

1.3 室内気候の測定

1 演習の目的

建築物の室内気候は、外界気象条件や室内の在室者の状況によっていろいろに変化する。室内気候は温熱環境ともいわれ、その環境要素には、(1)温度、(2)湿度、(3)気流速度、(4)放射熱などがあり、これらを温熱環境の4要素といている。室内の在室者に対するこれらの要素の影響は総合的に現れる。特に、人工的な環境になってしまった室内では十分理解を深める必要がある。

本演習では、温熱環境4要素の測定法を習得するとともに、実際の室内での実測を行い測定値の処理方法について理解することを目的としている。

2 基礎事項

2.1 温度

室内の温度は室温ともよばれる。在室者の温熱的快適環境を主としたときは居住域の平均的な空気の温度として取り扱うことができるが、室内の熱負荷を計算・検討するときには室空間全体の平均的な取扱い方を必要がある。

ここでは温熱環境要素としての室温として取り扱うこととする。室温の測定は、床上75～120cmの範囲で行うこととしている。床上120cmは、在室者が椅座したときの呼吸線とほぼ同じ高さである。室内の温度は水平(平面)方向および垂直方向に分布がある。分布の程度は、気流分布および在室者分布等により大きく異なる。また、壁面・ガラス窓・出入口近傍では温度の変化が著しい。

したがって、室内の平均的な室温を求めるためには、室内の数か所で温度を測定する必要がある。

2.2 湿度

ここで取り扱う湿度は、表1.1.3に示す相対湿度である。相対湿度(以下湿度と記す)と

温度は互に密接な関係があるので、同一箇所と同時に測定する必要がある。室内の湿度の測定は1.1「外界気象要素の測定」で示したように、精度高く、携帯可能で、かつ安価で取扱いが容易なアスマン(Assmann)通風乾湿球温度計(以下アスマン乾湿計と記す)を用いる。

湿度は次のようにして求められる。

1) 水蒸気分圧を次式により求める。

$$f = f_s' - 0.5(t - t') \cdot \frac{P}{1.007 \times 10^5} \quad (1.3.1)$$

f : 水蒸気分圧 (Pa)

f_s' : t' (°C)における飽和水蒸気分圧(Pa)

t : 乾球温度 (°C)

t' : 湿球温度 (°C)

P : 大気圧 (Pa)

(1.3.1)式は Sprung の式であり、球部が氷結していない場合のものである。

2) 湿度を次式により求める。

$$\varphi = \frac{f}{f_s} \times 100 \quad (1.3.2)$$

φ : 湿度(相対) (%)

f : (1.3.1)式で求めた水蒸気分圧(Pa)

f_s : t (°C)における飽和水蒸気分圧(Pa)

アスマン乾湿計の乾球温度と湿球湿度の読みと、(1.3.1)、(1.3.2)式より湿度を計算により求めることができる。付表1.1のごとく、あらかじめ計算しておく、湿球温度と乾球・湿球温度の差より相対湿度を求めることができる。

2.3 気流速度

室内の気流は、自然換気による通風輪道あるいは換気設備(空調を含めて)の吹出し口・吸込み口との関係が大きい。温度と同様に快適性を主とするときは居住域の気流を対象とするが、熱負荷計算上対象となるのは壁面に沿う気流である。

居住域の気流は、その温度が室温より低くかつ速度が大きいときは、在室者に対して局所的な冷却を行うことになり、不快感などを与えることになる。気流速度は0.5m/s以下になるようにしなければならない。したがっ

て、気流速度の測定にあたっては微風速が測定できることが必要となる。

気流の方向については、特に測定器による測定を必要としないが、在室者に対して低温で速度の大きい気流が予想されるときは、煙や絹糸などによる観測を行う必要がある。

2.4 放射熱

室内の周囲壁面が加熱あるいは冷却されていたり、天井面に電灯が多数設置されている場合は、放射熱の影響を検討する必要がある。

在室者に対する場合は、周囲壁面と在室者との位置関係および両者の表面温度により決まるが、熱負荷計算上の壁面と他の壁面との関係についても同様である。

放射熱の影響を知るためにグローブ温度計が使用される。グローブ温度計と周囲壁との位置関係および壁温との関係から、放射効果が等しいような均一な周壁面温度を平均放射温度 MRT (Mean Radiant Temperature) とすると、 MRT は次式のように表すことができる²⁾。

$$MRT = t_g + 2.35 \sqrt{v}(t_g - t_a) \quad (1.3.3)$$

MRT : 平均放射温度 (°C)

t_g : グローブ温度 (°C)

t_a : 室温 (°C)

v : 気流速度 (m/s)

(1.3.3)式は $v=0.18$ (m/s) のとき、次のように表すことができる。

$$MRT = 2t_g - t_a \quad (1.3.3')$$

したがって

$$t_g = \frac{MRT + t_a}{2} \quad (1.3.4)$$

また、作用温度 OT (Operative Temp.) は

$$OT = t_g \quad (1.3.5)$$

3 測定の準備と計測器の取扱い方法

室内気候の測定には、長時間連続して測定する必要がある場合と短時間で測定を終了させる必要がある場合とに大別できる。連続測定を行う場合には、主として電氣的な方法が用いられる。その場合、測定点を多く取ることは極めて難しい。

