

熱環境（温度と湿度）の測定

1．熱環境に関係する要素

室内の熱環境を形成し、快適性を左右する要素として、物理的な4要素と人体側の2要素がある。

- 1) 温度（気温，室温）
- 2) 湿度（多くの場合，相対湿度）
- 3) 気流（風速）
- 4) 放射（輻射）
- 5) 着衣量
- 6) 代謝量

人体と環境の熱平衡については，教科書 pp.65～68 を参照。室内気候の測定については，実験用教材 pp.24～33 を参照。

注)「教科書」と「実験用教材」は，以下の本のこと。

教科書：『環境工学教科書 第二版』（環境工学教科書編集委員会編，彰国社，2000年8月，
¥3,675，ISBN：4-395-00516-0）

実験用教材：『建築環境工学実験用教材 I 環境測定演習編』（日本建築学会編，日本建築学会，1982年3月，¥1,890，ISBN：4-8189-0150-4）

2．測定計画

以下のように測定を行う予定。

10月08日（水） 1回目 測定概要の説明，機器の取扱いの説明

10月15日（水） 2回目 4限目 気温，湿度，グローブ温度（+風速）の測定
5限目 表面温度の測定

！！ストップウォッチもしくは，秒針のある時計を各班で1つ以上準備すること！！

10月22日（水） 3回目 補足説明とレポート作成

3. 温度の測定

1) アスマン通風乾湿計

・取扱い方法などは、実験用教材 pp.25～26 を参照。

2) 熱電対

・温度を測定する仕組みは、実験用教材 pp.6～7 を参照。

3) 白金測温抵抗体（電気式湿度計と一体になっていることが多い）

・電気抵抗値が温度の関数であることを利用した抵抗温度計。ほかに半導体であるサーミスタを用いた温度計もある。

・抵抗値を測定するためには、電源電流が必要であるが、現在では対応するデータロガーに接続すれば、容易に測定できるようになっている。

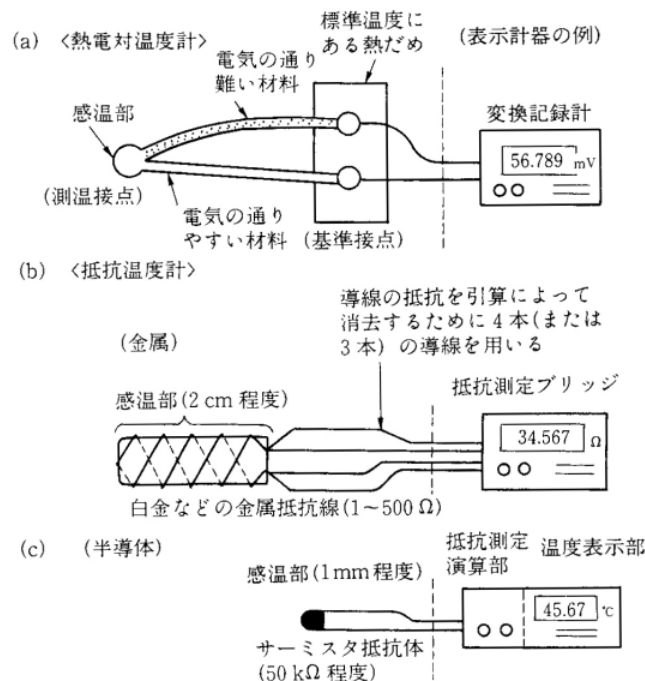


図 電気式温度計の感温部（出典：参考文献 [1], p.90）

4. 湿度の測定

1) アスマン通風乾湿計

・取扱い方法などは、実験用教材 pp.25～26 を参照。

・乾球温度と湿球温度から、相対湿度を計算する際には、実験用教材 p.33 やアスマン通風乾湿計に付属の取扱説明書などを参照のこと。

2) 電気式湿度計（白金測温抵抗体と一体になっていることが多い）

・電気式湿度計には、電気抵抗式のものや静電容量式のものがある。

・電気抵抗式は、セラミックスなど水蒸気をよく吸着し、表面に吸着水の層を形成する性質を

利用し、その吸着水の増減で電気抵抗が変化することを利用した湿度センサーである。このような性質をもつ感湿素子には、多孔質セラミックスやイオン性高分子などがある。

