

簡易放射暖房試験室によるパネルラジエータの放熱量測定

富田 和彦, 保科 秀夫

Measurement on Thermal Output of Panel Radiators using Simplified Test Chamber

Kazuhiko TOMITA, Hideo HOSHINA

抄 録

道立工業試験場に配備されている簡易放射暖房試験室によるパネルラジエータの放熱量測定精度を検証するため、試験室の温度特性を把握するとともに、東北大学の行った測定結果を基準に、同大学が測定した温水パネルラジエータと同機種 of 放熱器 2 機種を用いて全放熱量と放射放熱量を測定し、それらの結果を比較検討した。

試験室の温度特性として、室内周囲面温度および垂直断面と水平断面の空気温度分布を測定した結果、天井、床、周囲壁の表面温度間に大きなバラツキのあること、水平断面はほぼ均一な温度分布を示すが、垂直断面は全放熱量が増加するにともない上下温度差が大きくなり、全放熱量が等しい場合でもパネルラジエータがフィン有るか否かによって上下温度差の異なることがわかった。全放熱量の測定精度は、東北大学の測定値を基準にとると、フィンなしパネルラジエータが+4%、フィン付きが+2.5%、また放熱量割合の差はフィンなしが-4.2%、フィン付きが-3.3%を示した。

1. はじめに

道立工業試験場では、暖房用放熱器の放熱量を測定するための実験施設を配備し、試験研究並びに企業からの依頼試験などに対応している。本施設の試験室（名称：簡易放射暖房試験室）は、大きさや室温制御方法などが JIS 規格で定められている試験室と異なるため、ここで測定される放熱量の精度を検証しておく必要がある。

パネルラジエータの放熱量測定法については、JIS A4004-1987¹⁾(自然対流・放射形放熱器)で規定されている。パネルラジエータのような放射型放熱器の性能を評価するためには、対流型放熱器のように単に放熱量を求めるだけでは不十分であり、放熱量（以下、全放熱量と称する。）を放射成分と対流成分に分離して求める必要がある。このため日本暖房機器工業会では平成 3 年、早稲田大学理工学部の田辺の研究成果を基に、規格 HA-017(パネルラジエータのふく射放熱量測定方法)を制定した²⁾。また東北大学の吉野^{3),4)}らは、この制定に先立ち、当規格と同じ測定法に基づいて M 社製の温水パネルラジエータの全放熱量に対する放射成分の割合（以下、放射放熱量と称する。）を測定し、その精度や問題点について詳細な検討を行っている。

本研究では、簡易放射暖房試験室によるパネルラジエータの放熱量測定精度を検証するため、東北大学の測定結果を基準に、同大学が測定したパネルラジエータと同機種の放熱器

2 台を用いて全放熱量と放射放熱量を測定し、これらの結果について比較検討した。なお、東北大学の試験室の仕様は、天井高さ 2.2m (JIS では 2.7m)を除いては JIS に準じている。

2. 簡易放射暖房試験室

2.1 試験室の大きさおよび構造

図 1 に試験室の平面図、断面図を示す。試験室の大きさは、床面積 2.7m×3.6m、天井高さ 2.2m で、床面積 9.72m²、容積 21.4m³ である。木構造で、床、天井、壁は、厚さ 100mm のスチレンフォームで断熱し、天井と壁の内装はスレート板（表面：アクリルウレタン樹脂塗装仕上げ、クリーム色）、床は長尺塩ビシート仕上げである。

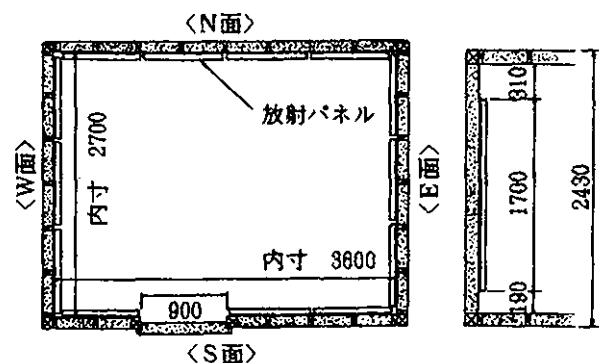


図 1 簡易放射暖房試験室の平面図・断面図

2.2 室温制御

図1に示すように、室温制御用として放射パネル13枚が扉部分を除く周囲壁面（N面4枚、W面、S面、E面各3枚）に設置されている。ここで使用した放射パネルは幅850mm、高さ1700mm、厚さ12mmの床暖房用金属製パネルであり、配管材に直径8mmの円形銅管が、表面材に厚さ0.6mmの鋼板が使われている（図2）。なお、鋼板表面をアクリル樹脂塗料で塗装した。この塗料の分光放射率⁵⁾は図3に示すとおりで、全放射率は0.96である。

