

はかる 計・測・量 (4)

快適性をはかる——温熱——

梶井宏修 近畿大学理工学部建築学科 正会員

講座

キーワード：温熱環境 (Thermal environments), 評価方法 (Evaluation of thermal environments), 測定方法 (Measuring methods)



はじめに

近年、我々は冷暖房技術を発達させ、空間を暑くも寒くもない状態に保ち、快適な状態で学習や仕事ができる。しかし、一定温度にコントロールされた環境では体温の調節をあまり必要とせず、温熱条件のみを快適に制御しても、その空間にいる人がじっとしていると、体の中心の温度が低下して眠くなる。暑い外部から涼しい室内に入り、汗をかいたまましていると、体温調整がうまくいかず、風邪を引く原因¹⁾となることを我々は経験している。温熱刺激には、他の光や音空気質などの要素が関与していることが研究されている²⁾。上記のことを踏まえ、ここでは温熱環境に関連した項目についてふれる。

1. 熱的快適性

空気調和の立場から快適性を問題にする場合、温冷感あるいは熱的快適感覚と人体と環境との熱平衡の諸状態値とが密接な関係にあることは言うまでもない。

基本的には人体と環境との熱バランスにおいて、人体内部の温度が身体の恒常性によって一定温度に保たれている³⁾。寒いときには、身体表面近くの血管を収縮させ、血流を少なくすることで結果的に皮膚表面温度を下げ、周囲への顕熱の放散をおさえる。次に人体の産熱を増やす、さらに寒くなれば、ふるえが起こることになる。一方、暑いときには、発汗により湿性放熱をうながす生理的な反応があるが、これらが起こらない状態が快適とされている。

積極的な快適とは、熱バランスの上で過剰に暖まった人体を冷却するときや、冷えた状態をもとの平常の暑くも寒くもない状態に戻る前の少しの時間に感じる涼しい、暖かいなどの感覚を受ける状態を意味すると考えられる。

1.1 身体感覚と熱収支

環境との熱収支においては、蓄熱量 S がプラスになる状態(体温が高くなる)とマイナスになる状態(体温の低下)があるが、一般的には次式で表される。

$$S = M - E \pm R \pm C \pm K - W$$

ここで、

M : エネルギー代謝量

E : 発汗や呼吸による水分蒸発による発熱

R : 太陽などの短波長放射や低温放射

C : 対流による熱量

K : 座ったときの背中や尻の部分からいすなどに伝導する熱量

W : 筋肉労作による外部の仕事

$S = 0$ のとき、人体産熱と環境への熱放射とは平衡し、体温は恒常に保たれる。このとき、熱交換は皮膚の表面温度を変化させることによって調節する。皮膚温の変化は、血管を拡張収縮させて身体深部の皮膚表面層との間の血液流量を調節する(血管運動調節域)ことによって起こる。

この範囲内では、特にこのような調節がなくても環境への熱放散が代謝産熱と平衡する外的条件が存在する。この範囲より高温側では、発汗によって蒸発放熱の行われている“蒸発調節熱域”がある。そして、その後は、“体温上昇域”に入る。深部体温が 39 に達すると効率が落ち、 43 を超えて長時間持続すると傷害が残る場合があるので、高温環境や暑熱状態⁴⁾では体温の管理が必要である。また、低温側では筋肉の緊張、身ぶるい、運動などによって代謝をふやしたり衣服を重ねて熱絶縁を強化する方法によって調節を行う。

人体の中心温度を自律神経系の制御や行動性の体温の調節で一定に保っている。身体外部の熱的な条件として、気温、湿度、風速、放射温度、代謝量および着衣量があり、熱環境の評価指標の対象項目となる。詳細については本学会の“空気調和衛生工学便覧 1基礎編 第2編環境計画 第2章温熱環境計画(2001年11月第13版)”を参照していただきたい。

