

室内温熱環境測定法学術規準

日本建築学会環境工学委員会
温熱環境小委員会

目次

はじめに	1
1. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. 用語の定義および単位	2
3.1 取り扱う基本的温熱要素	2
3.2 定義	2
4. 各温熱環境要素の測定方法	4
4.1 気温	4
4.2 湿度	6
4.3 風速	9
4.4 熱放射	12
5. 測定位置	15
5.1 気温	15
5.2 湿度	15
5.3 風速	15
5.4 熱放射	15
おわりに	15
編集者一覧	

はじめに

温熱環境は、人間にとって生命を維持するために重要な空間の特性であり、建築を計画・設計・施工・維持管理して行く上で考慮すべき不可欠のものである。その温熱環境が実際にどのような状態になっているかを知り得る唯一の方法は、温熱環境要素の測定である。したがって、的確にその環境の状態を測定することが求められており、最初にその方法を規定することが必要であると考えられる。

日本建築学会環境工学委員会熱環境小委員会でアカデミックスタンダードの試案づくりが提案された際、本規準は率先して策定されるべきものとして起案された。国外ではすでに基準ないしは規準を持つ学会もあり、国際的基準として定められているものもあるが、わが国の風土に根ざし、社会状況に配慮した基準が必要である。また、特定の企業により供給される測定器の使用に限定した方法や基準は避けなければならない。さらに、測定法そのものや、得られるデータの再現性が確保される、ハード・ソフトの双方にわたるシステムを構築することが求められる。本規準は、これらの点にも留意して作成された。

1. 目的

本規準は、室内空間における温熱環境の快適性・不快性などの適否の判断、温熱環境の評価、およびそのための温熱指標を求める上で必要な物理的温熱環境要素のデータを取得するための測定法と、それに関わるデータの取り扱いを規定する。

2. 適用範囲

本規準で取り扱う範囲を以下に示す。

本規準で取り扱う温熱環境とは、温熱感覚に影響を及ぼす環境を意味する。すなわち、気温、湿度、気流、熱放射の状態を対象とするものである。また、対象空間を室内に限定した。したがって、極寒冷環境や50℃を越えるような暑熱環境、高風速などは適用範囲外とする。

標準の熱移動を前提とした測定器や標準の環境下で校正された測定器が市販されていることを考慮し、対象環境は1気圧程度の環境であること、および標準空気に曝露されていることを条件とする。

快適性・不快性の判断など温熱環境の評価に用いられる指標については、本規準の対象外とする。

温熱環境の物理的温熱要素を測定するためのセンサや測定器、およびその方法を定める。取得されるデータの用途は実験室における科学研究にも十分な精度を有するものであり、現場における実用目的にも適用されることが望ましい。

3. 用語の定義および単位

3.1 取り扱う基本的温熱要素

本規準では、測定、または、最終的に情報化する物理的温熱環境要素を以下の2つに大別する。

物理的現象、または、原理を利用して、直接的、あるいは、できる限り単純明快に、換算・演算等を必要としないで測定できる物理量。本規準では次のものが該当する。

気温
湿度
気流
熱放射

上述以外の物理量。で求められたデータを用いて誘導、または、複数の量の重み付けで求められた物理量、および温熱指標を測定するために開発された測定器の示度などが該当する。

3.2 定義

本規準で用いる用語の定義を行う。

(1) 気温

気温とは、人体周囲の空気の温度、または、ある空間の空気の温度。温度計の感温部を湿らせずに測る。乾球温度ともいう¹⁾。気温の単位はケルビン(K)またはセルシウス度(°C)で表す²⁾。

ケルビンで表した温度の数値 T とセルシウスで表した温度の数値 t との関係は、

$$T = t + 273.15 \quad (3 - 1)$$

で表される。

(2) 湿度

湿度とは空気の湿り、あるいは乾燥の程度を示す。湿度の表示および単位には以下のようなものがある³⁾。

1) 湿球温度

湿球温度計によって測られた温度。単位は、°C、または、Kで表す。

2) 水蒸気圧

混合気体における、水蒸気の分圧。単位は、Paで表す。

3) 相対湿度

ある気温における、飽和水蒸気に対する空気の水蒸気分圧の百分率。単位は、%rh で表す。

4) 絶対湿度

湿り空気のうち、乾燥空気1kg 当たりの水蒸気量(kg)をいう。単位は、kg/kgDA、または、kg/kg など表す。混合比ともいう。

5) 露点温度

ある空気が露点になる温度。単位は、°C、または、Kで表す。圧力を一定のまま、水蒸気を含んでいる空気を冷却すると、その水蒸気分圧は一定に保たれているが、温度低下に伴い、飽和水蒸気圧は低下する。

飽和水蒸気圧が水蒸気分圧以下になると、余分な水蒸気は凝結して露になる(結露する)。この結露が発生する時の温度を露点、または露点温度という。

(3) 気流

気流とは、空気の流れ、または、風のことをいう。

1) 風速

空気の単位時間当たりの移動距離。空気の流れの速度。単位は、 m/s で表す。

2) 気流温度

測定対象の空気の温度()。

3) 平均風速

ある観測時間における風速の平均値。単位は、 m/s で表す。3分間以上の測定値を平均して用いることが望ましい⁴⁾。

4) 乱れの強さ

風速の瞬時値の時系列データをもとに求める。乱流の変動成分の大きさを評価する量であり、変動成分の標準偏差を平均風速で除して得られる値。

5) 応答時間

測定対象の風速を、ある値から他の値へ瞬間的に変化させた時に、風速計の指示値が、変化前から変化後の定常状態における値の90%に達するまでに要する時間⁵⁾。

(4) 熱放射

熱放射とは熱移動形態の一つ。全ての物体は、その温度に応じた電磁波を放射している。その放射熱量は、ステファン・ボルツマンの法則に従い、固体表面絶対温度の4乗に比例する。