一方、室内の水平分布を測定する場合には多数の測定点について短時間に測定を行う必要がある。本演習では短時間で測定を行う方法を中心にする。

3.1 温湿度の測定

3.1.1 アスマン乾湿計

温度計として液体封入ガラス温度計 (JIS B 7411~12) を利用したもので、湿度測定方法 (JIS Z 8806) にて規定されている。

構造は1.1「外界気象要素の測定」および図1.3.1に示すように、2本の温度計のうち、1本にはガーゼを巻き水で湿らせたものを用意し、両方の温度計の球部に一定の気流を当てる通風装置よりなる。乾球温度は室内の空気温度である。湿度は乾球・湿球温度計の読みより、(1.3.1)、(1.3.2)式あるいは付表1.1より求める。

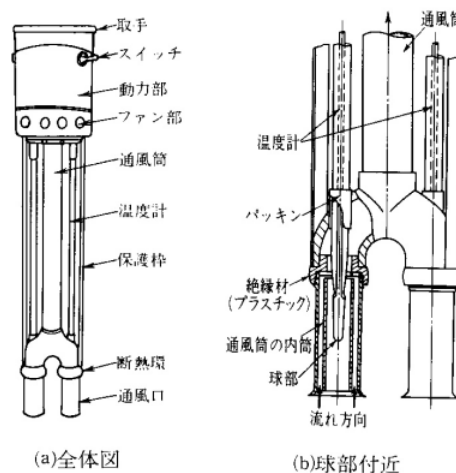


図1.3.1 アスマン乾湿計

アスマン乾湿計についての取扱い上、重要な事項を次に述べる。

- 1) 温度計は最小目盛0.2°Cの水銀封入ガラス温度計(二重管)で検定品であること。検定の有効期間が過ぎたものは再検定するか、もしくは新品と交換する。
- 2) 通風装置は温度計の球部に十分な気流(2.5m/s以上)を与えることのできるものであること。ぜんまい仕掛けの通風装置は気流がやや小さく構造上も丈夫でない。電池による通風装置が安定した気流

が得られ、通風装置のみ交換することも可能なので検討すること。

- 3) 通風筒の外筒、内筒は二重で、いずれもめっきがなされていて放射熱の影響を防ぐようになっている。めっきがはげてしまっている場合は交換すること。
- 4) 温度計を通風筒に差し込む部分から空気が吸い込まれないようにパッキンにすき間がないようにすること。
- 5) 湿球温度計のガーゼは長時間使用している間に汚れてくる。汚れていると正しい測定ができなくなるから、新しいものと取り替えること（使用頻度が高いときは1週間ごとに交換）。ガーゼおよび木綿糸は、石けん水で煮沸したのち、きれいな水でよく洗いのりや油気を除いてから用いる。

ガーゼの巻き方は図1.3.2に示すようにあらかじめガーゼを適当な大きさ（25mm×100mm）に切り、きれいな水でぬらしたのち球部を一重半巻くように包むとうまく取り付けられる。

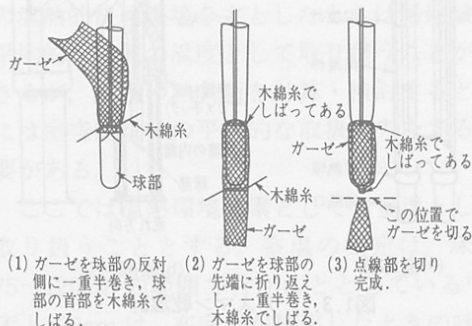


図1.3.2 湿球温度計のガーゼの巻き方

測定上の注意事項を次に述べる。

- 1) 湿球部に水分を与えるには、専用のスポイトを用いる。その際、内筒に水がかからないように注意すること。
- 2) 温度の読取りの際、アスマン乾湿計に近づきすぎると測定者の体温で暖められた空気が吸い込まれるおそれがあるので注意すること。障壁（ガラス・板）を置いて測定することが望ましい。

- 3) 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。最初の測定するときや水分を補給した後の測定は、通風装置をあらかじめ10分間くらい作動させるが室内を移動させながら測定する場合には、3分間くらいでよい。

3.1.2 自記温湿度計

長時間連続して温湿度の記録を取る際に利用される。温度は膨張係数の異なる2種の金属板を張り合わせたバイメタルを、湿度は吸脱湿による毛髪伸縮をそれぞれ検出部に使用し、変化量を拡大し記録させる。写真1.3.1に示すように記録紙の上部に温度を下部に湿度を記録する。検出部は一般に温度用が本体の下部に湿度用が側面に取り付けられている。記録紙を用形ドラムに巻き付ける。ドラムはぜんまい仕掛けで回転するようになっており、1日もしくは7日間で1回転する。

自記温湿度計についての取扱い上、注意を要することを次に述べる。

- 1) 検出部の経時変化、変位伝達部分の機械的ゆるみがあるので、定期的にあるいは使用する前にアスマン乾湿計で較正しておくこと。
- 2) 振動に対して弱いので、このような場所での使用は不相当である。
- 3) 湿度検出部の毛髪は常に清浄に保ち、異常な張力を加えないようにする。特に低湿および高湿・高温のところに置かないこと。