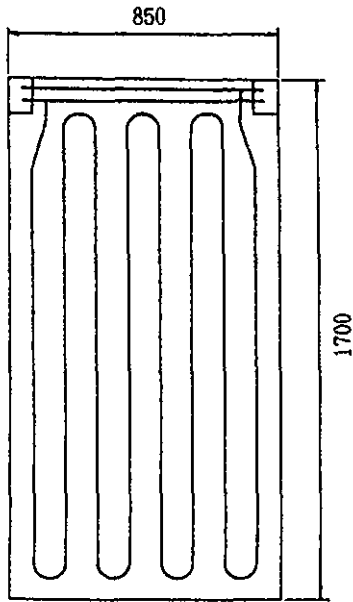


図2 放射パネルの配管図

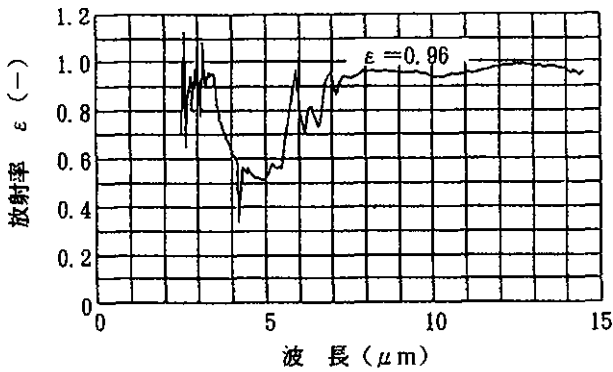


図3 放射パネル表面材の分光放射率

室温制御システムのフローを図4に示す。タンク内の循環水はヘッダーで4系統に分岐され、試験室内のN面、W面、S面、E面の各放射パネルへと送られる。試験室の温度制御は、循環ポンプ（P2）を常時運転し冷却パネルに循環水を連続通水させ、試験室内温度を温度センサ（TE2）で検出してタンク内循環水温度（TE1）を制御することによって行われ

る。なお、タンク内温度は冷凍機（RC）を連続運転し、プラグヒータ（H）のオン・オフにより所定温度に制御される。

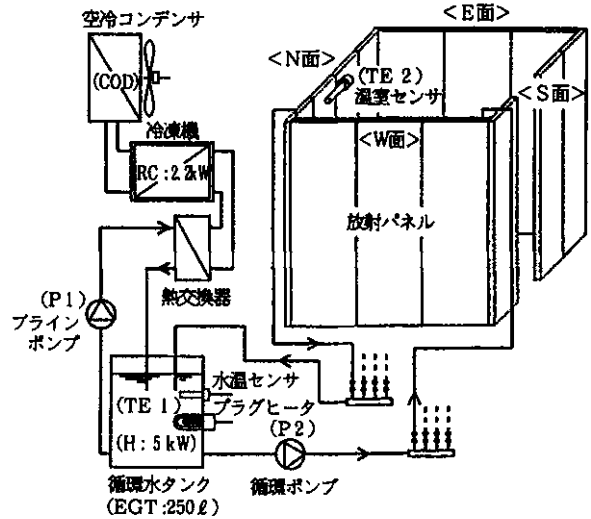


図4 冷却水循環方式による室温制御システム

3. 暖房システム

3.1 暖房システム

放熱器に温水を供給する暖房システムを図5に示す。電気温水器（容量60ℓ、出力6kW）で作られた温水は、循環ポンプにより放熱量測定対象の放熱器に供給され、流量計を通して温水器に戻り循環する。流量計には容積型流量計（オーバル機器工業（株）製、マイクロオーバルII）を使用した。

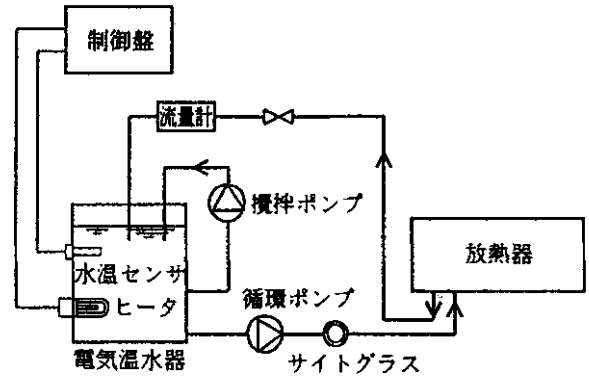


図5 温水暖房システム

3.2 放熱器

測定に用いた放熱器は、東北大学が測定した鋼板製パネルラジエータと同じ森永エンジニアリング（株）のTP10（フィンなし）およびTP11（フィン付き）の2機種である。表1にパネルラジエータの仕様、図6に形状を示す。