1) 完全黒体

熱放射を取り扱う上で、理想化された物体を、とくに完全黒体という。黒体は、その表面に到達する熱放射線をすべて完全に吸収する性質をもつ。そして完全黒体から射出される熱放射、すなわち黒体放射は全波長域にわたり、与えられた温度における熱放射の最大値を示す⁶⁾。

2) 平均放射温度

人体や物体が周囲から受ける放射熱の影響を、その全方向に平均したものと等価な放射熱量をもつ黒体の温度。単位は、 $^{\circ}C$ または、 K で表す。

3) 表面温度

物体の表面温度。単位は、 $^{\circ}C$ または、 K で表す。

4) 平均表面温度

人体周囲の各面を代表する表面温度を、面積の割合で重みづけ平均した温度で、放射に関する環境側の代表温度となる。単位は、 $^{\circ}C$ または、 K で表す。

5) グローブ温度

グローブ温度計により測定される、周囲環境から受ける放射と対流による平衡温度。単位は、 $^{\circ}C$ または K で表す。

参考文献

- 1) 日本工業規格: JIS Z 8710-1993 温度測定方法通則
- 2) 日本工業規格: JIS Z 8202-2000 量および単位 - 第4部: 熱
- 3) 日本工業規格: JIS Z 8806-2001 湿度 - 測定方法
- 4) ISO 7726-1985: Thermal environments Instruments and methods for measuring physical quantities
- 5) 日本工業規格: JIS T 8202-1997 一般風速計
- 6) 日本工業規格: JIS C 1612-2000 放射温度計の性能試験方法通則
- 7) 日本工業規格: JIS Z 8116-1994 自動制御用語 - 一般
- 8) 日本工業規格: JIS Z 8103-2000 計測用語

4. 各温熱環境要素の測定方法

本項では、温度、湿度、風速および放射を測定する、センサ並びに測定器の原理、特徴、取り扱い上の注意および校正方法などを概説しているが、現在使用可能な全ての測定器やセンサを対象としたわけではなく、あくまでも室内温熱環境の測定によく使用されているセンサや測定器を対象としている。

4.1 気温

(1) 測定原理

気温の測定方法は、利用する物理現象により、3つに分類される。

1) 物体の熱膨張を利用

a) ガラス製温度計(ガラス容器中に封入された液体の体積変化を読み取る方式)

b) バイメタル式温度計(膨張係数の異なる、2種類の金属の薄板を張り合わせ、温度の変化に伴って生じる変形を読み取る方式)

2) 温度による電気抵抗の変化を利用

a) 測温抵抗体(白金などの測温抵抗体を利用する方式)

b) サーミスタ測温抵抗体(数種類の金属の酸化物を、焼結して作られた抵抗体を利用する方式)

3) 熱起電力を利用

a) 熱電対(ゼーベック効果を利用し、熱起電力を測定する方式)

(2) 測定方法

1) 熱膨張式温度計

a) ガラス製温度計^{1)~4)}

簡易に、比較的精度良く、長期間安定した測定ができる。ガラス容器に水銀が封入されているものと、有機液体が封入されているものがある。所定の精度を満たすものは標準温度計としても使われる。また、通風乾湿計にも用いられている。欠点としては、破損しやすく、振動、衝撃に弱いこと、連続測定、自動測定ができないこと、応答が遅いため変動の測定には適さないこと、が挙げられる。

b) バイメタル式温度計^{1),4)}

膨張係数の異なる2種類の薄い金属板を重ねて貼り合わせたもので、膨張率の違いからバイメタルがそりかえる。このそりかえりの度合いにより、温度を検出する。なお、自記温度計はバイメタル式を採用したものである。感温部と連動したペンで紙上に記録される。長時間の連続測定も可能であるが、器差が大きいため、標準温度計による校正が必要である。

2) 抵抗温度計^{1),5)~7)}

白金測温抵抗体およびサーミスタによる測定は、それらの電気抵抗値が温度の関数であることを利用している。抵抗値を測定するためには、電源電流が必要である。変換・記録計(データロガー)を用いて自動測定が可能である。

a) 白金測温抵抗体

白金は電気抵抗と温度の関係が最もよく知られた金属であり、安定性が良く、標準温度計として利用される。

b) サーミスタ測温体

サーミスタは、金属(マンガン、ニッケル、コバルトなど)の酸化物からなる半導体である。検出素子が小さく遅れが少ないので、微小温度差が測定できる。測定目的に合わせて、各種形状のものを作ることができる。

3) 熱電対^{1),5),8)~11)}

熱電対は、2種類の導体の一端を電氣的に接続したものである。熱電対の構成材料には数種あるが、+脚として銅、-脚としてコンスタンタン(銅とニッケルの合金)を用いたT型熱電対が、室内温熱環境の測定にはよく使用される。温度を測る場所に測温接点を置き、基準接点を一定の温度(例えば氷点)に保って測定し、両接点間の温度差に応じて発生する熱起電力を、電位差計などで測定する。センサの応答は

比較的良好。熱電対を直接計測器に接続する例と、補償導線を用いる例を、図4 - 1と図4 - 2に示す。補償導線は、主に熱電対と計測器との間の周囲条件による悪影響を防止したい時に用いる。但し、熱電対の種類に適合した補償導線を用いる必要がある⁹⁾。