- ・ 静電容量式は、金属酸化膜や親水性高分子膜の電気容量が、湿度によって変化することを利用した湿度センサーである。

注) 温度と湿度の評価については、配付資料の 17 ページ(出典:参考文献[2], p.109)を参照。

5. 放射温度の測定

- ・ ある温度の物質は、その温度に相当した放射エネルギーを出している。
- ・ 熱放射の測定は、各室内を構成する表面温度を測定する方法と、空間のある点での、放射温度あるいは放射熱量を計ることに大別できる。
- ・ 放射温度の測定では、最も一般的な方法はグローブ温度の測定である。

1) グローブ温度計

- ・ 取扱い方法などは、実験用教材 pp.28～29 を参照。

2) 放射温度計(表面温度の測定)

- ・ 表面温度の測定には、接触型と非接触型がある。前者は、熱電対などを壁面等に直接張り付けて測定する方法で、後者は、赤外線を利用した放射温度計あるいは赤外線熱画像で温度分布を測定するものである。この温度から、放射熱量をステファン・ボルツマンの法則により計算したり、形態係数を用いて平均放射温度を計算したりする。

6. 表面温度と放射率(放射率については、教科書 pp.46～49 を参照のこと。)

- ・ 非接触型の放射温度計は、ある温度の物質がその温度に相当して出している放射エネルギーの量を測定して、測定物質の温度を求める。
- ・ 正確な温度を出すためには測定物体の放射率による補正が必要。放射率とは、「ある温度の測定物体の放射エネルギー量と同一温度の黒体の放射エネルギー量の比」のこと。この値は、波長域によって異なり、正しい温度測定のためには、測定器の分光感度に応じた放射率による補正が必要。今回の測定で使用する放射温度計では放射率設定キーによりこれを設定できる。

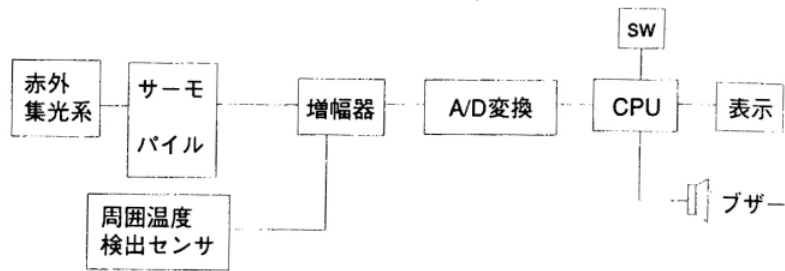


図 今回の測定で使用する放射温度計の測定原理を示すブロック図(出典:参考文献[3],p.36)

今回の測定で使用する放射温度計では、測定物体からの放射エネルギーを、光学系を通して検知器で電圧に変換し、次に増幅器においてその電圧を増幅する。次に A/D 変換器でデジタル化を行い、その値をマイクロコンピュータ部で必要な演算処理を行って出力する。また、二つの入力スイッチの情報もここで処理される。一つは放射率の補正であり、もう一つは瞬時値測定モード/ピーク値測定モードの設定である。

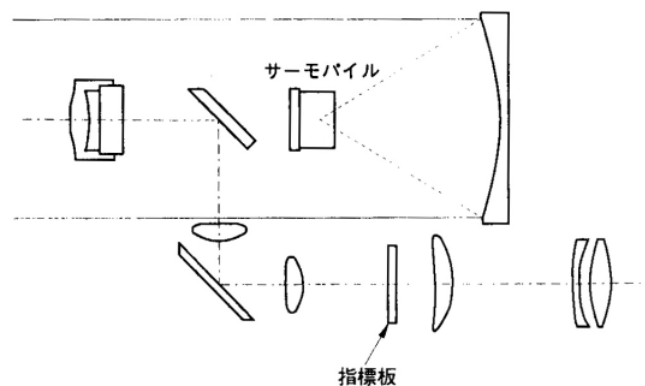


図 今回の測定で使用する放射温度計の光学系(出典:参考文献[3], p.37)

