項目
- 湿度計測器の選択に影響を与える環境条件
- 湿度計測器の選択に影響を与えるセンサ特性
- 湿度計測器選択の実践的ガイドライン

### 湿度とは — 湿度項目の基礎知識

#### 水蒸気分圧

湿度とは気相状態の水分子のことであり、正確には水蒸気と呼ばれます。気体である水蒸気には、ドルトンの分圧の法則をはじめ、気体に関する一般的な法則の多くが当てはまります。ドルトンの法則によると、気体の全圧は、各気体成分の分圧の和に等しくなります。

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

大気であれば、1.013バールの全圧は、窒素、酸素、水蒸気、アルゴン、二酸化炭素およびその他の微量気体それぞれの分圧の和になります。

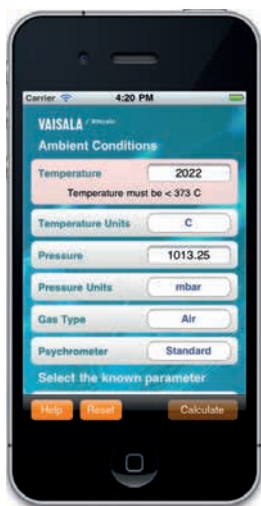
#### 水蒸気圧とは

水蒸気圧 ( $P_w$ ) とは、大気中または気体中に存在する水蒸気が加える圧力のことです。水蒸気の最大分圧は温度によって決まり、この最大分圧は飽和水蒸気圧 ( $P_{ws}$ ) と呼ばれています。温度の上昇に伴い、飽和水蒸気圧が上昇し、大気を含むことのできる水蒸気が増加します。従って、暖かい空気は冷たい空気よりも多くの容量の水蒸気を含むことが出来ます。

飽和水蒸気圧の状態に達した大気や気体混合物に、さらに水蒸気が加わると、同量の気体が液体または固体として凝結します。湿り空気線図は、飽和水蒸気圧と温度の関係をグラフで表したものです。そのほか、温度ごとの飽和水蒸気圧を確認できる水蒸気圧表や、コンピュータを用いた各種計算プログラムがあります。

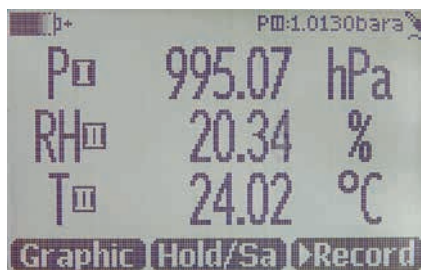
## 圧力が湿度に与える影響

ドルトンの法則によると、気体の全圧が変化すると、水蒸気を含むすべての気体成分の分圧が影響を受けます。例えば、全圧が2倍になると、各気体成分の分圧も2倍になります。エアコンプレッサーでは、空気が圧縮されて圧力が上昇することで、空気から水分が絞り出されます。これは、水蒸気分圧 ( $P_w$ ) が上昇する一方で、飽和水蒸気圧 ( $P_{ws}$ ) は主に温度

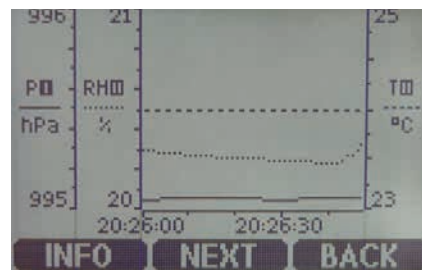


湿度計算ソフトは携帯電話からもご利用いただけます。

に依存するためです。レシーバータンク内の圧力が上昇して  $P_w$  が  $P_{ws}$  に達すると、水分が液体に凝結し、最終的にはタンクから排出されます。



一部の湿度計測器では、湿度項目を個別に選択してグラフ表示します。写真は、ヴァイサラハンディタイプ湿度温度計HM70の2種類の表示画面です。



## 相対湿度

水蒸気を気体と考えると、相対湿度を定義しやすくなります。相対湿度 (RH) とは、特定の温度における飽和水蒸気圧 ( $P_{ws}$ ) に対する水蒸気分圧 ( $P_w$ ) の割合と定義できます。

$$\%RH = 100\% \times P_w / P_{ws}$$

定義式における分母 ( $P_{ws}$ ) が温度の関数であるため、相対湿度は温度に大きく依存します。例えば、部屋の相対湿度が50%、温度が20°Cのとき、室温が25°Cに上昇すると、仮に水蒸気分圧に変化がなくても、相対湿度は約37%に低下します。