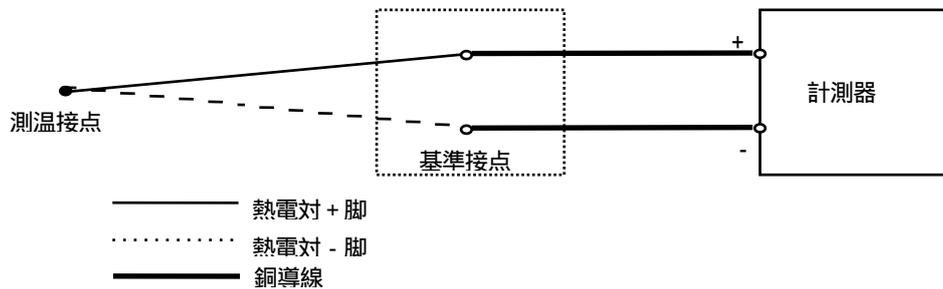


図4 - 1. 直接結線による測定回路の例⁵⁾

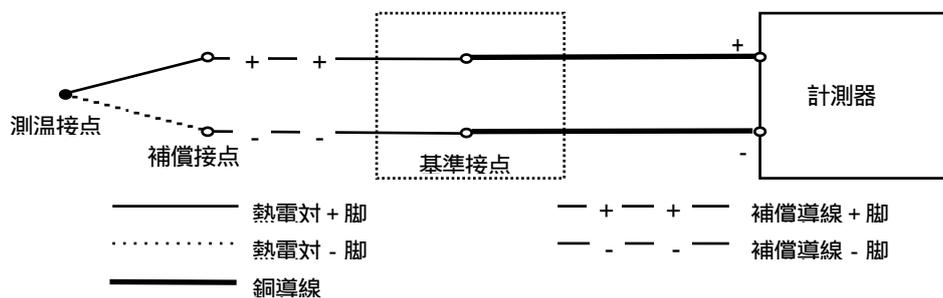


図4 - 2. 補償導線を用いる測定回路の例⁵⁾

(3) 温度計および温度センサの精度

JIS においては、基準値とそれに対して許容される限界の値との差、あるいは「ばらつき」が許容される限界の値を「許容差」と定義し¹²⁾、温度計の階級もしくはクラスを定めている。室内温熱環境で、最も使用頻度の高いT型熱電対の例を表4 - 1に示す。他の種類の熱電対⁸⁾、测温抵抗体⁶⁾、サーミスタ測温体⁷⁾についても同様に許容差が定められている。

表4 - 1. T 型熱電対の許容差⁸⁾

測定温度	クラス	旧階級	許容差
-40 以上 125 未満	クラス1	0.4級	± 0.5
-40 以上 133 未満	クラス2	0.75級	± 1
-57 以上 40 未満	クラス3	1.5級	± 1

(4) 測定上の注意^{1), 13)~16)}

測定に際しては、測定対象の温度場を可能な限り変えないようにする。また、測定時間は、センサの熱容量を考慮して決定する。

センサは対象空間内の空気以外から熱放射の影響を受けるので、必要に応じて放射遮蔽を施すことが肝心である。周辺の温度場および流れの場合への影響が問題にならない程度であれば、センサ周辺の風速を上げることで放射の影響は小さくできる。

(5) 校正方法^{1), 12)}

実験で得られた測定値と基準値との関係を明確にしなければ真値は得られない。そのためには、温度計の校正が必要となる。温度計の校正とは、使用する温度計の示度と真温度との関係を決定する作業のことをいう。校正を行うには、幾つかの水準の基準温度を実現し、その温度における温度計の示度を読み取る。

校正には比較法と定点法とがある。比較法は、一定かつ均一な温度に保たれた恒温槽の温度を標準温度計(必要とする精度で既に校正されている温度計)を用いて決定し、使用する温度計の示度と比較する。定点法は氷点、水の沸点などの温度定点を実現し、その温度を基準として使用する温度計の示度を位置付ける方法である。標準温度計としては、ガラス製温度計、白金抵抗温度計が用いられる。標準温度計の精度はJIS¹⁾に定められている。

参考文献

- 1) 日本工業規格: JIS Z 8710 - 1993 温度測定方法通則
- 2) 日本工業規格: JIS B 7411 - 1997 一般用ガラス製棒状温度計
- 3) 日本工業規格: JIS Z 8705 - 1992 ガラス製温度計による温度測定方法
- 4) 日本工業規格: JIS Z 8707 - 1992 充満式温度計およびバイメタル式温度計による温度測定方法
- 5) 日本工業規格: JIS Z 8704 - 1993 温度測定方法 電気的方法
- 6) 日本工業規格: JIS C 1604 - 1997 測温抵抗体
- 7) 日本工業規格: JIS C 1611 - 1995 サーミスタ測温体
- 8) 日本工業規格: JIS C 1602 - 1995 熱電対
- 9) 日本工業規格: JIS C 1610 - 1995 熱電対用補償導線
- 10) (社)計量管理協会編: 温度の計測, コロナ社, 1988
- 11) 日本建築学会: 建築環境工学実験用教材 I 環境測定演習編, pp.6-7, 1982
- 12) 日本工業規格: JIS Z 8103 - 2000 計測用語
- 13) 宮野秋彦, 小林定教: 熱電対による温度測定の誤差(第3報)(気温測定の場合), 日本建築学会東海支部研究報告, pp.184-186, 1968
- 14) 前田敏男, 寺井俊夫, 渥美勝利: 日射のある場合の外気温測定装置について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学, pp.209-210, 1968
- 15) 龍谷光三, 清家清, 梅干野晃: 輻射環境下における気温測定装置の試作とその検討(照り返しに関する基礎的研究・その1), 日本建築学会論文報告集第245号, pp.91-100, 1976
- 16) 小林定教: 気温測定, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第8回熱シンポジウム, pp.49-54, 1978