2. 温熱環境を評価する指標とその重要性と意義

2.1 室内の熱環境条件と感覚

室内の表面温度と気温の差について、吹出し温度が室内の表面温度より高い場合や低い場合、温度が低い重い空気が下に温度が高いほうが上部になり、空気の流れが静穏ならば温度差は大きくなる。また、冷気や暖気の吹込み温度と表面温度との差が大きければ、上下温度差も大きくなることは知られている。また、天井、窓や壁面からの日射や冷放射により不均一な影響が発生する。一般に、内部発熱、冷却がなく全館が均一に空調されている場合や高気密

高断熱であったり天井ファンで空気がかくはん(攪拌)されていると上下温度差は少なくなる⁵⁾。

寒冷時の快適環境を得るためには、各種暖房を駆使することが考えられるが、現実には人体の調節作用が働くため、人に優しくないエネルギー浪費となる。例えば、足の裏の温度が高くなると人は温かく感じて発汗を促し、そのとき、湿度が低かったり、気流速度が速かったりすると放熱が多くなり、人はより寒く感じて気温設定を高くし、冷暖房のエネルギーが消費されることになる。これらの過度な条件下では、健康を害するまでにはいたらなくとも快適さは損なわれ、作業の能率などが低下することが問題と考えられる。そのため、室内の上下の温度差⁶⁾や左右の温度差についても多くの研究がみられ、評価とその設定範囲が示されている。ASHREA(American Society Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers)によると、床上1.7mと0.1mの気温の差を3 以内に保つことによって、不快感を軽減⁸⁾することができる⁹⁾とされている。冬の床暖房やこたつを利用^{9a)}するなどの状態では、接触部と気温の差が生じている。

3. 指標項目と対策

温度、湿度の評価指標について、ビル管理法¹⁰⁾(建築物の衛生的環境の確保に関する法律)では温度17 以上28 以下で、居室における温度を外気の温度より低くする場合、その差を著しくしないこと、相対湿度40%以上70%以下、気流0.5 m/s以下と示され、多くの建築物に適用されている。

教育環境の環境整備に関する学校保健法¹¹⁾では学校環境衛生の基準として平成14年2月5日に一部改訂されている。教室などの空気について毎学年2回定期的に行い、人工的環境では気温、相対湿度、二酸化炭素、気流、一酸化炭素、浮遊粉じん、落下細菌および熱放射を測定検査する。温熱および空気清浄度を各階1室以上の授業中の教室を対象に適当な場所1箇所以上の机上の高さで測定する。気温と相対湿度はアスマン通風乾湿計を用い、気流はカタ温度計または微風速計、熱放射は黒球温度計を用いる。

温熱条件の判定基準の対策として、冬期では気温10 以上、夏期では30 以下であること、冬期では18~20 、夏期では25~28 、相対湿度は、30~80%であることが望ましいとされている。

熱放射は黒球温度の値で評価し、黒球温度と乾球温度の差は5 未満であることが望ましい。事後対策は、気温10 以下が継続する場合には採暖可能に、相対湿度が30%未満の場合には適当な調節を行うようにする。熱放射が5 以上の場合は、適当な熱遮断を行う。成長過程にある子どもたちに対して一般の建物管理条件より緩和された範囲

で適応能力の拡大を考慮したためと考えられるが、実際には教室にエアコンが普及している現状では、暑熱寒冷条件での活動が減少している現状は見逃せない。

一方、一般建物でも適切な制御が行われている場合は温冷感の不満は生じにくい¹²⁾が、日射が差し込む窓の熱放射遮へいが不十分で、ペリメータ部分の気温が上昇した場合や、逆に冷放射で温度が下がったときには温度設定を変更するなどの作業が必要とされる。