光学系は、上図のような一眼レフ方式を採用しており、集光ミラーの焦点位置に検知器が置かれている。ファインダ光学系の結像位置には、測定領域を示す円が設けられている。

7. 気温、湿度、グローブ温度(+風速)の測定手順

気温、湿度、グローブ温度(+風速)の測定は、以下のような手順で行う。

- 1) 大学の構内で、各班5ヶ所以上を自由に選び測定する。
- 2) 測定点についてから15分以上経ってから、測定を開始する(グローブ温度計が、平衡状態になるのを待つ)。
- 3) それぞれの値を、30秒ごとに5回読みとり、それらの平均値をその場所での測定値とする。
測定ノートに記録すること。
- 4) 乾球温度(=気温)と湿球温度から、相対湿度を計算する。実験用教材 p.33 やアスマン通

風乾湿計に付属の取扱説明書などを参照。

5) 気温と湿度の評価については、配付資料の17ページ(出典:参考文献[2], p.109)などを参照。

6) 気温と相対湿度から不快指数を計算する。

$$\text{不快指数} = 0.81 \times \text{気温} + 0.01 \times \text{相対湿度} \times (0.99 \times \text{気温} - 14.3) + 46.3$$

不快指数が75以上になると「やや暑い」と感じ、80以上になると「暑くて汗が出る」になり、85以上になると「暑くてたまらない」ほどになる(出典:参考文献[4], p.268)。

7) グローブ温度と風速から、平均放射温度(Mean Radiant Temperature)を計算する。実験用教材 p.25などを参照。

8) 様々なセンサーで測定した気温や相対湿度の差異、それぞれの測定場所での評価、気温とグローブ温度と平均放射温度(MRT)の差異、などについて考察する。

8. 放射率の測定方法と測定手順

8.1 放射率の測定方法

今回の測定で使用する放射温度計は、物体が放射する赤外線強度を温度に換算して表示している。ある温度に対して物体が放射する赤外線強度は、それぞれの物体の材質によって異なる。それを放射率という。

放射温度計で正確な温度を測定するために、被測定物体によってそれぞれ放射率を正しく設定する必要がある。また、放射温度計は種類によって測定波長領域が異なるため、放射温度計の種類によっても放射率は異なる。

(放射率の簡単な求め方(1))(出典:参考文献[3], pp.14~15)

放射率を求めたい試料の温度を接触型温度計(熱電対, サーミスタ温度計など)で測定する。

同時に、今回の測定で使用する放射温度計器でもその試料の同じ位置を測定する。

測定ボタンをはなしたときに表示されている測定値が、測定した温度と一致するように放射率を設定する。このとき外部表示に表示されている値が試料の放射率。

(放射率の簡単な求め方(2))(出典:参考文献[3], pp.14~15)

放射率のわかっている以下のものを、測定したい試料に密着させる。

- ・常温域のものを測定する場合: セロハンテープ
- ・300 以下のものを測定する場合: 黒色ペイント
- ・高温(600 以下)のものを測定する場合: シリコン系の黒色耐熱塗料

放射率を設定して、密着させた部分を測定する。黒色ペイント, シリコン系の黒色耐熱塗料, セロハンの放射率は, 1.00 としても大きな誤差はない。

試料のテープや塗料が密着していない部分を測定する。

測定値が、 ϵ_l で測定した温度と一致するように放射率を合わせる。このときの放射率の値が試料の放射率。

8.2 放射率の測定手順

- 1) 今回は、放射率 0.94 である黒体テープを用いる。テープを貼ってから、表面温度と同じになるまで、しばらくの間なじませる。
- 2) 様々な場所の放射率を測定して、下図のうちの長波放射率と比較してみる。