3.1.3 その他

湿度(相対)を測定する方法として、デュセル(Dewcell)露点計による露点温度の測定

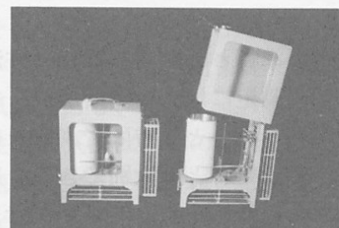


写真1.3.1 自記温湿度計

と同時に温度を測定して湿度を求める方法がある。電氣的な測定方法で連続測定可能であるが、測定点が多数になる水平分布測定には適さない。

3.2 気流速度の測定

3.2.1 カタ計

快適性を対象とする室内気流の測定では、瞬間値より平均値を測定できることの方が都合がよい。気流の方向は不特定であるから指向性のない検出器がよいことになる。カタ計はこれらの条件を一応満たし、安価で取扱いも容易な測定器である。

カタ計は、人体に対する温熱環境要素のうち温度と気流速度による冷却力を測定するため Hill により考案されたものである³⁾。カタ計の冷却力は次式のようにして求められる。

$$H = \frac{F}{T} \quad (1.3.6)$$

H : カタ冷却力

F : カタ係数

T : 上部標線から下部標線まで下降(冷却)する時間(s)

カタ係数は、カタ計ごとに異なるもので、検定 (JIS B 7351) を行って決めている。カタ計の精度はカタ係数 F の精度に依存しているが、最近の実験においては F 値が最大-20.7%の誤差率を示すものがあり、気流速度の誤差率が-67.4%になるという報告がある

ので注意を要する⁴⁾。

カタ計による気流速度 v は次式により求めることができる。

1) $H/\theta \geq 0.6$ のとき(次式で $v \geq 1$ m/s)

$$v = \left\{ \frac{(H/\theta) - 0.13}{0.47} \right\}^2 \quad (1.3.7)$$

2) $H/\theta \leq 0.6$ のとき(次式で $v \leq 1$ m/s)

$$v = \left\{ \frac{(H/\theta) - 0.20}{0.40} \right\}^2 \quad (1.3.8)$$

ただし、 θ は

$$\text{常温用(N)} \quad \theta = 36.5 - t \quad (1.3.9)$$

$$\text{高温用(H)} \quad \theta = 53.0 - t \quad (1.3.9)$$

t : 室温

カタ計は上部標線が38°C、下部標線35°Cの常温用と同じく55°C、52°Cの高温用とがある。(1.3.9)式および(1.3.9)式の36.5, 53.0はそれぞれの中間値である。空気温が高くて、常温用のカタ計で冷却時間 T が2分以上になるときは、高温用のカタ計を使用する。表



図1.3.3 カタ計 写真1.3.2 カタ計と関連機器

表1.3.1 カタ計による気流速度の測定・計算表

H/θ	v (m/s)	H/θ	v (m/s)	H/θ	v (m/s)	H/θ	v (m/s)	H/θ	v (m/s)
0.20	0.00	0.35	0.14	0.50	0.56	0.65	1.23	0.80	2.02
0.21	0.00	0.36	0.16	0.51	0.60	0.66	1.27	0.81	2.08
0.22	0.00	0.37	0.18	0.52	0.64	0.67	1.32	0.82	2.14
0.23	0.01	0.38	0.20	0.53	0.68	0.68	1.37	0.83	2.20
0.24	0.01	0.39	0.23	0.54	0.72	0.69	1.42	0.84	2.27
0.25	0.02	0.40	0.25	0.55	0.76	0.70	1.47	0.85	2.34
0.26	0.03	0.41	0.28	0.56	0.80	0.71	1.53	0.86	2.41
0.27	0.03	0.42	0.31	0.57	0.85	0.72	1.53	0.87	2.48
0.28	0.04	0.43	0.33	0.58	0.90	0.73	1.63	0.88	2.55
0.29	0.05	0.44	0.36	0.59	0.95	0.74	1.68	0.89	2.62
0.30	0.07	0.45	0.39	0.60	1.00	0.75	1.74	0.90	2.68
0.31	0.08	0.46	0.42	0.61	1.05	0.76	1.80	0.91	2.75
0.32	0.09	0.47	0.45	0.62	1.09	0.77	1.85	0.92	2.82
0.33	0.11	0.48	0.49	0.63	1.13	0.78	1.91	0.93	2.90
0.34	0.12	0.49	0.52	0.64	1.18	0.79	1.96	0.94	2.97

1.3.1は(1.3.7)(1.3.8)式の計算表である。 H/θ がわかれば、気流速度 v を求めることができる。

測定上の手順と注意事項を次に述べる。

- 1) カタ計は写真1.3.2に示すように、魔法瓶に常温用で44℃、高温用で65℃の温水を入れ、その中にカタ計を入れる。2～3分ほどでカタ計の安全標線までアルコールが上昇する。
- 2) このカタ計を取り出し、布にて水滴をふき取ったのち、所定の位置に設置されたスタンドに取り付ける。この動作はすばやく行わなければカタ計が冷却されてしまい、アルコールが上部標線以下に下がってしまう。そのときには、初めよりやり直す。
- 3) カタ計より十分離れ、秒時計にてアルコールが上部標線から下部標線まで冷却される時間を測定する。
- 4) 冷却時間の記録と同時に、カタ計のカタ係数および常温用か高温用かの記録を行う。
- 5) アスマン乾湿計による同一測定点における室温の測定を行う。
- 6) 気流速度を計算により求める。