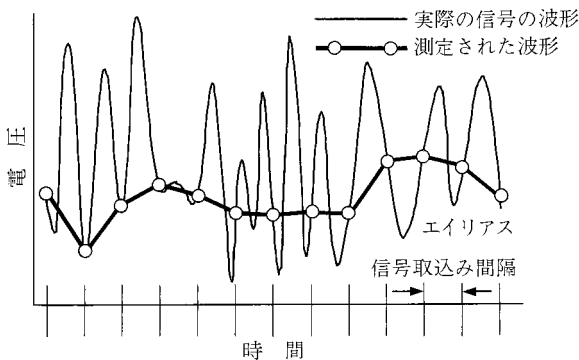
温度と湿度の組合せだけでなく、放射が感覚に影響するとともに、制御の面でも気温、湿度センサが熱放射を受けている。壁面のセンサは、壁からの熱伝導と照明器具からの熱放射を受けていることが多い。日射や室内の発熱物体からの熱放射で気温と相対湿度計センサが実際の気温より暖まっているため、室内気温は夏期冷房時において設定温度より低くなる場合や、冬期では週明けの温度が高めになる現実もある。これらの消費エネルギーの軽減と人に対する過度な温調防止のため、センサに赤外線放射を感知する焦電型やサーモパイル型の放射センサを用い、放射温度を含めて湿度、気温の制御¹²⁾を行うなどの対策がある。

4. 評価指標

人体の温熱快適性を考慮して制御するのは、気温の温度、湿度と風速および熱放射であるが、これらを総合的に評価し適切な温熱環境条件を設定する指標として、予測温冷感申告値:PMV¹³⁾や新有効温度ET*¹⁴⁾などがある。

PMVは1970年、Fanger, P. O.によって提唱された評価基準である。人体側の条件として産熱(1.2 met)を事務所などでの立ち仕事の活動状態としたときは、一般的な気温での衣服状態を人体側の条件として、PMV=0では95%の人が快適と感じ、±0.5以下の範囲では、90%の人が快適と感じるとされている。PMVを求める式に値を代入し制御を行う。したがって、これらの要素の各センサが正確な値をモニタし、計算機に取り込まれれば中庸な環境条件の設定が可能となる。それらの物理的環境要素として気温、熱放射(平均放射温度:1点や複数点または天井、壁、床および窓など各面を個々のセンサで測定し計算する場合など)、風速、湿度、外気温、日射、天空放射などの測定値と、人体側要素として着衣量とエネルギー代謝量を考慮し、PMV値を±0.5の範囲になるように物理量を制御する。

ET*は、人体を2層に分け熱平衡に基づいた温熱指数である。SET*¹⁴⁾は、平均放射温度と気温が等しく、相対湿度50%、着衣量0.6 clo、静穏な気流速度0.1~0.15 m/s、エネルギー代謝量1.0~1.2 metを基準とし、22.5~25.6 で80%の人が快適に感じるとされている。これは、人体活動量および着衣量を加味した総合的評価指標である。



サンプリング周波数によって波形が異なって測定されることになる。風速測定などの乱れでは大きく異なる可能性がある。

図-1 エイリアスの発生概要

ASHREA では、室内の快適温熱環境設定のための基準として採用している。

5. 測定方法

5.1 はかる値の信頼性向上のために

温熱環境を適切に制御・評価するには温熱環境要素測定値が精度よく測定されることが重要であると考えられる。電気式の測定機器は電源電圧の安定化が最も重要であり、高調波や低調波の影響の防止対策が必要である。データの欠測防止のため、一定電圧発生装置を内蔵したものや無停電電源装置を使用するなど安全対策が必要であり、信号を有線または無線で送る場合には、特にスパイクノイズの防止が重要である。アースは大地に接地することを意味し、その値に対して測定値が示されると考えてよい。

A/D システムのサンプリング間隔が入力信号の周波数より低い場合には、測定された信号波形は正確に信号を表示しない。この事象を“エイリアス”という。図-1 は、エイリアスの発生概要を示す。通常、その信号を再現するには、測定しようとしている信号波形の最高周波数の少なくとも2倍にする必要がある。10 Hz のアナログ信号を正確に測定するためには、最低 20 Hz 以上の周波数でサンプリングしなければならない。緩やかな変動でも同様のエラーが発生するので注意を要する。注意項目の一例を次に示す。