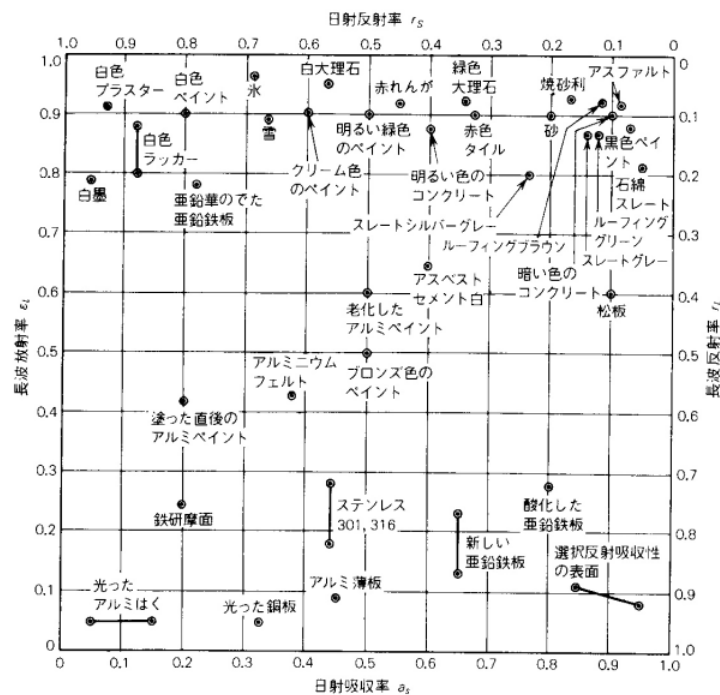


図 材料表面の日射吸収率および長波放射率（出典：参考文献 [2], p.122）

9. 参考文献（〔 〕内は、熊本県立大学附属図書館所蔵情報）

- [1] 『快適な温熱環境のメカニズム』（空気調和・衛生工学会編，空気調和・衛生工学会（丸善），1997年12月，¥4,725，ISBN：4-87418-019-1）〔開架2，528.2||Ku 28，0000225353，0000225354〕
- [2] 『建築設計資料集成 1 環境』（日本建築学会編，丸善，1978年6月，絶版）〔開架2，525.1||KE 41||1，0000157165，0000166428〔書庫，525.08||KE3||1A，0000086850〕
- [3] 『放射温度計 HT-10D 取扱説明書』（ミノルタ株式会社）
- [4] 『理科年表 平成13(2001)年 第74冊』（国立天文台編，丸善，2001年12月，¥1,260，ISBN：4-621-04817-1）〔開架2，403.6||R 41||2002，000256324，但し第75冊(平成14年)〕

その他、建築環境工学に関する教科書など（附属図書館にいくつか所蔵されている）。

10. 参考 URL

- 1) 講義資料のダウンロード (<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/m-tsuji/kougi.html/jikkenn.html/kyojikkenn.html>)

質問・レポートの提出先は、

辻原研究室（環境共生学部棟旧棟（生活科学部棟）4階西南角）まで

（電話：096-383-2929（内線492）、E-mail：m-tsuji@pu-kumamoto.ac.jp）

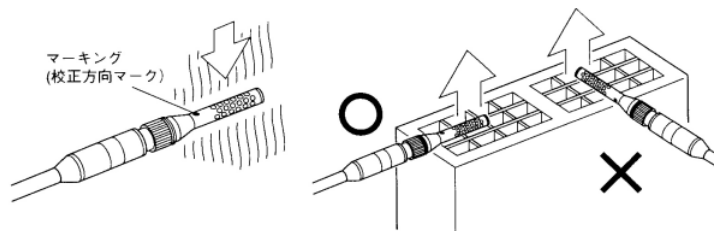
もしくは、

岡本助手室（環境共生学部棟旧棟（生活科学部棟）4階南側中央付近）まで

（電話：096-383-2929（内線482）、E-mail：okamoto@pu-kumamoto.ac.jp）

補足．風速計について

- 1) 測定したい場所で、センサーを風の流にさらず。センサーの先端に付いているマーキング（校正方向マーク）を風上に向ける。



- 2) 1秒ごとに風速を測定し、数値表示させる。
- 3) 指示値が安定するのを待って、表示された測定値を読みとる。

風速の単位は、(m/s)。

ASHRAEの新有効温度と快適線図①

湿り空気線図上に、快適範囲・快適線および等新有効温度 ET* 線を記入したASHRAE快適線図である。快適範囲は、き(椅)座位で着衣量 0.8~1.0 clo で示し、室温 22.9~25.2℃、相対湿度 20~60% で囲われた範囲である。これはASHRAEのSTANDARD 55-74とよばれる。