4.2 湿度

(1) 測定原理

室内温熱環境測定で用いられる湿度の測定の原理としては、主に以下の2種類がある¹⁾。

1) 熱力学的平衡温度

水の蒸発・凝結は空気の水蒸気分圧に依存する。水で湿らせた布で包まれた温度計は、空気にさらすと熱力学的平衡温度を示す。

2) 吸湿性物質の物性値の変化

測定空気中に含まれる水蒸気の吸湿性物質への吸収・吸着、または吸湿性物質からの脱湿によって、その物質の力学的性質・電気的性質・光学的性質が変化する。

(2) 測定方法

相対湿度の測定方法として、熱力学的平衡温度を利用したアスマン通風乾湿計と、吸湿性物質の物性値変化を利用した電子式湿度計による測定方法について示す。

1) アスマン通風乾湿計

通風乾湿計は、水の蒸発による温度低下を利用して湿度を測定するものである。通常、図4 - 3に示すように乾球と湿球の2本の温度計と、通風装置で構成されている。

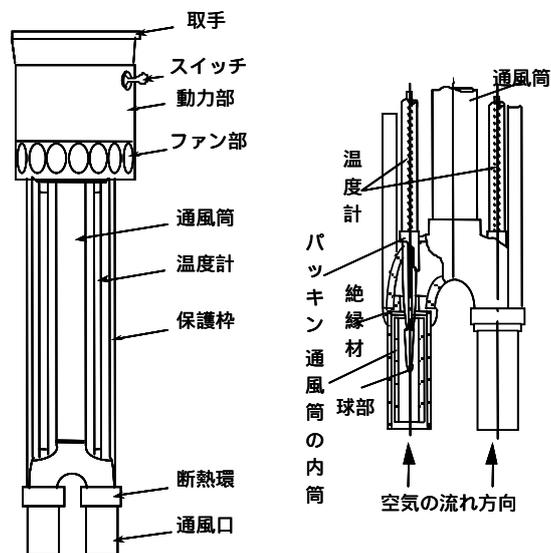


図4 - 3 . アスマン通風乾湿計

相対湿度は、乾球温度と湿球温度をもとに JIS の通風乾湿計用の付表から得られる。また、計算で求める時には、乾湿計公式¹⁾(スプリングの式)から測定しようとする空気の水蒸気分圧を算出した後、相対湿度を算出する。

$$e = e_{sw} A \cdot p (t - t_w) \quad [\text{Pa}] \quad (4 - 1)$$

ここに、 e : 求めようとする空気の水蒸気分圧 [Pa]

e_{sw} : 湿球温度における飽和水蒸気圧 [Pa]

A : 乾湿計係数 [K^{-1}] (湿球が氷結していないとき, $0.000662 [\text{K}^{-1}]$)

p : 大気圧[Pa] (地上での標準大気圧は $101325 [\text{Pa}]$)

t : 乾球温度[]

t_w : 湿球温度[]

飽和水蒸気圧に関しても 0.1 ことの詳細な表が JIS にある。計算で求める時は次の対数式¹⁾ (ゾンタクの式)が用いられる。

$$\ln(e_w) = -6096.9385T^{-1} + 21.2409642 - 2.711193 \times 10^{-2}T + 1.673952 \times 10^{-5}T^2 + 2.433502\ln(T) \quad (4 - 2)$$

ここに、 e_w : 飽和水蒸気圧 [Pa]

T : 絶対温度 [K]

相対湿度は次式より求められる。

$$H = e / e_d \times 100 \quad [\% \text{rh}] \quad (4 - 3)$$

ここに、 H : 相対湿度 [%rh]

e : 乾湿計公式から求めた空気の水蒸気分圧 [Pa]

e_d : 乾球温度 t における飽和水蒸気圧 [Pa]

アスマン通風乾湿計では、湿球のウィック(ガーゼ等)の巻付け、給水や測温タイミングは、測定者自身が調整するものであるから、統一した手法により信頼性を高めることが必要である。以下に取り扱い上の主

な注意事項を示す¹⁾²⁾³⁾。

湿球から蒸発した水が、測定場所の湿度に影響するような狭い空間で使用するのは適当ではない。また、塵埃等が多いような場所での測定も適当ではない。

温度計は最小目盛0.2 の水銀封入ガラス温度計(2重管)で、検定品であるものが望ましい。2本の温度計のどちらか1本に、ウィック(ガーゼなど)を巻いて湿球とする。向かって利き手側を湿球にすると、給水がしやすい。

通風口は外筒、内筒の2重構造で、いずれもメッキがなされ、放射熱の影響を防ぐようになっている。また、湿球のウィックを取り替えるため、ねじ式で取りはずすことができる構造となっている。測定時は、緩みの無いよう固定する。

ウィックは、長時間使用すると汚染され、正確な湿度が得られなくなる。使用前には点検を行い、汚染されていれば交換する。交換の際、ウィックとする市販のガーゼや木綿糸には糊や脂肪が付着しているため、前もって石鹼水で15分程度煮沸後、きれいな水で洗浄しておく。

ガーゼの巻き方は、図4-4に示すように、あらかじめ適当な大きさ(25mm×100mm)に切り、きれいな水で濡らしたのち、球部を一重半に巻くようにするとガーゼと球部の隙間なくうまく取付けられる。取付ける時にガーゼを汚さないように注意する。

給水用の水は、蒸留水かそれに近い水を使用する。湿球への給水は、測定直前に行うのが原則である。給水時に誤って通風口の内側を濡らすと、実際より高い湿度値を示すので、絶対に濡らしてはならない。湿度計に付属しているゴム球付きのスポイトを使う場合、ゴム球内に残っていた空気が給水時に気泡となってスポイト管内を上昇し、溢水による濡れを招くことが多い。これを防ぐには、給水する前にスポイトのゴム球部を指でつぶして、スポイト管内に水を上昇させてから給水するとうまくいく。また、湿球からスポイトを離すときに、湿球の水を吸い取るようにすると良い。

温度の測定は通風装置を作動させながら行い、示度が安定したときに読み取る。給水後の示度安定までの時間は、常温で約5～7分間である。

測定に要する時間が比較的長いので、測定に要する吸引空気量も多くなり、観測者の体温や呼気による湿度変化に敏感になる。障壁(ガラス等)を置いて観測することが望ましい。