- 1) 比較的安価にノイズを軽減するため信号線にツイストペアを用いると、単なる平行線の場合よりもランダムな信号、電界および磁界などに起因するノイズの信号への干渉などの影響を小さくできる。
- 2) 各測定機器を一点アースとすることにより、測定誤差は軽減される。そのためにも、センサ類の絶縁が有効である。
- 3) 計測器と測定点までの距離が長く 100 m を超える場合は、誘導ノイズの影響を受けやすい。測定点と口

ガーの間が長くなると、その長さによる抵抗に測定機器の入力端子間に流れる電流を乗じた電圧が発生するので、抵抗が少なくなるよう短くする。信号を光に置き換えノイズを軽減する。

- 4) 熱起電力の発生を抑えるために、測定器の温度はリード線も含めて温度が等しくなるように設置する。熱電対などでは、端子台の温度がすべて同じでなければ正しい値を表示しないので、測定接続端子台の温度が同じになるようにする。接合には、金接点材料や低熱起電力ハンダを選び利用する。

5.2 気 温

気温の適切な測定には、対象となる空気の色を測るのが目的か、周りの熱放射を含めて測定するのが目的かで大きな差が生じることになる。空気を流しながら気温を測定する方法がよいが、吸引できない場合には放射などによる誤差が生じる。熱放射はセンサだけでなく、感温部がガラスや樹脂のサーミスタでは、特にリード線や接合部をも含めて熱放射を受け温度差が生じる。気温と熱放射が等しい状態で校正された機器なので、均一な温度になるよう感温部を配置する。さらに、熱放射の影響を 90% 以上除くなどの条件下で使用するには、筆者が考案したアルミコート熱電対⁵⁾が適していると考えられる。注意項目の一例を次に示す。

- 1) センサ部の熱容量を小さくする。(風の温度を測ることなので、センサが大きければ風の温度になりにくく、表面積が大きいと熱放射の影響を受けやすい)。
- 2) 測定センサが放射を受けにくい角度に設置する。
- 3) 測定センサが風を受けやすい角度に設置する。
- 4) 放射(日射、天空)の影響を避けるための保護(光ったアルミなどで熱がこもらないように覆う)が必要。
- 5) センサ部に付属する導線が放射の影響を受け、導線の熱がセンサに伝わるので、導線にもセンサと同じ注意が必要。
- 6) 周辺環境の影響を乱さないように設置する。
- 7) 風を流してもよい場合は、通風乾湿度計を利用する。

5.3 湿 度

湿度測定機器は、大別して膨張型湿度計、自記毛髪湿度計、乾湿温度計、冷却型露点計および電気式抵抗、発信周波数、温度変化による湿度計がある。これらについては、JIS Z 8806 に示されている。多くの分野で相対湿度の測定機器として、電気式湿度計が使用されている。これは、測定値の連続記録が可能であり、水を必要とせず、小型であるが定期的な校正が必要である。信頼性が高い湿度計としてアスマン通風乾湿度計がある。これは、水の蒸発による温度を求め、湿度測定を行う。乾球と湿球の2本の