また、圧力によっても相対湿度は変化します。例えば、ある工程の温度が一定に保たれている場合、プロセス圧力が2倍になれば相対湿度も2倍になります。

## 露点温度

気体が冷却されて水蒸気が液相に凝結し始めるとき、結露が発生する温度を露点温度 ( $T_d$ ) といいます。相対湿度が100%のとき、周囲温度は露点温度と等しくなります。露点が周囲温度より低ければ低いほど、結露の発生リスクは小さくなり、空気は乾燥していきます。

露点は飽和水蒸気圧 ( $P_{ws}$ ) と直接関連しています。各露点の水蒸気分圧は簡単に

計算することができます。相対湿度と異なり、露点は温度に依存しませんが、圧力の影響を受けます。露点計測の主な用途としては、各種乾燥工程や、乾燥空気 (ドライエア) の使用時、圧縮空気の乾燥時などが挙げられます。

## 霜点温度

露点温度が氷点下のとき (乾燥空気の時など)、凝結相が氷相であることを明確に示すために、霜点 ( $T_f$ ) という言葉を用いることがあります。氷の飽和水蒸気圧は水の飽和水蒸気圧と異なるため、0°C以下では常に露点よりも霜点がわずかに高くなります。一方で、氷点下の露点値といながら、霜点を意味することもあります。はっきりしない場合には確認をとりましょう。

## パーツ・パー・ミリオン

パーツ・パー・ミリオン (ppm) は、低湿度の単位として用いられることがあります。乾燥気体や湿潤気体全体に含まれる水蒸気の割合を指し、容積/容積 ( $\text{ppm}_{\text{vol}}$ ) または質量/質量 ( $\text{ppm}_{\text{w}}$ ) で表されます。 $\text{ppm}_{\text{vol}}$  は、次の式で定量的に表すことができます。

$$\text{ppm}_{\text{vol}} = [P_w / (P - P_{ws})] \times 10^6$$

ppmは、主に加圧された高純度乾燥ガスの水蒸気含有量を示すために用いられます。

## 混合比

混合比(x)は、乾燥気体の質量に対する水蒸気の質量の割合です。しばしば乾燥気体1kg当たりのグラム量(g/kg)で表されます。混合比は、乾燥工程や一般空調設備などで、空気流量が分かっているときに水分含有量を計算するために使用されます。

## 湿球温度

一般に湿球温度( $T_w$ )とは、湿った綿布でくるまれた温度計が示す温度値のことです。湿球温度と周囲温度の両方を用

いて、相対湿度や露点を計算できます。例えば、空調用途で湿球温度を乾球温度と比較することで、蒸発冷却器の冷却能力を調べる用途に使われることがあります。

## 絶対湿度

絶対湿度(a)とは、一定の気温・気圧下において、湿潤空気の単位容積に含まれる水分の質量のことです。通常、空気 $1\text{m}^3$ 当たりのグラム量( $\text{g}/\text{m}^3$ )で表します。絶対湿度は、工程管理や乾燥業務でよく使用される測定項目です。

## 水分活性

水分活性( $a_w$ )は、平衡相対湿度に準じるもので、0~100%ではなく0~1の尺度で表されます。

## エンタルピー

エンタルピーとは、 $0^\circ\text{C}$ の乾燥気体を現在の状態に変化させるのに必要なエネルギー量のことです。空調計算などに使われます。

# 環境条件が湿度計測に与える影響

環境条件は、湿度や露点の計測に大きな影響を与えます。最良の計測成果を得るために、以下の環境要因を考慮する必要があります。

## 典型的な計測地点を選択

高温や低温のスポットは避け、計測対象の環境を代表する典型的な測定ポイントを選択してください。扉、加湿器、熱源、空調装置の吸気口などに設置した変換器は、急激な湿度変化の影響を受けやすく、計測が不安定になることがあります。