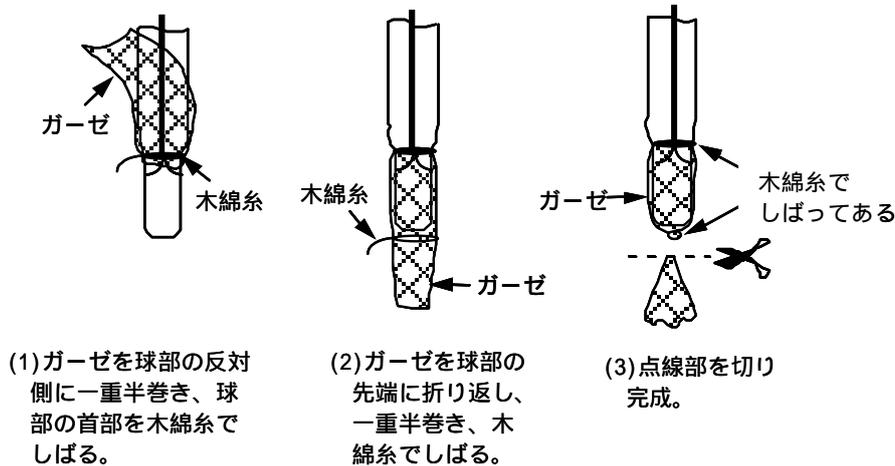


図4-4. 湿球温度計のガ-ゼの巻き方

2) 電子式湿度計

センサ(感湿素子)の電気的特性が吸湿・脱湿によって変化することを利用し、センサが測定空気の湿度と平衡を保つときの電気的特性を測定し、その値を校正に基づき湿度を表す量とする。

湿度計の構成は、センサ、信号処理部、表示部等からなる。センサ部分が小型で、湿度計が相対湿度を直示し、またデータロガー等に接続して連続測定が可能であることが多い。

測定範囲は通常のものであれば、常温で2～98%rhであるが、センサによって使用温度・湿度範囲、応

答性および経時変化等に特徴がある。また、湿度計の湿度表示の分解能は0.1%rhのものが多いが、湿度センサの検出精度は±2%rhから±5%rhであるので、必ず湿度計の仕様を確認するとともに、測定結果の表現には注意が必要である。以下に取り扱い上の主な注意事項を示す¹⁾²⁾⁴⁾。

センサ表面の汚損および変形によって、計測性能は劣化する。センサに触れたり、息を吹きかけたりしてはならない。

センサに埃や液滴などが付着しないように、フィルタなどを付けることができるものもあるが、焼結金属フィルタ等の熱容量が比較的大きいものを取付けると、測定時に温度変化がある場合、応答速度が遅くなるので計測時間に注意する。

測定しようとする空気とセンサの間に温度差があると、測定値に誤差を生ずる。例えば20℃、50%rhにおいて、±1℃の誤差は±3%rhの誤差に相当する。この温度差は、センサプローブからの熱伝導で生じることが多く、手で持つときや固定する場合は注意する。

放射熱に対して考慮されたセンサは少ないので、日射や室内に強い放射熱源がある場合は、適当な防護が必要である。

(3)校正方法

湿度計および湿度センサの校正は、秤量法湿度の絶対測定装置を用いることが標準となっている。しかし、測定者自身がその方法でセンサを校正することはかなり難しいため、必要に応じて検査機関等で校正する方が良い。

電子式湿度計の湿度センサを便宜的に校正する方法としては、塩化リチウム、塩化ナトリウムなどを用いた飽和塩法がある²⁾。この方法には、デシケータ等の密閉容器中の自然拡散による方法と容器の中に、ファン等を入れる方法があるが、一般には自然拡散の方法が用いられる。塩の水溶液を密閉容器に入れておくと、1時間程度で密閉容器内の湿度が平衡に達する。このとき塩の飽和水溶液は、個体塩が多い状態か、シャーベット状を保つように調整する必要がある。校正中の温度をなるべく一定に保ち、且つ、熱放射が不均一にならないように気を付ければ、比較的精度の良い校正が可能である。

参考文献

- 1) 日本工業規格: JIS Z8806-2001 湿度-測定方法
- 2) 日本工業規格: JIS B7920-2000 湿度計-試験方法
- 3) 日本建築学会: 建築環境工学実験用教材 環境測定演習編, pp.25-26, 1982
- 4) 湿度計測・センサ研究会編: 湿度計測・センサのマニュアル, 学献社, 1989

4.3 風速

(1)測定原理

風速計の種類を表4-2に示す。使用されている風速計の種類は多いが、室内環境の測定によく利用される熱式風速計と超音波風速計について示す。

1)熱式風速計

熱式風速計は気流の冷却効果を利用する風速計である。センサを一定の温度に加熱すると風の速度に応じて熱が奪われる。この奪われた熱(放散熱量)を電気信号に変換することによって、風速値が求められる。但し、風の温度によって放散熱量は変わるため、温度補正を行う必要がある。

熱式風速計の種類は大きく分けて定温度型と定温度差型の2種がある。定温度型は、温度データと温度補正前の風速データを別々に測定し、測定時または測定後に演算を行って真の風速値を算出する。定温度差型は風速センサと温度センサ(温度補償センサ)を同一の回路上に配置している。風速センサは温度補償センサの感知する温度より60℃～150℃高い温度に加熱されている。これによって風速センサは常に風温と一定の温度差の加熱を行うこととなり、温度補正された風速値が求められる。

風による冷却量は King の式¹⁾によって表わされる。放熱量は、センサの表面温度と周囲温度との差に比例し、物体への加熱量と放熱量とが等しくなる温度で平衡状態となる。

$$H = (A + B u) (T_w - T_a) \quad (4 - 4)$$

ここに、H: 熱放散量(W/m²)

u: 風速(m/s)

T_w: 加熱物体の表面温度()

T_a: 気温(), 非熱物体の表面温度()

A, B: 気体の性質, 物体の形状, 風速によって決まる定数

この放熱量を風速センサの電流変化として捉え、電気信号として出力するのが、熱式風速計の測定原理である。

表4-2. 風速計の種類

方式	原理	機器名称	センサ
熱式	冷却効果	1) 熱線	タングステン 白金 サーミスタ トランジスタなど
		カタ寒暖計	アルコール
超音波	超音波	2) 超音波	
機械式	回転数	ピラム	
		ベーン	
圧力	圧力差	ピトー管	
レーザー光	ドップラー効果	レーザー	