魔法瓶の水温を監視するため棒状温度計を用意し、水温が低くなったら温水を加えて所定の温度になるようにする。

カタ計による気流測定は放射熱の影響を顕著に受け、平均放射温度が室温より4℃高いときカタ計による測定値は30%小となるので注意を要する⁴⁾。

3.2.2 熱式風速計

電気的な測定器で携帯に便利で、かつ取扱い容易であることによりよく使用されている。風速計の規格(JIS T 8202)が制定され整備されてきたが、室内気流測定用としては、微風速(0.5m/s以下)の測定精度、検出部(受風部)の指向特性、気流速度の平均値測定などに問題がある。図1.3.4に指向特性の例を示す^{5),6)}。風速計BとDは指向特性に優れているので室内気流測定に適している。室内気流

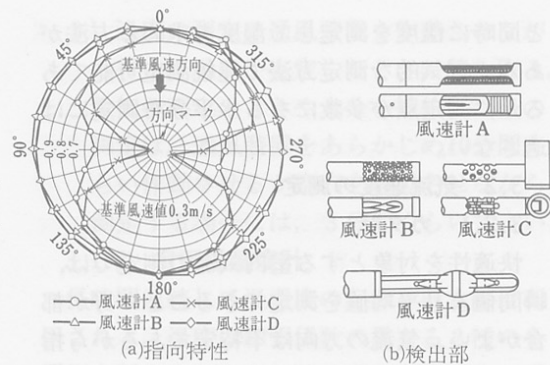


図1.3.4 熱式風速計の指向特性^{5),6)}

は変動しているが、平均値が測定できればよいので、応答性は多少悪くても差し支えない。読取りやすくするためには、メータ部に針の動きをFastとSlowに切換えできるようにしたものが多い。

風速計は2.1「気流分布の測定」で述べているように、較正を定期的に行う必要がある。長期間使用している間に検出部にゴミ(オイルミスト・塗料など)がついた場合には、外部から洗浄する。検出部によっては洗浄できないのもあるので、注意を要する。

3.3 放射熱の測定

グローブ温度計を使用して測定を行う。これはVernonにより考案されたもので、図1.3.5に示すように薄銅板製の直径15cmの中空球体である。表面は黒色つや消し塗とし、内部に棒状温度計の感温部が中心になるように挿入し、ゴム栓にて栓をし固定する。

測定上の手順と注意事項を次に述べる。

- 1) 棒状温度計はアスマン乾湿計で使用し

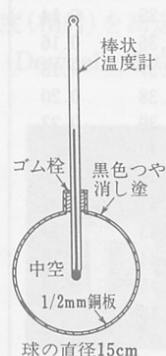


図1.3.5 グローブ温度計

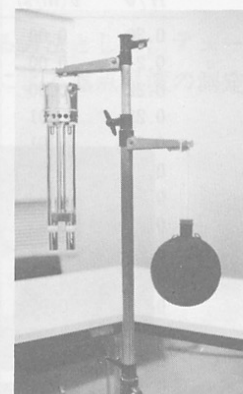


写真1.3.3

- たものと同様のものを使用する。
- 2) グローブ温度計を室内の測定点に設置したのち、約15分経過後棒状温度計の温度を読み取る。
 - 3) アスマン乾湿計による同一測定点における室温の測定を行う。
 - 4) グローブ温度計の表面は汚さないように清浄に保つようにする。また変形させないように保管・運搬には気をつけること。

4 演習の進め方

4.1 第1回演習

室内気候の測定は、最も基礎的なものであり、応用されることが多い。したがって、測定方法を理解し、取扱いに慣れるだけでなく、測定器の保守整備ができるように心掛ける。第1回演習は、実習室内にて各要素の測定について実習を行う。

1) 温湿度

温湿度測定はアスマン乾湿計を使用して測定実習を行う。まず、アスマン乾湿計の湿球温度計のガーゼ交換、通風装置の点検などを次の要領で行う。

- ① 通風装置を本体より取り外す。本体を固定し、通風装置を手で左回しにすると外れる。次に本体よりガーゼの付いている湿球温度計を上部(通風装置)側へ抜き出す。このときパッキン部分が抜けなときは温度計を少し回しながら抜くとよい。
- ② 湿球温度計のガーゼをナイフで切り取る。新しいガーゼを3.1.1で述べた手順に従って取り付け。
- ③ 新しいガーゼを取り付けた湿球温度計を本体に差し込む。パッキンが本体と温度計の間に入り、空気の漏れがないようにする。
- ④ 本体に通風装置を取り付ける。
- ⑤ 通風装置を作動させ、ファンの回転にむらがなく、通風量が十分あるか確かめる。通風量のチェック方法として熱式風速計で吸引口の風速測定を行うとよい。この場合の風速は球部の通過風速でなく

参考値であるが、通風量チェックとしてはこの程度でよい。通風装置が新しいとき測定しておくと比較しやすい。通風量が不足しているときは電池交換を行う。

- ⑥ 通風装置の電池を交換してもファンの回転が滑らかでなく不規則で、通風量が不足するような場合は通風装置を交換する。整備されたアスマン乾湿計にて、実習室内の空気の温湿度を3.1の測定上の注意事項に留意しながら測定実習を行う。

2) 気流速度

気流速度測定はカタ計を使用して測定実習を行う。用意するものは次のとおりである。

- ① カタ計 常温用, 高温用各5本
- ② 魔法瓶(カタ計用広口) 2個
- ③ 棒状温度計 2本(0～100℃)
- ④ 秒時計 2～4個
- ⑤ スタンド 2台
- ⑥ 乾燥した布 数枚
- ⑦ アスマン乾湿計 1台
- ⑧ 扇風機
- ⑨ 熱式風速計(比較・参考用として)
- ⑩ その他, バケツ・湯・水