相対湿度は温度に大きく依存するため、湿度センサが測定する空気や気体と同じ温度であることが重要です。2つの機器の湿度指示値を比較するときは、本体/プローブと測定する気体との熱平衡が特に重要になります。

一方、露点計測は相対湿度とは異なり、温度に左右されません。しかし露点計測を行うときは、圧力条件を考慮する必要があります。

## 温度差に注意

プロセスに湿度プローブを設置するときは、プローブ本体の温度が低下しないよう注意が必要です。プロセスの内部と外部環境に大きな温度差がある場合は、たとえば、プローブ全体を内部に挿入し、ケーブルの差込口を断熱するなどの工夫が必要です。

結露の恐れがあるときは、ケーブルやプローブを伝って水滴が先端のセンサ部にたまらないように、プローブを水平に設置してください。(図1参照)

また、センサ周辺の空気の流れを確保してください。スムーズな空気の流れにより、センサとプロセス温度が平衡状態になります。例えば、 $20^\circ\text{C}$ 、50%RHのとき、センサと測定エリアの温度が $1^\circ\text{C}$ 違うと、3%RHの誤差が生じます。100%RHであれば、誤差は6%RHになります。(図2参照)

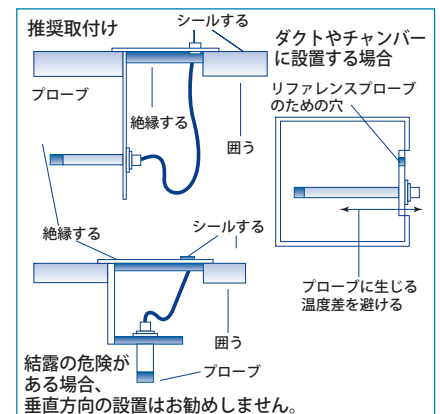


図1: 結露しやすい環境での湿度プローブの取り付け

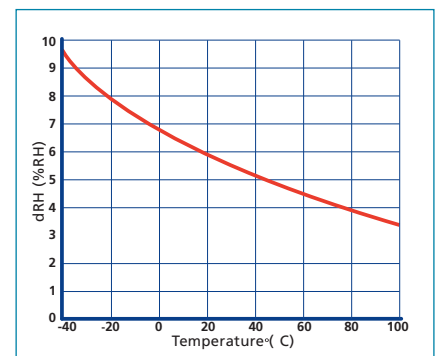


図2: 周囲空気とセンサの温度差が $1^\circ\text{C}$ のときの100%RHにおける各温度の測定誤差



## 高湿度環境に適した計測器

ここでは、相対湿度が90%を超える環境を高湿度環境とします。相対湿度が90%のとき、2°Cの温度差でセンサに結露が生じる可能性があります。換気されていないスペースであれば、乾燥するまでに数時間かかることもあります。ヴァイサラの湿度センサは結露からの回復機能を備えていますが、結露した水分が汚れていると、とりわけ塩分などがセンサに付着して計測精度に影響を及ぼします。センサの寿命が短くなりこともあります。結露が発生しやすい高湿度環境での計測には、ヴァイサラHUMICAP®湿度温度変換器HMT337などの、加温機能付きのセンサヘッドを備えたプローブをご使用ください。

## 低湿度環境に適した計測器

ここでは、相対湿度が10%未満の環境を低湿度環境とします。低湿度環境では、相対湿度計測器の校正精度が十分でない場合があります。しかし露点を測定できれば、湿度を把握する目安となります。露点計測には、ヴァイサラDRYCAP®製品シリーズをご用意しています。

圧縮空気システムの乾燥機が故障して結露が発生してしまったときには、計測器の機能を回復する必要があります。このような場合、露点センサは故障・破損してしまうケースが多いですが、ヴァイサラのDRYCAP®露点センサは高湿度への耐久性に優れています。水滴の影響を受けることもありません。