2) 超音波風速計

超音波風速計は、向かい合う超音波振動子間を伝搬する超音波の伝搬時間の差から風速を測定する。センサの組み合わせによって、120° ずつの間隔で配置した超音波振動子で風速の3方向成分を計測し、微風速から強風まで同一の測器で計測が可能である。機械的可動部がなく、室内計測用の小型の機器も供給され、微風域にも使用可能とされている。

(2) 測定方法

1) 熱式風速計

熱式風速計は、室内温熱環境の測定において、簡単な計測から乱流強度などの複雑な計測まで幅広く使用されている^{2,3)}。熱式風速計の感温部(センサ)として、タングステン、白金、サーミスタやトランジスタなどが用いられている。主な特徴として、風速測定範囲が広く、低風速(5m/s以下)の感度が良い、検出素子が小さく狭い場所での測定ができる、温度補償範囲が広い、応答性が良い、小型化されているなどが挙げられる。室内温熱環境の測定でよく使用される携帯型の風速計は、一定の温度差を与える方法を用いた測定器が多い。センサの形状は種々あり、熱容量が大きくても応答速度が早いものもある。

熱式風速計による測定可能な最小風速は0.05m/sである。それ以下の風速域では風速センサの加熱による熱で対流が発生し、センサがそれを風として感知してしまうため、測定値は真値より高くなる。以下に取り扱い上の注意点を列挙する。

温度による影響

一方のセンサのみが局所的な温熱環境に曝露された場合、放熱量はセンサの表面温度と風温の差に比例するため、風速が一定であっても風温の変化で指示値に誤差が生じる。例えば、風速センサの表面温度を50 に設定し、風温が10 30 に上昇した場合、温度差は40 20 に低下することから風速が一定であるにもかかわらず指示値は低くなる。このような現象を回避するために温度補償回路が設けられている。

湿度の影響

湿度は 100%rhまでは測定値にほとんど影響はないが、飽和するか空気中に水滴があると測定値に

大きく影響する。基本的に、センサからの放熱量が多くなるので実際の風速よりも高い指示値となる。
粉塵などの影響

空気中にオイルミストや粉塵などがあると、それらがセンサに付着して測定値に誤差が生じる。場合によっては断線する場合もあるので、測定後はセンサを洗浄するか、校正する必要がある。熱式風速計のセンサは、一般に定期的に洗浄を行うことにより、精度を保つことができる。電源を切った状態で超音波洗浄機などを用いて汚れを取り除き、完全乾燥させてから使用する。但し、センサが洗浄できるかは、事前に確認する必要がある。

2) 超音波風速計

長所としては、3方向の風速成分の測定が可能、微風速までの測定が可能、応答性がよく、風速と出力が直線関係にあり、風速が絶えず変化するような気流中でも測定できることが挙げられる。短所としては、受感部が大きく(10~50cm程度)、また狭い空間の測定では誤差が大きくなるため風の変動の測定は難しい。

プローブの形や距離、角度など超音波振動子の位置が校正時と異なると誤差が生じるので注意する必要がある⁴⁾。特にプローブ間の距離が変化すると誤差が大きい。従って、形状を損なわないよう取り扱いには注意が必要である。また、微風速域での測定ではゼロ調整を事前に行うことが望ましい。

風速計プローブは流れに影響されにくい向きを主流方向に向けて測定することが重要である。また、他のセンサと組み合わせて測定する場合には流れに障害を与えないよう他センサを配置するべきである。室内環境では、概して鉛直風速は水平風速に比べ1/10以下と小さいので、3成分型超音波風速計の角度が1°だけ鉛直軸から傾いて設置された場合、水平風速の約1.7%が鉛直風速成分に混入することになる。従って、鉛直軸を正しく設置することが重要である。

(3) 風速計の時定数

室内気流は常に変動しており、通常は0~1m/s程度の低風速域にある。従って、0~0.5m/s程度の微風速域を精度よく測定できるセンサを選ぶことが重要である。平均風速のみを測定する場合は、風速計の時定数は2~4秒程度でも良いが、気流の乱れによる気流感を評価するために風速測定を行う場合には、時定数が0.01~0.2秒程度の風速計で測定しなければならない。

(4) 校正方法

熱式風速計のセンサは、使用時の汚れや変形、経時劣化などをおこすため定期的な校正が必要である。校正をする場合には、センサと接続ケーブルや計測器本体を一式のシステムとして扱うべきである。これは、接続ケーブルの長さによってセンサの出力値に差異が生じるためである。

風速計の校正には、校正風洞装置が用いられる。気温が均一で、不均一な放射の影響を受けない環境において風洞を用い、各点の分布を確認した上で、ピトー管や校正済みの風速計を用いて比較する。

参考文献

- 1) King L.V. : The convection of heat from small cylinders in a stream of fluid, Phil. Tran. Roy. Soc. 214, p.373, 1914
- 2) 本間宏: 放射熱, 温冷感シンポジウム資料「温熱環境測定法」空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会温冷感小委員会, 1992
- 3) 堀越哲美: 温熱環境の計測, 環境工学教科書, 環境工学教科書研究会編, 彰国社, 1996
- 4) 伊藤芳樹: 風速測定機器開発と使用に関する問題点 - 超音波風速測定機器 -, 日本建築学会環境工学委員会熱環境測定 風速測定, pp.8-11, 2000
- 5) 建築環境工学実験用教材 I, 日本建築学会, pp.38-93, 1992

4.4 熱放射

(1)測定原理

熱放射の測定は、空間のある点に入射する熱放射を直接測定する方法と、空間のある点を囲む周囲面の表面温度の測定により熱放射を算出する方法がある。

1)空間のある点に入射する熱放射を直接測定する方法

測定点に、熱放射の測定機器またはセンサを設置し、放射温度または放射熱量を直接測定する方法であり、グローブ温度計が広く用いられている。

2)空間のある点を囲む周囲面の表面温度の測定により熱放射を算出する方法

測定点を囲む周囲面の表面温度を測定し、形態係数や放射率などの係数を用いて、放射温度または放射熱量を算出する方法であり、表面温度の測定は、接触または非接触による測定が行われる。