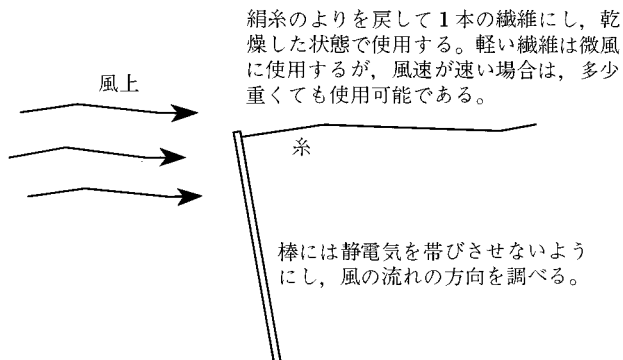


図-2 タフト法の概要

温度計が正確であり、かつ、感温部を包むウィックと水質が清浄で、風速が3 m/s以上あり、ガスやミストの影響を受けなければ、正確な測定が可能である。湿度計のセンサは、空気の相対湿度に応じて電気抵抗または電気容量が変化するセラミックやガラスをベースに素子を取り付けたものが多い。センサによって使用温度、湿度範囲、応答性および応答時間が異なるので選択に注意が必要である。一般に、湿度計の湿度表示の最小単位は相対湿度0.1%のものが多いが、湿度センサの精度は $\pm 3\%$ から $\pm 5\%$ であり、制御精度に直接影響する。精度を維持するため純粋な水で洗浄できる形式もある。測定例として気温20℃、相対湿度74%において、 $\pm 1\%$ の誤差は $\pm 7\%$ の誤差になる。注意項目を次に示す。

- 1) センサが直接露点温度を示す露点計を使用する際には、空気の流れを安定させる必要がある。
- 2) 相対湿度を測定し、温度で補正する形式の機器は、特に温度センサと同様の注意をはらう必要がある。
- 3) 測定センサは、放射を受けにくい角度に設置する。
- 4) 測定センサは、風を受けやすい角度に設置する。
- 5) 放射(日射、天空)の影響を避けるための保護(熱がこもらないように光ったアルミなどで覆う)が必要。電子式センサ部分の近くや回路部分との温度差がないようにすることが必要。

5.4 風速

室内において、発熱するOA機器などは気流を発生させる。また、人体をはじめ発熱を伴う製品、照明器具などによる自然対流の影響が生じる場合がある。

冬期は、窓やドアなどの表面が外気によって冷やされ、その近傍の空気が冷たくなって下方に下がり、気流が発生するコールドドラフトやすきま風などが空気の流れをつくり出す。微風速の検証には気流の測定が不可欠で、簡便に風の方向を確かめる手段として、柔らかい乾いた絹糸の単繊維を利用したタフト法(図-2)がある。風向を確認したうえで、風速計で測定値を読み取ることが望ましい。

風速の評価に関して、次のような項目が挙げられる。①

平均風速、②乱れ強さ、③風速変化の波形がステップ(階段を一段あがるような変化)、ランプ(傾斜型)、パルス(鋭く尖塔状の変化)、④変化幅、⑤周波数、⑥揺らぎ、⑦最大値などがある。このとき機器の応答時間が影響するので、評価すべき周波数特性が得られるように機器を選択する。

機器の種類は、およそ次のようになる。可動部が多くごみの付着などで精度が低下する形式は、風量チェック測定など一時的に使用できても、長期のモニタには不向きである。堅牢でじんあい(塵埃)が付着しにくく精度が保たれる形式は、回転式でも数年にわたり安定した測定値を示す。可動部が少ないものにはピトー管やU字管などがあり、センサが汚れなければ空気に熱が奪われることを利用した熱式風速計など、光利用ではレーザ流速計、超音波流速計などがある。

温熱環境測定に多く用いられている熱式風速計は、便利で比較的高精度に測定できる。熱式風速計の主な特徴は、風速測定範囲が広く、低風速(5 m/s以下)の感度が高い、検出素子が小さく、狭い場所での測定ができる、また、温度補償範囲が広く、応答性がよいことが挙げられる。近年、多くの機能を持たせた小型の計測機器があり、結果も容易に確認できる形式も多い。直線化回路を利用し、風速に比例した出力信号が得られ、環境調整機器の制御も可能である。

風速を精度よく測定するための注意項目を次に挙げる。

- 1) 熱式の場合、湿度の影響は相対湿度100%以上になって、水粒があると蒸発熱によって測定値は高い値を示すので使用に適さない。
- 2) 熱式のセンサは放射を受けにくい角度に設置する。(加熱センサ部が温度の高い放射を受けると値は低くなる。逆に天空など非常に低い(例えばマイナス1℃)熱放射があると熱が奪われて風速の表示は高くなる)。
- 3) 超音波風速計は3方向の風速成分、微風速までの測定が可能。応答性がよく、風速と出力の関係が直線的で風速が大きく変化するときでも測定可能。受感部が8 cm程度と小型になったが、熱式より寸法が大きい。
- 4) センサ部分の近くや回路部分の温度差がないようにすることが必要。