2個の魔法瓶に棒状温度計で温度を測定しながら、湯と水を入れる。常温用(44℃)と高温用(65℃)の2種類の温水の入った魔法瓶を用意する。カタ計を常温用、高温用別に魔法瓶の温水の中に入れる。

カタ計のカタ係数 F の検定を最初に行う。実習室の台上にスタンドを用意する。少し離れたところに扇風機を配置してスタンドのところで0.2～0.5m/s程度の気流速度になるように熱式風速計等で測定しながら調整する。

3.2.1のカタ計による気流速度測定手順に従って測定する。同一カタ計につき数回測定を行い、気流速度で±20～30%以上も測定値に差があるカタ計は、カタ係数 F の再検定を行わなければ使用不可能なので、ここでは実習には使用しないことにし、そのようなカタ計は除外する。カタ計による測定を行う際に、表1.3.2に示すような記入用紙を用意すると測定作業が効率的である。

次に実習室内の気流速度を測定実習する。同一点にて同じカタ計で3回測定し平均値を求める。常温用および高温用いずれも使用してみる。常温用で冷却時間 T が2分以上になるときは測定不能なので高温用のみで測定する。

表1.3.2 カタ計による気流速度の測定値の記入用紙の例

場所 回数	常温用 (N) 高温用 (H)	カタ係数 F	冷却時間 T (s)	気温 t (°C)	カタ 冷却力 $H = F/T$	N用 $\theta = 26.5 - t$ H用 $\theta = 53 - t$	H/θ	気流速度 v (m/s)
1	N	385	80	235	4.81	13	0.37	0.18

3) 放射熱

放射熱測定はグローブ温度計を使用して測定実習を行う。用意するものは次のとおりである。

- ① グローブ温度計(直径15cm) 2～3個
- ② 棒状温度計(0～50°C 目盛) 2～3本
- ③ スタンド 2～3台
- ④ アスマン乾湿計 1台
- ⑤ 気流速度測定器(カタ計・熱式風速計) 1台
- ⑥ その他、放射パネル

実習室の台上のスタンドにグローブ温度計を設置する。棒状温度計は3.3で記述したようにアスマン乾湿計用と同じものとする。

通常の実習室では放射熱は弱いので、ここでは実習の意味で電気式の放射パネルを利用する。放射パネルのサイズは90cm×180cmくらいであればよい。このパネルは壁面の1部になるように設置する。

3.3に記述した測定手順に従って測定する。測定回数は同一設定条件であれば1回でよい。測定値から2.4の(1.3.3)式により MRT を求める。

4.2 第2回演習

実際の室内での測定実習を行い、測定値の処理方法・評価方法について理解できるようにする。

にする。

事務室のような用途で床面積300m²前後の部屋があれば最適である。空調設備の有無および方式については問わないが、窓を開放したままの室内は実習の性格上あまり適当でない。

室内の平均的な温熱環境要素を求めるためには室内の数箇所で測定を行う必要がある。測定点を数多くとると詳しい分布状況を知ることができるが、測定に時間がかかりすぎる。測定点を決める際の日やすとして

- ① 室内の在室者が座っている範囲をすべて含むようにほぼ均等に測定点を設ける。
- ② 床面積15～20m²当りに1測定点を設ける。
- ③ 測定点は床上120cmを基準とし、必要に応じて床上10ないし20cmを加える。

測定結果より温熱環境要素の分布図を描くことにより、室内の状況が明確になるので、図1.3.6に示すようにして室内全体の分布図を描くとよい。描き方は測定値の間を比例配分して同じ値を結ぶようにする。途中で不連続な点がないようにし、かつ等温度線は交差しないと考える。