新有効温度 ET* はき座位・着衣量 0.6 clo 静穏な気流の場合を基準として、湿り空気線図上の相対湿度 50% 線上の室温として定められる温熱環境指標で Gagge らにより導出された。これは従来用いられた、Yaglou らの旧有効温度 ET とは本質的に別のものであり、区別するために*印を付し ET* と表記する。

室温と平均放射温度とが等しくない環境では、相対湿度は室温における値を用いて、室温は作用温度を用いる。

作用温度①

作用温度 OT (Operative Temperature) は、静穏気流 (0.2 m/s 以下) の場合、次式で示される。

$$OT = \frac{MRT + t_a}{2} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

MRT: 平均放射温度 (°C), t_a: 気温 (°C)

また、グローブ温度 t_g を用いれば静穏気流に対して、次の関係がある。

$$OT = t_g$$

温熱環境要素と室温②

快適を得るための温熱環境要素と室温の関係を示した。室温 (= MRT) 24℃, 着衣量 0.6 clo, 相対湿度 50%, 作業量 1.1 Met, 気流 0.1~0.15 m/s の場合である。たとえば、相対湿度が 35% 高くなったとき、室温を 1.1℃ 低くすればよく、また、室温が 1.1℃ 低くなったときは、着衣量を 0.15 clo 増せば、同じ快適さが得られる。

温熱環境設計基準③

建築基準法施行令 (121 条 2 の 2) および建築物における衛生的環境の確保に関する法律 (ビル管理法) では、特定建築物で中央管理方式の空調設備・換気設備を設けている建築物における温熱環境要素について、次のように定めている。

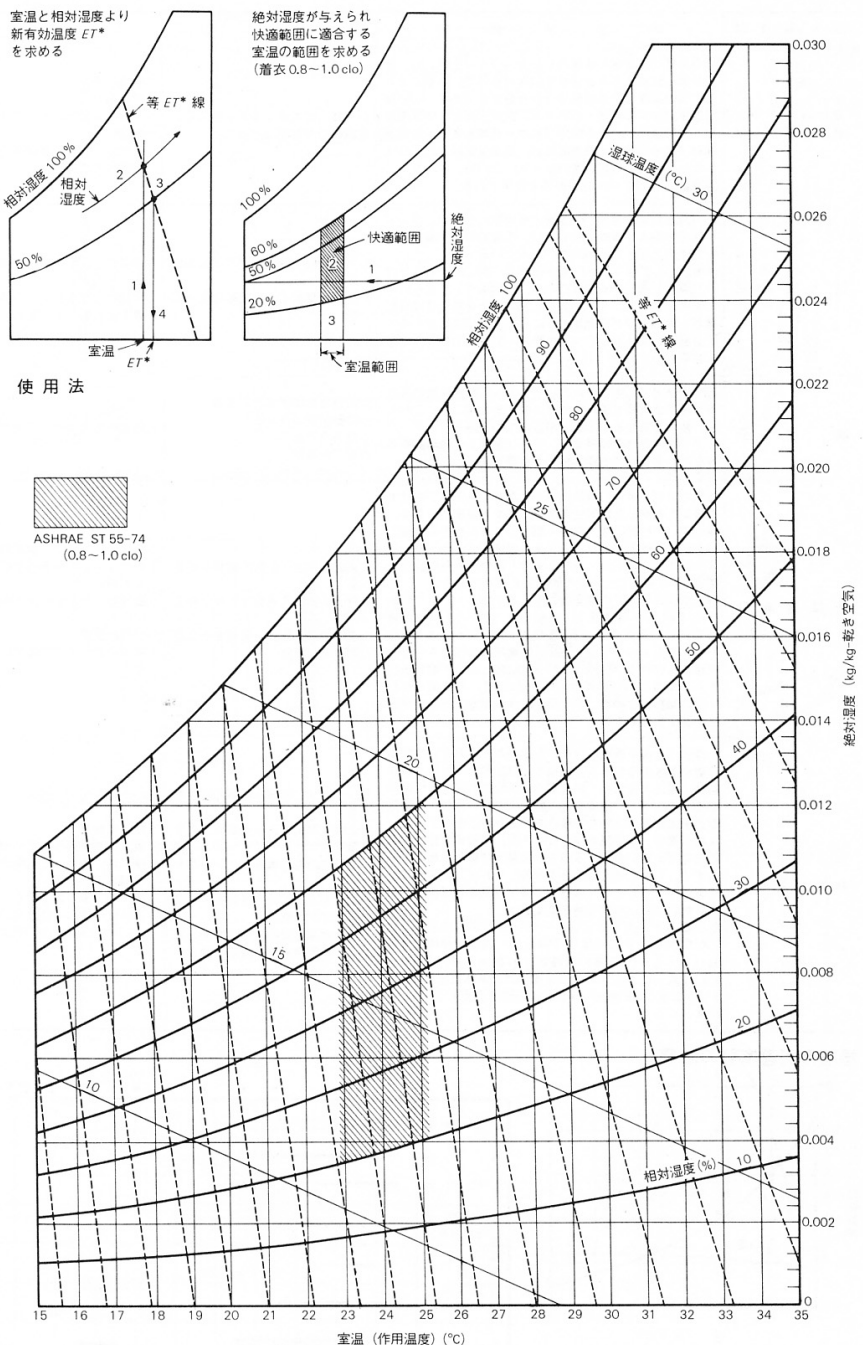
- 温度 17.0~28.0℃
- 相対湿度 40~70%
- 気流速度 0.5 m/s 以下