(2)測定方法

1)グローブ温度計^{1~4)}

グローブ温度計は、無発熱球の放射と対流による平衡温度を測定するものである。図4 - 5に示すように、通常、棒状温度計の検知部を、直径15cm の表面に艶消し黒色塗料を施した銅板中空球の中心に挿入したものである。以下に取り扱い上の主な注意事項を示す。

グローブ温度計は、球内の空気の熱容量により、応答速度が比較的遅い傾向があるので、測定時間に留意する。

人体や周囲面からの熱放射を遮蔽するようなものが近くにあると、グローブ温度に影響を及ぼす。

この温度計の示度、すなわちグローブ温度(t_g)と、気温(t_a)、風速(v)の測定値から、次式によって平均放射温度(t_r)を計算できる。

$$t_r = t_g + 2.37 v(t_g - t_a) \quad (4 - 5)$$

ここに、 t_r : 平均放射温度[]

t_g : グローブ温度[]

t_a : 気温[]

v : 風速[m/s]

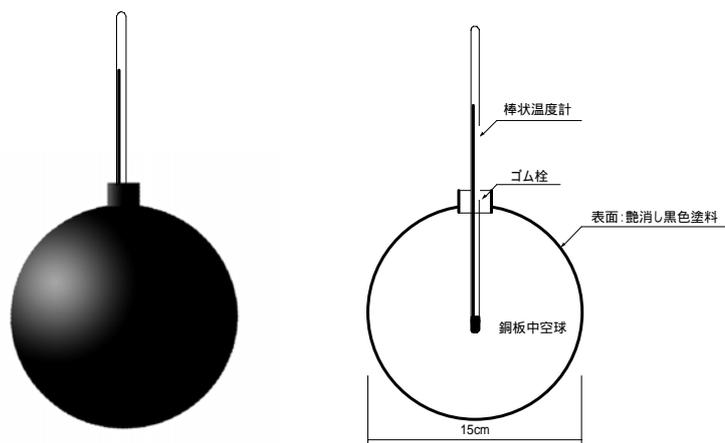


図4 - 5 . グローブ温度計とその断面

2)表面温度

a)接触による表面温度の測定

センサを物体に接触させて表面温度を測定する場合は、センサの特性、センサの貼り付け、出力信

号記録計との接続に対して、特に注意する必要がある。

センサは、測定範囲で安定した示度を示すこと、電気絶縁に優れていること、表面が耐薬品性であることを満たすものを用いる必要がある。

周囲から導線を通してセンサに熱が伝わるので、それぞれの材料の熱特性を考慮し、図 4-6 のようにセンサの温度が物体の温度に等しくなるよう貼り付けに工夫する。例えば、センサ部分の材料接触部分の長さは、円形断面センサでは直径の 40 倍程度以上の長さを対象表面に直接密着させ、折り曲げ等により剥離しない必要がある。そのために、できるだけ細い直径のセンサか薄いいりボン状に加工したセンサを使用し、通気性テープを用いる方が良い。



(円形断面の場合)



(薄いいりボン状の場合)

図 4-6 . 温度センサの貼り付け

温度センサの貼り付け方により熱放射の影響が生じる場合がある。細い絶縁管(直径0.2mm程度)の温度センサを安定した反射率を有する材料(アルミニウムや金など)で表面加工することにより、放射による受熱量は銅素地の10分の1程度の値とすることができる⁵⁾。温度センサの表面が汚れたりフラックスが付着したりすると、日射および放射の吸収率が変化し、正しい温度を示さないため、測定前に溶剤などに汚れをふき取っておく必要がある。

出力信号記録計との接続は、センサの信号線が露出している場合には、信号線にノイズが混入する可能性があるため、信号線についても電気絶縁性を確保する必要がある。

b) 非接触による周囲表面温度の測定

物体から放射される赤外線測定して表面の放射温度を求め、放射率と周囲からの熱放射の関係から表面温度を推定する方法である。赤外線放射温度計は、非接触で表面の放射温度を測定できるため、表面にテープやセンサを貼り付ける必要がなく、熱的な影響を与えない利点がある。赤外線を測定するセンサは、赤外線の波長により感度が異なるため、測定波長域の感度が十分である機器を使用することが望ましい。

赤外線温度計には、表面のある点で測定するハンディ型と、表面の温度分布を測定できるサーモグラフィ(熱画像)型の装置がある。赤外線を利用した表面温度測定には、測定しようとする表面の放射率を予め入力しなければならない。従って、正確に表面温度を求めようとする場合は、測定対象面の放射率を知る必要がある。物体の放射率は赤外線の波長、方向や表面の状態により異なるため、放射率を同定するには注意が必要であるが、測定では表4-3に示す値がよく用いられる。

なお、平均放射温度の算出を目的とする場合は放射率1で測定することが多い。放射率が未知の場合や放射率が異なる物体で囲まれている場合は、接触による表面温度の測定を併用して測定する必要がある。また、ハンディ型は扱いやすいが、本体部分を手などで保持するため装置温度が上昇し、表面温度測定に影響を与える可能性があるため、三脚などに固定して測定した方が良い。同様に、日射を当てないようにするなどの配慮が必要である。

表4 - 3. 各種材料表面の放射率⁶⁾⁷⁾ [ND]

材料	放射率
完全黒体	1.00
黒色非金属面(ペイント, 紙, スレート, アスファルト)	0.90-0.98
暗色ペイント(赤, 茶, 緑など), コンクリート, タイル, 石	0.85-0.95
黄および純黄色煉瓦, 耐火煉瓦	0.85-0.95
白または淡クリーム色の煉瓦, タイル, ペイント, 紙, プラスター, 塗料	0.85-0.95
窓ガラス	0.90-0.95
光沢アルミニウムペイント, 金色またはブロンズペイント	0.40-0.60
よく磨いたアルミニウム, プリキ板, ニッケル, クローム	0.20-0.40