6. 熱放射

熱放射測定

放射熱はすべての物体やガス体から放射されており、熱環境においても重要な要素である。近年において、床暖房やパネル空調をはじめとした空調では、放射熱要素の負う

太陽などの直射を受けることを避ける。
直射を受けなくても天空の温度が低ければ
低温の放射の影響で値は低くなる。

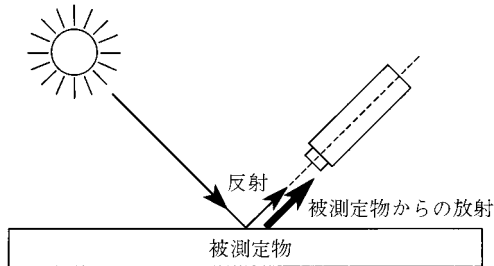


図-3 放射測定の周りからの影響

ところが大きい。床、壁、天井、窓、発熱体としては照明器具、各種機器などの物体表面温度に応じた熱放射があり、これらの物体の放射率の相互の関係から、熱放射環境が形成されている。物体の絶対温度の4乗に比例し、材料の表面の状態の放射率とステファン・ボルツマン定数との積でエネルギーは放出される。完全な黒体を1として、人体皮膚表面の放射率は0.95~0.98程度とされている。放射率の簡易測定は、JIS A 1423による。放射の計測には、赤外線放射温度計、赤外線熱画像装置などがある。上下や左右の熱放射の差を測定するには、放射収支の差を同時に測定するのが望ましく、時間をおいての測定は安定した条件でのみ採用できる方法である。

非接触方式の温度測定機器が開発され、日常生活の多くの機器にも利用されている。サーモパイル型や焦電型センサの性能が向上し、赤外線を透過する塩のレンズが開発されズーム機能を使って目的物を絞って部分的な測定が可能となった。

赤外線放射温度計は、物体表面からの放射エネルギーを温度変換して表示しているのみで、真の温度測定機器ではない。物体表面からの放射率はほとんど1より小さく、表面やその透過した表層面での反射成分を含む。また、センサの波長特性が大きく、表面のエネルギー分布を正確に測定していない。温度を正確に測定する場合は、物体の放射率とその面に入射するエネルギーを測定しなければならない。平均放射温度の算出を目的とする場合には、放射率1で測定し、それら各々の形態係数との積の総和とする。

赤外線放射カメラを使用した測定では、建物材料表面の放射率はおよそ0.9とされているが、実際には反射成分も入射するため周りからの放射を考慮する必要がある。複数個の測定温度範囲内に表面温度が既知の放射率が1に近い材料を同一画面に写し込み、温度分布を校正し測定することで精度が上がる。

天井、壁・床などの表面温度を簡便で確実に計測する方法として、赤外線測定では物体の放射率が不明な場合や曲

部や材料が異なり、正確さが要求される場合には接触法が用いられる。しかし、接触法では表面温度を乱すことになり、特に高精度の測定では注意を要する。全般的な留意事項は、以下のとおりである。