温熱環境設計基準は、作業量・着衣量などによって大きく変わる。南野・成瀬らによる実測調査*3 および 106, 108, 109 を参考に、設計基準を設定した。着衣量の 0.4~0.6 clo は夏の服装, 0.8~1.0 clo は春秋の服装である。

変化量	温熱環境要因	熱平衡になるための室温の変化
± 35%	相対湿度	± 1.1℃
± 0.8℃	平均放射温度	± 1.1℃
± 0.1 m/s	気流速度	± 1.1℃
± 0.15 clo	着衣量	± 1.1℃
± 0.5 Met	作業量	-3.0℃

快適を得るための温熱環境要素と室温の関係*2②

1 ASHRAE: Handbook of Fundamentals, p. 137 (1972) および F. H. Rohles, R. B. Hayer, G. Milliken: Effective Temperature (ET) as a Predictor of Thermal Comfort, ASHRAE, Transaction, No. 2368, p. 153 より作成。
*2 A. Pharo Gagge, Yasunobu Nishi, G. Ralph, G. Nevins: The Role of Clothing in Meeting FEA Energy Conservation Guidelines, ASHRAE Transaction, No. 2417, p. 237.
*3 南野, はか: 実際の建物における温熱環境と温冷感の実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集 (1977. 10); 成瀬, はか: 事務所建築における暖冷房時の温冷感と快適感の相互関係について, 日本建築学会学術講演梗概集 (1976. 10).



快適線図と新有効温度 ET* (ASHRAE)*1①

作業状態	作業量 (Met)	着衣量 (clo)	室温 (°C)	湿度 (%)	適用例
き(椅)座	0.7~1.0	0.4~0.6 0.8~1.0	25~27 23~25	40~60 40~60	住宅・劇場
軽作業	1.0~1.2	0.4~0.6 0.8~1.0	23~25 21~23	40~60 40~60	事務所・ホテル・学校・レストラン
中作業	1.4~1.8	0.4~0.6 0.8~1.0	21~24 18~21	40~60 40~60	銀行・百貨店・商店・料理店
重作業	2.0~2.5	0.4~0.6 0.8~1.0	17~20 14~17	40~60 40~60	ダンスホール・工場

室温 = 平均放射温度 (MRT), 気流速度: < 0.2 m/s

温熱環境設計基準*3③