サーモグラフィ型の赤外線温度計は、基本的にハンディ型と同様に物体表面に影響を与えることなく、表面からの熱放射の分布が測定できる。赤外線温度計のセンサには冷却型と非冷却型がある。複数の測定点をトレースして、表面温度分布を平面で表現する形式が多い。温度変化の激しい環境では誤差が生じやすいため応答速度の速い赤外線温度計を使用することが望ましい。また、測定対象の放射の迷光やゴーストが測定画面に写り込むことがあるので、一般の写真撮影と同様にフードを用いて測定視野以外の部分からの熱放射を除く工夫が必要である。

(3) 校正方法

測定者自身が校正を行うことは難しいが、ハンディ型およびサーモグラフィ型の赤外線温度計の校正には標準黒体を使用される。以下に要点を示す。

1) ハンディ型の赤外線温度計

温度範囲(室温～450)では、表面をクロームメッキし、黒色酸化させた銅製空洞壁の黒体が標準黒体として利用されている。この黒体は、高い熱伝導率をもつ銅を用い、ヒータを3分割して配置することによって空洞壁温度の均一性を向上させており、 ± 1 の精度の標準黒体として使われている。

2) サーモグラフィ型の赤外線温度計

400 以下では標準黒体(接触式温度計との比較校正用空洞形黒体)を用いる。400 以上では垂鉛点、アルミニウム点、銀点および銅点黒体を基準にした単波長の赤外線温度計を標準にして、比較黒体(放射温度計相互比較用空洞形黒体)を用いる。校正は平面型やキャビティ型の黒体炉を用いて行う。

参考文献

- 堀越哲美・小林陽太郎・土川忠浩: 温熱環境測定値としてのグローブ温度計の成立に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 420, pp.1-6, 1991
- Bedford T., Warner, C. G.: The globe thermometer in studies of heating and ventilation, Journal of Hygiene, 34, pp.458-473, 1934
- Vernon H. M.: The measurement of radiation heat in relation to human comfort, Journal of Industrial Hygiene, 14(3), pp.95-111, 1932
- Bedford J.H.: A wet globe thermometer for environmental heat measurement, American Industrial Hygiene Journal 32, pp.1-10, 1971
- 梶井宏修: 表面温度測定(1) 熱電対利用による表面温度測定, 日本建築学会環境工学委員会, 現場における環境要素の測定法, 第8回熱シンポジウム報告集, pp.5～16, 1978
- 渡辺要編: 建築計画原論 II, p.9, 1974
- ASHRAE Fundamentals Handbook(SI), Chapter 3 Heat Transfer, 2001

5. 測定位置

5.1 気温

在室者にとっての温熱環境を対象とする場合、室内では居住域を測定の対象範囲とする。居住域は、床と床上180cmの高さの間であって、壁、窓または固定された空調設備から60cm離れた鉛直面で囲まれた空間とする¹⁾。測定位置は、その空間の中央を基本とする。測定高さについては、床上110cmの位置を基本とする。この高さは椅座時の頭部、立位時の腹部に当たるが、椅座時には10cmおよび60cm、立位時には10cmおよび170cmにおいても測定することが望ましい。

周囲表面と空気との温度差が大きい場所では、熱放射の影響を防ぐため、センサに反射率の高い遮蔽装置(アルミ箔など)を取付けるなどの配慮が必要である。また、測定空間への影響が少ない測定システムを選ぶ。

5.2 湿度

気温と同様の測定場所で計測することを基本とする。アスマン通風乾湿計を使用する場合は、安定したデータを得るために時間がかかるが、電子式湿度計を使用すれば、アスマン通風乾湿計より応答が速い。センサの時定数を考慮して測定器を選択する必要がある。

5.3 風速

気温と同様の測定点にて計測することを基本とする。居住者の近傍で気流速の計測を行う場合は、人の動きなどが気流に影響を与えることを留意する。

5.4 熱放射

気温と同様の測定点で計測することを基本とする。

参考文献

- 1) ASHRAE Standard 55-1992:Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- 2) 建築研究所:オフィスの室内環境評価法「POEM-O」精密版, 建築研究資料, No.87,1996

おわりに

アカデミックスタンダードは日本工業規格(JIS)や他の基準書とは異なるものとして位置付けられる。したがって、学会に所属した、あるいは所属している研究者の研究業績を踏まえ、アカデミックスタンダードの対象となった事項に関する研究の歴史的背景を総括し、評価した上で、客観的内容をもって規定するべきものである。また、原則として学会の総意あるいはそれに近い内容であることが条件となる。

本規準の作成においても、上述の位置付けや条件に従うことを前提としたが、現時点では測定法に関する研究の歴史的背景を総括することおよび測定法を評価することは困難であるため、これまでの研究の流れを明示するには至っていない。なお、学会の総意となることについては最大限の注意を払って作成した。したがって、現時点で議論の余地のある内容・項目については取り上げず、適用範囲で規定した必要最低限の情報を提供するものとしている。

今後も必要な情報は追加し、特に現場で役に立つアカデミックスタンダードを目指し、解説書などの付属資料を充実することにより、必要に応じてそれらを参照できるよう検討する予定である。

以上

編集者

名古屋工業大学	堀越 哲美	国土技術政策総合研究所	桑沢 保夫
足利工業大学	垣鍔 直	琉球大学	堤 純一郎
産業技術総合研究所	都築 和代	山武ビルシステム(株)	徐 国海
京都大学	高田 暁	摂南大学	宮本 征一
姫路工業大学	土川 忠浩	大阪市立大学	大倉 良司
九州芸術工科大学	石井 昭夫	国立公衆衛生院	高橋 美加
近畿大学	梶井 宏修	北海道大学	窪田 英樹
広島工業大学	篠原 道正	足利工業大学	室 恵子

(順不同)