- 1) 赤外線放射エネルギーを測定する放射温度計について、一般の常温測定機器は波長約 $10\mu\text{m}$ を中心とする測定機器が多いので、短波長の反射成分を考慮して方向を定める(図-3参照：放射測定は周りからの放射の影響を受ける)
- 2) 赤外線放射エネルギーを測定する放射カメラの場合は、波長特性で大別すると波長 $4\mu\text{m}$ 程度の短波長と約 $10\mu\text{m}$ を中心とする長波長の測定機器があるので、測定目的や材料によっては反射成分を考慮する目的で、周りからの放射の分離測定を必要とする。特に、日射や熱源がある測定では、遮るのか否かの判断を明確にする必要がある。
- 3) 赤外線放射測定機器は内部の温度を基準とする機器が多く、機器内部の温度を安定させてから測定する。
- 4) 接触センサ部の熱容量を小さくし、表面の温度場を乱さない。
- 5) 接触センサ部に付属する導線からの熱損失を少なくするため、導線直径の50倍程度の長さを被測定部位に密着させる。
- 6) 周辺環境の影響を受けないように取り付ける。
- 7) 放射の影響を避けるための保護を必要とする。

おわりに

我々は温熱環境の現状を評価、制御し、快適な状態を目指している。しかし、その空間にいる人はすべて同じ条件とは限らず、要求される条件が異なることが多い。制御する要素については、できる限り個人の要求する必要十分条件を満たすように努力がなされている。省エネルギー化を目指す目的で、室全体ではなく必要な空間と時間に有効な制御の研究が進んでいる。現状としては人の適応温度範囲が狭くなり、適応能力の低下傾向がみられる。したがって、快適範囲の拡大が大切であり、対象空間の使用者の温熱感に基づく制御データの蓄積がより適切な制御に必要であり、それらに基づいた評価の重要性が求められている。

引用・参考文献

- 1) 加地正郎：臨床総論 病型と病原，かぜ症候群のすべて 内科シリーズ 33(1978)，pp.87~93，南江堂
- 2) Nagano, K., T. Horikoshi: Quantitative evaluation of combined cold and noisy effects on the human psychological responses, Proceedings of the third International Conference on Cold Climate, Heating Ventilating and Air Con-

講座はかる 計・測・量 (4)

- ditioning(2000), pp.407~412
- 3) 中山照雄: 温熱生理学(1981), pp.87~93 理工学社など
 - 4) 中山照雄: 温熱生理学(1981), p.468, 理工学社
 - 5) 桃井良尚・山中俊夫・櫻原未知・甲谷寿史・大高一博・堀川 晋: 空気調和・衛生工学会近畿支部第32回学術研究発表会論文集(2003.3), pp.47~50
 - 6) 田中正敏・大中忠勝・山崎信也・伊香輪淳子・吉田敬一・栃原 裕: 上下温度差と体温, 第9回人間熱環境系シンポジウム報告集(1985), pp.136~137
 - 7) 山岸明浩・堀越哲美・石井 仁: 上下温度分布が人体の皮膚温及び温冷感に与える影響について, 人間と生活環境(51)(1997), pp.23~34
 - 8) ANSI/ASHRAE: ASHRAE STANDARD, Thermal Conditions for Human Occupancy(1992), pp.55~1992
 - 9) 渡邊慎一: 日本における床暖房の快適性評価研究の流れ, 第24回人間生活環境系シンポジウム報告集(2000), pp.27~30
 - 10) 建築基準法施行令(換気設備)第129条の2の3
 - 11) 学校保健法, 学校環境衛生の基準
 - 12) 陳・向陽・神村一幸・加藤淳之・三浦真由美: 放射温度

センサによる室内温熱環境の測定, 空気調和・衛生工学会論文集, 77(2004), pp.75~84

- 13) P. O. Fanger: Calculation of thermal comfort, Introduction of a basic comfort equation, ASHRAE Transactions 73 II, (1967) pp.III.4.1~III.4.20
- 14) ANSI/ASHRAE: ASHRAE STANDARD, Thermal Conditions for Human Occupancy(1992), pp.55~1992
- 15) 成瀬哲生・梶井宏修: アルミコート熱電対による温度測定について(Ⅰ), 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集(1980.3), pp.33~36

(2003/11/10 原稿受理)



梶井宏修 かじいひろのぶ
生年月日 昭和22年9月11日/出身 大阪市/最終学歴 近畿大学理工学部建築学科/学位 博士(工学)