測定する環境要素ならびに測定器は次のものを使用する。

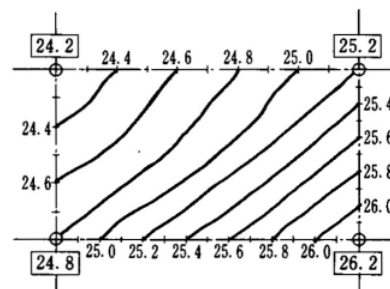


図1.3.6 等温度線の描き方の例

のを使用する。

- ① 温湿度 アスマン乾湿計
- ② 気流速度 カタ計, 指向性のない熱式風速計
- ③ 放射熱 グローブ温度計

測定する室内が決まったら、平面図に机・椅子・家具などの配置を記入する。次に測定

表1.3.3 室内における実測例

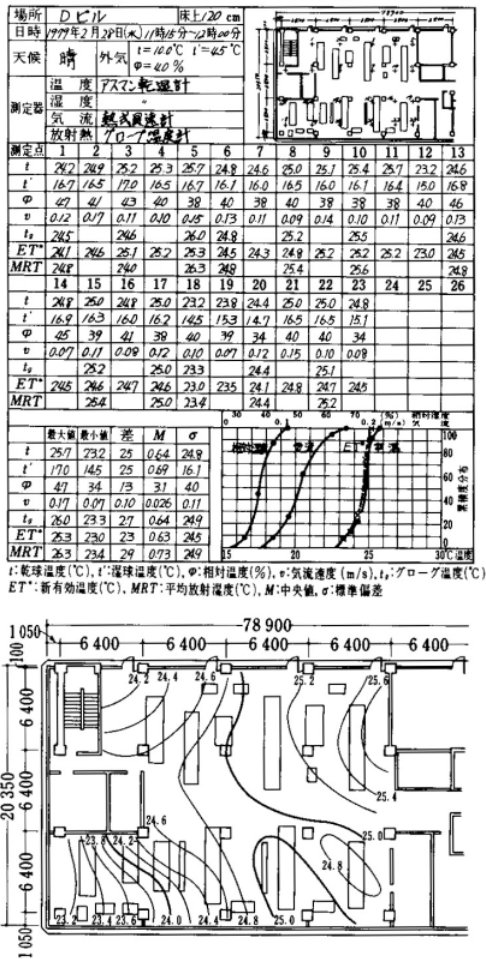


図1.3.7 温度分布図(実測例)

点を決め、数グループで分担して測定を行う。

5 レポートのまとめ方

第2回演習を中心としたレポートのまとめ方が中心になる。測定には表1.3.3に示すような記入用紙を用意するとよい。測定結果から新有効温度 ET* を資料7)より求める。また、平均放射温度 MRT を2.4より求め記入する。測定値の取りまとめ方として、表1.3.3の下側の表のような方法をとる。室内の温度分布図を図1.3.7のように描く。他に、湿度気流速度および新有効温度などの分布図も描くと室内の状況をよく把握することができる。

最後に室内の環境を他の基準値と比較してみる。その方法として、図1.3.8のように資料7)

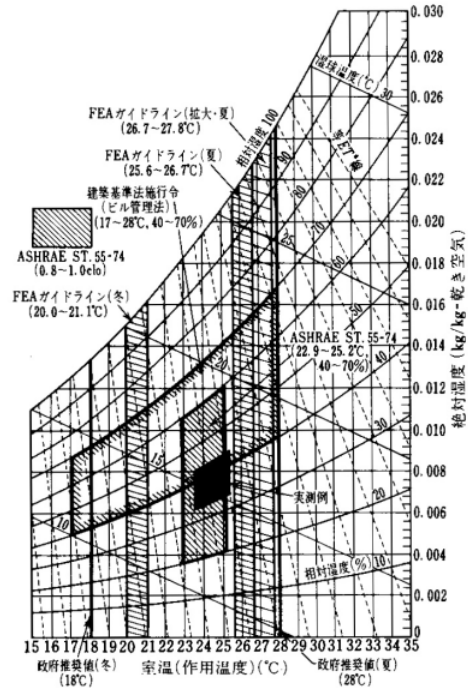


図1.3.8 空気線図上における実測結果と他の基準との比較

上に記入してみるとよい。

文 献

- 1) 厚生省省令「建築物の衛生的環境の確保に關する法律」(通称、ビル管理法), 1970
- 2) IHVE: Guide Book A, pp. 1~4, 1970
- 3) Leonard Hill: The Kata-thermometer in studies of body heat and efficiency, Medical Research Council Special Report, No. 73, 1923
- 4) 細川輝男・吉沢 晋: カタ計による風速測定に關する研究(2) カタ係数の実測について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1974
- 5) 木村栄一・南野 脩: 携帯用熱式風速計の特性について(その1)指向性, 日本公衆衛生雑誌, vol. 25, No. 10, p. 611, 1978
- 6) 木村栄一・南野 脩: 室内気流測定用試作風速計の特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 305, 1979
- 7) 日本建築学会編: 建築設計資料集成, 1・環境, p. 109, 1978

付表1.1 通風乾燥球湿度計用湿度表(氷結しないとき、空気の圧力が1気圧のとき)(単位:%、JIS Z 8806)(Sprungの式による)