## 超広域な温度・圧力条件に適した計測器

超広域な温度への継続的な暴露は、次第にセンサやプローブの材質に影響を及ぼします。そのため、過酷な環境に適した製品を選ぶことが大変重要になりま

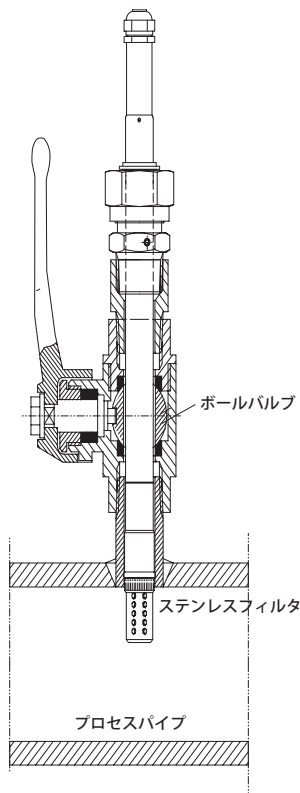


図3: プロセス用パイプラインへのボールバルブの設置

す。60°Cを超える環境では、変換器の電子回路部はプロセスの外部に設置し、高温対応のプローブのみを高湿度環境内に挿入します。さらに、温度の大幅な変動や極高温低温下での使用による誤差を抑えるために、温度補償機能が内蔵された機器を使用する必要があります。

環境圧に近い工程での湿度計測では、わずかな圧力リークは許容範囲内であり、プローブやケーブルまわりをシーリングすることで低減できます。しかし、外部環境から隔絶する必要のある工程や、外部環境との間に大きな圧力差が存在する工程では、シーリングを施したプローブヘッドを適切に取り付けて使用しなければなりません。差込部分に圧力リークが起きると、その場所の湿度が変化し、測定値が不正確になります。

ボールバルブを使うことにより、プローブをプロセスのガスの流れから分離して使用することが出来ます。ボールバルブを使用すれば、メンテナンスの際もプロセスを停止させずにプローブを取り外すことができます。(図3参照)

## 露点計測にサンプリングシステムが必要な場合

高精度の計測と応答時間の即時性を確保するため、プローブはできるだけ工程内に直接設置すべきですが、常にそれが可能であるとは限りません。このような場合、ライン内に設置したサンプリングセルが計測用プローブの差込ポイントとしての役割を果たします。

なお、サンプリングシステムは、温度変化が計測に影響を与えるため、相対湿度の計測には使用しないでください。ただし、サンプリングシステムを露点プローブと組み合わせて使用することは可能です。露点計測におけるサンプリングシステムの用途としては、プロセスガスの温度低減や、粉塵汚染からのプローブの保護のほか、プロセス量を停止させずに機器の容易な脱着を可能にすることなどが挙げられます。

露点サンプリングの最も簡単な組み合わせは、露点変換器をサンプリングセルに接続するものです。ヴァイサラでは、一般的な業務用途やサンプリングニーズを満たす各種製品をご提供しています。例えば、取り付けが簡単なDSC74サンプリングセルは、圧縮空気のアプリケーションに対応できるよう設計されています。

厳しいプロセス条件では、サンプリングシステムを綿密に構築する必要があります。露点は気圧に依存するため、流量計や圧力計、特殊チューブやフィルタ、ポンプなどが必要になる場合があります。例えば、DM70用ヴァイサラ

DRYCAP®ポータブルサンプリングシステムDSS70Aのフローチャートは、図4のようになります。

加圧システムの場合は、プロセス圧力によりサンプリングセルへの十分なフローを誘起できるため、サンプルポンプは必要ありません。

サンプリングシステムを用いる場合、冷却コイルや接続チューブの周囲温度と露点温度との差が10°C以内のときは、チューブ内の結露を防ぐために、ヒーターで温めてください。

## 危険環境への対応

爆発危険区域では、適切な認定を受けた製品以外は使用することができません。そのため、故障時でも特定の種類の気体に引火するだけのエネルギーを発生させない、本質安全構造の製品が設計されています。本質安全構造製品の配線は、安全区域に置かれた絶縁バリアで隔離することが求められます。ヴァイサラHMT360シリーズの本質安全構造湿度変換器は、そのような危険環境向けに設計された製品です。