湿度球 (℃)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0																																							
乾燥球との差 t-t' (deg)																																																																															
40	99	98	96	95	94	93	92	91	89	88	87	86	85	84	83	81	78	76	73	71																																																											
39	100	99	97	96	95	94	93	92	90	89	88	87	86	85	84	83	80	78	75	73	71	69	67																																																								
38	100	99	97	96	95	94	93	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	80	78	75	73	71	68	66	64	62																																																					
37	100	99	97	96	95	94	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	80	77	75	72	70	68	66	64	62	60	58	56	54																																																		
36	100	99	97	96	95	94	92	91	90	89	88	87	85	84	83	82	79	77	74	72	70	68	65	63	61	59	57	55	53	52	50																																																
35	100	99	97	96	95	94	92	91	90	89	87	86	85	84	83	82	79	77	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55	53	52	50																																																
34	100	99	97	96	95	93	92	91	90	88	87	86	85	84	83	82	79	76	74	71	69	67	64	62	60	58	56	55	53	51	49	48	46	44	43																																												
33	100	99	97	96	95	93	92	91	90	88	87	86	85	84	82	81	79	76	73	71	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	49	47	46	44	43	42	41	39																																									
32	100	99	97	96	95	93	92	91	89	88	87	86	84	83	82	81	78	76	73	70	68	66	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	40	38	37	36	35	34	33	32	30	29	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0								
31	100	99	97	96	94	93	92	90	89	88	87	85	84	83	82	81	79	76	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	48	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
30	100	99	97	96	94	93	92	90	89	88	86	85	84	83	82	80	77	75	72	69	67	65	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0							
29	100	99	97	96	94	93	91	90	89	87	86	85	84	83	82	81	80	77	74	72	69	66	64	62	60	58	57	55	53	51	49	47	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0					
28	100	99	97	96	94	93	91	90	89	87	86	85	84	83	82	81	80	77	74	71	68	66	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
27	100	98	97	95	94	92	91	90	88	87	86	84	83	82	81	79	76	73	71	68	65	63	60	58	56	54	52	50	48	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0								
26	100	98	97	95	94	92	91	90	88	87	85	84	83	82	81	80	79	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	51	49	47	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0							
25	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	84	82	81	80	78	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	50	48	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0								
24	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	83	82	81	79	78	75	72	69	66	63	60	58	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																	
23	100	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	83	82	80	79	78	76	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	49	47	44	42	40	38	36	34	32	30	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																	
22	100	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	83	81	80	78	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																	
21	100	98	97	95	93	92	90	88	87	85	84	82	81	79	78	77	73	70	67	64	61	58	56	53	51	49	46	44	42	40	38	36	34	32	30	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																		
20	100	98	96	95	93	91	90	88	86	85	83	82	80	79	77	76	73	69	66	63	60	58	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																		
19	100	98	96	95	93	91	89	88	86	85	83	81	80	78	77	76	72	69	65	62	59	57	54	51	49	47	44	42	40	38	36	34	32	30	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																			
18	100	98	96	94	93	91	89	87	86	84	83	81	79	78	76	75	71	68	65	62	59	56	53	50	48	45	43	41	39	37	35	33	31	30	29	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																				
17	100	98	96	94	92	91	89	87	85	84	82	80	79	77	76	74	71	67	64	61	58	55	52	49	47	44	42	40	38	36	34	32	30	28	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																					
16	100	98	96	94	92	90	89	87	85	83	82	80	78	77	75	74	70	66	63	60	57	54	51	48	45	43	41	39	37	35	33	31	30	29	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																					
15	100	98	96	94	92	90	88	86	85	83	81	79	78	76	74	73	69	65	62	59	55	52	48	45	42	40	37	35	33	31	30	29	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																							
14	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	79	77	75	74	72	68	64	61	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	31	29	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																								
13	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	78	76	75	73	71	67	63	60	56	53	50	47	44	41	39	36	34	32	29	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																									
12	100	98	96	93	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	66	62	59	55	52	48	45	42	40	37	35	32	30	28	26	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																										
11	100	98	95	93	91	89	87	85	83	81	79	77	75	73	71	69	65	61	57	54	50	47	44	41	38	35	33	31	29	27	25	24	22	21	20	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																										
10	100	98	95	93	91	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70	69																																																															

3.1 CC 熱電対による外気温度測定

異種の2金属を接触させると密度の異なる自由電子の拡散により、接点温度に応じた接触電位差を生ずる。これは Seebeck 効果とよばれ、例えば銅とコンスタンタン（銅約55%、ニッケル約45%の合金）のような2種類の金属線で図1.1.11のような閉回路を構成し、一方の接点を基準接点として一定温度に保ち、他方の接点を測ろうとする温度内に入れると、両接点間の温度差に対応する熱起電力が得られる。このような熱電対には、CC 熱電対を含めて日本工業規格（JIS C 1602—1981）で定められた7種類の熱電対がある。なかでもCC 熱電対は比較的安価で入手しやすく、測定温度範囲も外気温度程度であれば全く問題ない。また、一般の外気温度測定では検出端に対するそれほど速い応答速度も要求されないため、線径が0.32～0.65mm程度の単線か、線径0.1mm程度の素線10本ほどを束ねた複線を用いれば十分である。ただし、裸状またはエナメル被覆のみの単線は、断線事故や测温接点以外の部分における短絡事故を起こしやすいので、できれば平行耐熱ビニル被覆線（デュプレックス熱電対）を用い、さらに外部からの雑音電圧に対してシールドされたものを使用することが望ましい。

熱電対の作成は、まず測定箇所から記録計



図1.1.11 熱電対
 (矢印は $t_2 > t_1$ の場合の電流の方向を示す)⁹⁾

までの距離を考えて必要な長さを切り取り、測温接点とする部分の素線をよく磨いてハンダ溶接（あるいはガスまたはアーク溶接）し、日射その他の熱放射による測温接点の温度上昇を防止するため、日射吸収率の小さい白色塗料やアルミコーティングを施すか、筒状に加工したアルミはくで測温接点付近を覆うなどの遮蔽方法を考える。アルミ筒遮蔽の場合、日射が強く風の弱い日中には筒内部に熱気がこもり、示度が 2°C 近く高くなることもあるので注意が必要である⁹⁾。できれば、図1.1.3に示した通風型温度計や、電動式アスマン乾湿計の乾球・湿球温度計を取り外して通風筒内部に測温接点を挿入した装置を使用するなど、遮蔽装置内の通風を積極的に図ることが重要である。

次に、基準接点は図1.1.12に示すように魔法瓶の中の砕氷水中に入れる氷点式基準接点とすることが多いが、このとき接点を電気的絶縁樹脂で保護するか、ガラス管に注入した流動パラフィン中に入れるなど、リーク防止のための処置が必要である。長期の測定には電子冷却式の基準温度装置を利用すると便利である。また、近年の自動平衡型直流電位差計やデジタル・データ集録装置には、補償式基準接点や室温式基準接点を採用したものが多く、この場合は図1.1.13のように記録計入力端子板(+), (-)端子にそれぞれ測温接点からの(+)脚 C_w , (-)脚 C_o を接続すればよい。特に、デジタル方式の集録装置では、熱