ヴァイサラHUMICAP® HMT360シリーズ 本質安全防爆構造 湿度温度変換器は、危険環境や爆発危険区域での使用を想定して設計されています。

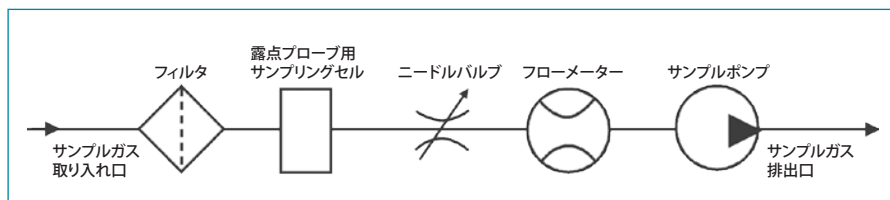


図4: DSS70Aサンプリングシステムは、気体浄化フィルタとサンプル流量制御用ニードルバルブで構成されています。また、非加圧プロセスではガスを流動させるためにサンプルポンプが必要となります。

## 衝撃・振動への対応

プローブが強い衝撃や振動を受けやすい場合、プローブの選択や、取り付け方

法、設置場所等は慎重に検討する必要があります。

## 優れた湿度センサの条件

湿度センサの性能は、湿度計測の質全体にかかわる重要な要素です。特に次のセンサ特性を考慮する必要があります。

### 迅速な応答時間

センサ応答時間とは、湿度の段階的な変化にセンサが応答する速度のことです。センサのほかに、温度や気流、フィルタのタイプなどの要因も応答時間に影響を与えます。フィルタが遮られると応答時間が遅くなります。

### 適切な計測範囲

使用する湿度センサの選定は、用途や動作温度、あるいは極端な湿度条件の場合はそれによって決定されます。

ヴァイサラ湿度センサは、0~100%RHの全湿度範囲に対応しています。ヴァイサラHUMICAP®センサは、10~100%RHの相対湿度の計測に最適です。DRYCAP®センサは、0~10%RHの低湿度計測向けに設計されています。

### 優れた耐薬品性

強度の化学薬品は、センサの故障や汚染の原因になります。計測器メーカーはさまざまな薬品がセンサに及ぼす影響を理解し、薬品濃度の許容レベルについて適切な情報提供をしなければなりません。

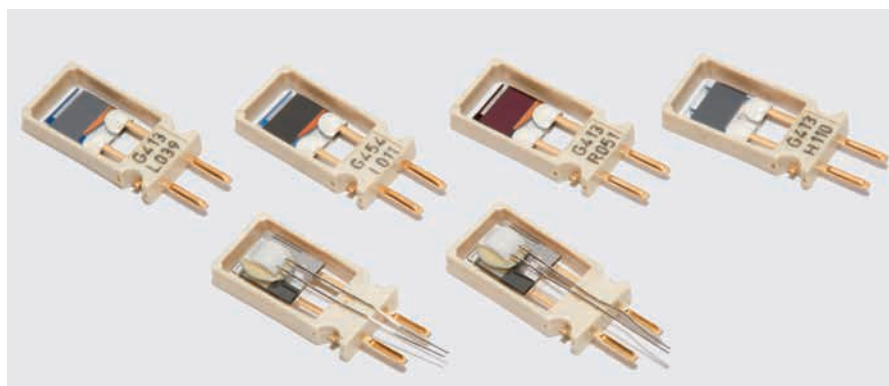
### 高い精度

精度は用語としてはすでに定着していますが、定義するのは容易ではありません。

国際的に承認された校正試験所の一次基準から、製品の製造、お客様施設での測定に至る校正チェーンの各段階で、計測に誤差が生じます。これらの潜在的な誤差の総和が測定の不確かさとなります。湿度センサを選ぶときは、精度に関する以下の要因を考慮する必要があります。

- 動作範囲での直線性
- ヒステリシスおよび再現性
- 一定期間における安定性
- センサの温度依存性

ヴァイサラの製品は、製造段階において、国際基準に直接トレーサブルな工場



ヴァイサラの湿度センサ

基準と照合して調整されています。多くのヴァイサラ製品は、トレーサビリティ体

系に関する詳細を記載した証明書を付けてお届けします。

## 業務に適した湿度計測器



ヴァイサラ湿度計測器の保護フィルタ

適切な湿度項目や環境に最適な計測器を選択するには、計測用途にかかわらず、温度の範囲や想定される水蒸気のレベルを事前にある程度把握しておく必要があります。また、工程プロセス内での湿度計測の際にはプロセス圧力も把握しておかなければなりません。さらに、プロセス圧力下か、あるいは別の圧力下で計測を行うかの判断も必要です。空気以外の気体の場合は、その組成を理解しておくことも必要です。

プローブ、変換器、センサとは、いずれも湿度を計測する製品を説明する用語です。プローブは、製品の湿度センサを含む部分です。プローブは変換器にしっかりと固

定されるか、ケーブルを使って接続されています。変換器は信号を出力します。

ヴァイサラは、HUMICAP®センサおよびDRYCAP®センサにより相対湿度、温度、露点を計測する各種製品を設計・製造しています。ヴァイサラのすべての湿度計測器は、温度差や超高温・低温での使用による誤差を最小限に抑える温度補正機能を内蔵しています。製品の多くは、他の湿度項目を演算する機能を内蔵しています。

### センサと電子回路部をフィルタで保護

フィルタは、浮遊磁界を遮蔽し、粉塵、汚れ、機械的ストレスからもセンサを保護します。多くの用途でメンブレンフィルタやネットフィルタを使用できますが、80°C以上の高温下や高圧力下、または75m/秒に及ぶ急速な流速中では、焼結フィルタをご使用ください。

適切な筐体は、機器の電子回路部を粉塵や汚れ、高湿度から保護します。IP65またはNEMA 4のハウジングクラスに

準拠した筐体は、粉塵や水滴に対する保護性能に優れています。取り付け時にはケーブルの差込口にシーリング処理を行う必要があります。

屋外で機器を使用するときは、ラジエーション・シールドや百葉箱の中に設置し、日射や極端な天候による機器への影響を防いでください。

### 結露への耐性

ほぼ結露しているような環境で正確な湿度測定を行うことは容易ではありません。加温プローブの技術があれば、飽和点に近い相対湿度を測定する場合でも、信頼性の高い計測を維持できます。加温プローブは、湿度レベルを常に周囲環境より低い状態にすることで、結露の発生を防止します。

### 薬品への耐性

ケミカルパーズ機能は、薬品や洗浄剤の使用時でも計測精度を維持するのに役立ちます。ケミカルパーズによりセンサを一定間隔で加熱することで、時間とともに



蓄積する化学物質の影響を最小限に抑えます。

## 電磁適合 (EMC) の重要性

さまざまな基準により、外部からの電氣的干渉に対する製品の耐用能力が定められています。また、精密機器への干渉を引き起こす物質を排出する製品は禁止されています。工業分野では、一般空調設備よりも厳しいEMC基準が設けられています。欧州で導入されているCEマークは、製品が基準に適合していることを示すマークです。

## 接地処理の検討

ケーブル配線が短い場合を除き、できるだけシールドケーブルを使用することをお勧めします。高圧線や高周波源付近での使用は避けてください。シールドケーブルの接地は、複数のポイントにせず共通の1点のみで行うのが適切です。ヴァイサラではガルバニック絶縁タイプの製品もご用意しています。

## 購入前に校正に関して確認する

計測器は通常、1年または2年ごとの校正が必要です。校正の必要性は、機器の用途や安定性によって異なり、フィールドチェックや校正にかかる手間もさまざまです。機器によっては、校正試験室での校正が必要になります。そのため、校正に関して把握しておくことは、機器選択の重要なポイントになります。