起電力を装置内部のA/D変換回路で2進化10進信号(BCD信号)に換え、mV系から $^{\circ}\text{C}$ 系へ単位換算したデータをプリントアウトすることも、また必要に応じて他の記憶装置にデータを転送・格納することもできる¹⁰⁾。しかしながら、測定時の諸障害を早期に発見・修復したり、集録データをチェックするためには、アナログ記録計により同時に監視しておくことが非常に有効である。

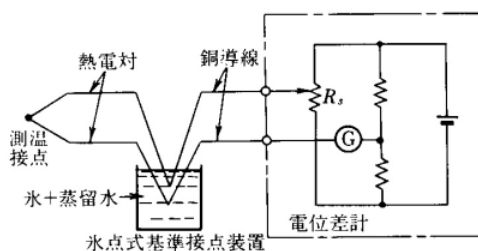


図1.1.12 氷点式基準接点使用の場合の結線方法⁹⁾

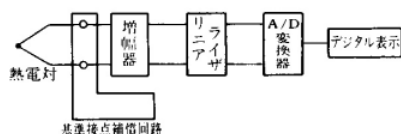


図1.1.13 デジタル温度計の構成⁹⁾

ASHRAEのNew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New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。

New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調和設備・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。

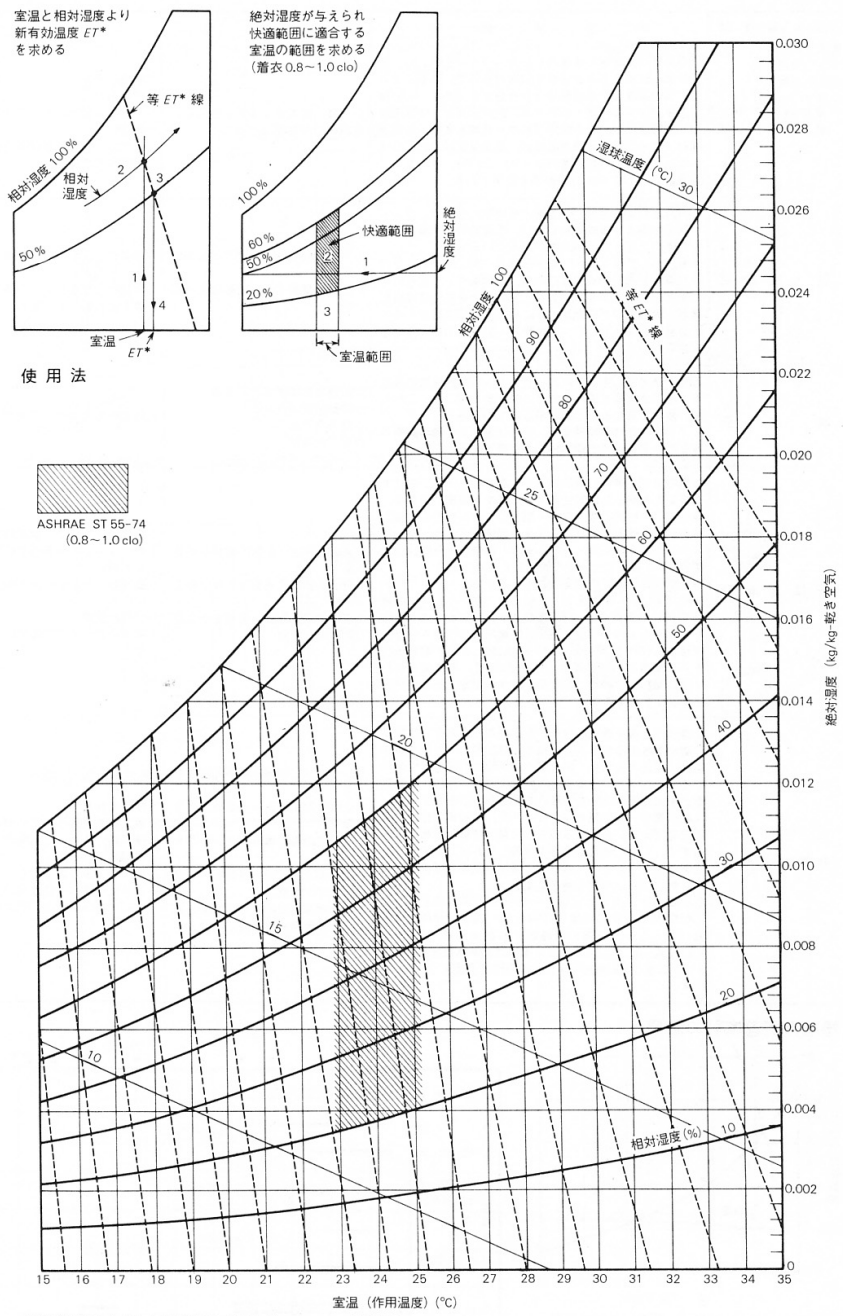
- 温度 17.0～28.0℃
- 相対湿度 40～70%
- 気流速度 0.5 m/s 以下

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 を参考にして、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*2 [2]

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New有効温度 ET* (ASHRAE)*1 [1]

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*3 [3]