## 校正間隔

計測器ごとに発行される校正証明書には、校正時の精度と直線性が記載されています。しかしこれは機器の長期的な安



ヴァイサラHUMICAP® HMT330シリーズ 湿度温度変換器は、高い精度が求められる工業計測に幅広く対応した製品シリーズです。

## 電源および出力信号の種類

計測器の多くは低電圧電源を使用します。低圧交流電源の使用はお勧めしていません。

アナログ出力機器は、通常、電圧出力または電流出力の2種類の出力から選択できます。どちらを使用するかは、信号経路の長さや接続する機器によって決まります。一部の製品では、電源ラインが

そのまま電流出力信号になる2線式の4~20mAループ電流出力を採用しています。

また、アナログ出力だけでなく、RS-232、RS-485やLAN/WLANインターフェースによるデジタル通信タイプのヴァイサラ製品もご用意しています。一部の商用プロトコル (Modbus、BACnet) もご利用いただけます。

定性を示すものではありません。機器の長期安定性を確認するには、定期的な校正が大切です。

校正間隔は、機器の使用環境によって異なります。ヴァイサラ製品の大まかな目安として、HUMICAP®シリーズは年1回の校正で間に合います。DRYCAP®シリーズなら、多くの場合2年に1回の校正間隔になります。恒常的な高湿度 (>85%RH)・高温 (>120°C) 環境や、強力な薬品を使用している環境では、より多くの校正が必要になる場合があります。



HM70 ハンディタイプを使用したHMW90湿度変換器の現場校正

## 湿度計測器の校正

計測器の校正では、機器の湿度指示値を持ち運びのできる基準器と照合します。基準器は定期的に校正し、有効な証明書を取得してください。数ある選択肢の中から校正方法を選択する際は、時間、コスト、技術要件、専門知識、利用者の個別のニーズなど、さまざまな要素を比較検討する必要があります。

取り外し可能で持ち運びのできる計器や製品は、認定試験室での校正や、メーカーへの返送による校正が可能です。ヴァイサラでは世界4カ所に校正用のサービスセンターを展開しています。

測定範囲が狭い場合には、プロセスに設置されている機器を取り外すことなく、現場で1点校正を行うことが可能です。1点校正は、より厳密な校正や調整が必要かどうかの確認にも利用できます。

ヴァイサラのHUMICAP® HM70 ハンディタイプ湿度温度計やDRYCAP® DM70 ハンディタイプ露点計をはじめとするポータブル計測器を、設置されている製品に直接接続し、製品の指示値とポータブル計測器に表示された指示値を照合することができます。

湿度差の大きい環境では、多点校正をお勧めします。温度が安定した局部環境であれば、湿度発生器を使用して2点または3点校正を現場で完了することができます。



多点現場校正用ヴァイサラ湿度校正器HMK15

ます。多点校正のメリットは、全計測範囲にわたりより高い精度が得られることです。ヴァイサラのHMK15 湿度校正器では、多様な湿度レベルをつくり出すことが可能です。

## 露点計測器の校正

低露点計測器に高水準の校正を行うことは簡単ではありません。そのためヴァイサラでは、お客様自身によるDRYCAP®製品の校正作業をお勧めし

ていません。低露点計測器の校正は、ヴァイサラサービスセンターをはじめとする専門の校正試験室をご利用ください。ただし調整が必要かどうかは、ヴァイサラDRYCAP® DM70 ハンディタイプ露点計によるフィールドチェックによって判断することが可能です。

ヴァイサラの湿度計測器についての詳細は、[www.vaisala.co.jp/humidity](http://www.vaisala.co.jp/humidity)をご覧ください。

**VAISALA**

[www.vaisala.co.jp](http://www.vaisala.co.jp)

詳細は以下よりお問い合わせください。  
[www.vaisala.co.jp/contact](http://www.vaisala.co.jp/contact)

Ref. B211203JA-A ©Vaisala 2015

本カタログに掲載される情報は、ヴァイサラと協力会社の著作権法、各種条約及びその他の法律で保護されています。私的使用その他法律によって明示的に認められる範囲を超えて、これらの情報を使用（複製、送信、頒布、保管等を含む）をすることは、事前に当社の文書による許諾がない限り、禁止します。仕様は予告なく変更されることがあります。本カタログは英文カタログの翻訳版です。翻訳言語に不明瞭な記述が発生する場合は、原文である英文カタログの内容が優先されます。