これら測定対象のパネルラジエータは、図7に示すように架台（合板）に取り付けられ、試験室内のN面中央壁前に設置される。

表1 供試パネルラジエータの仕様

仕		様		カタログ値
機種名	幅(mm)	高さ(mm)	重量(kg)	放熱量*(W)
TP10	1000	500	10	560
TP11			15	830

*) ΔT = 平均温水温度 (70℃) - 室温 (20℃) = 50K

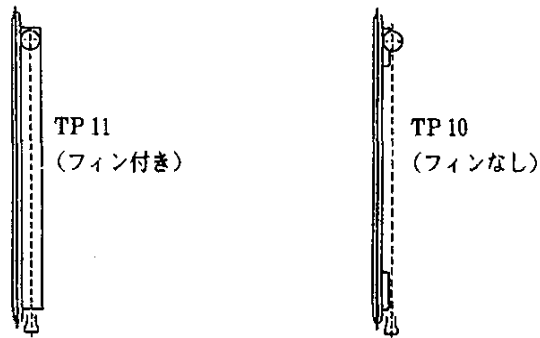


図6 供試パネルラジエータの形状

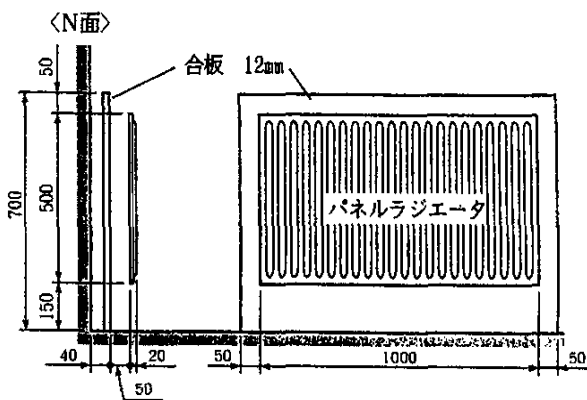


図7 パネルラジエータの設置状態

4. 測定

4.1 測定条件

室温制御の特性把握と測定方法を決めるための予備測定では、放熱器にパネルラジエータ TP10 を用い、電気温水器の設定温度は 75℃、設定流量 72 l/h の条件で暖房システムを運転した。放熱量の測定では、フィンなし TP10 とフィン付き TP11 の 2 機種のパネルラジエータについて、各々設定温度を 55℃、65℃、75℃、85℃ の 4 段階とし、設定流量 72 l/h の条件で行った。

測定はパネルラジエータ内の温水温度および室内温度が安定したことを確認後、2 時間連続して行った。

4.2 放射放熱量の測定と算出方法

放射放熱量の測定方法は日暖工規格 HA-017²⁾ で詳細に記

載されているが、ここでは測定方法の概略と使用した計算式について示す。

パネルラジエータの前面に、パネルラジエータと同じ大きさの遮蔽板を 10mm 離して設置した時と設置しない時の放射熱量を放射計 (A 面：パネルラジエータ側、B 面：パネルラジエータ反対側) を用いて計測し、計算式 (1) 式から正味の放射熱量 Q_p を求める (図 8 参照)。

$$Q_p = \frac{Q_a - Q_a'}{F_p} + Q_p' - \sigma \cdot T_a'^4 \quad (1)$$

$$Q_p' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 + (1 - \varepsilon) \cdot Q_r' \quad (2)$$

但し、

$$Q_r' = Q_b = Q_b' \text{ とする。}$$

また、

$$F_p = \frac{4}{2\pi} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{a^2+c^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2+c^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{b^2+c^2}} \right) \quad (3)$$

単位面積当たりの全放熱量は (4) 式で、放射熱量割合は (5) 式で算出した。

$$Q_1 = \frac{Q}{A_1} \quad (4) \quad R = \frac{Q_p}{Q_1} \times 100 \quad (5)$$

ここで、 $a = 250$ 、 $b = 500$ 、 $c = 600$

Q : 全放熱量 [W]

Q_1 : 単位面積当たりの全放熱量 [W/m²]

Q_p : パネルラジエータからの正味の放射熱量 [W/m²]

Q_p' : 遮蔽板からの A 面の放射熱量 [W/m²]

Q_a : 遮蔽板がないときの A 面の放射熱量 [W/m²]

Q_a' : 遮蔽板があるときの A 面の放射熱量 [W/m²]

Q_b : 遮蔽板がないときの B 面の放射熱量 [W/m²]

Q_b' : 遮蔽板があるときの B 面の放射熱量 [W/m²]

Q_r' : 遮蔽板以外からの放射熱量 [W/m²]

T_a' : 放射計付近空気温度 [K]

T_s : 遮蔽板表面温度 [K]

F_p : 形態係数 [-]

σ : ステファン・ボルツマン定数 (5.67×10^{-8}) [W/m²K⁴]

ε : 遮蔽板の放射率 (0.96) [-]

A_1 : パネルラジエータの放熱面積 (0.5) [m²]

R : 放射熱量割合 [%]

である。

である。

4.3 測定項目および測定機器

測定項目は、室内空気温度分布、周囲壁面温度、パネルラジエータの表面温度と出入口温水温度、管内温水流量、室内

周囲壁面からの放射放熱量などである。放熱器、遮蔽板、放射計および各温度測定点の配置図を図8に示す。

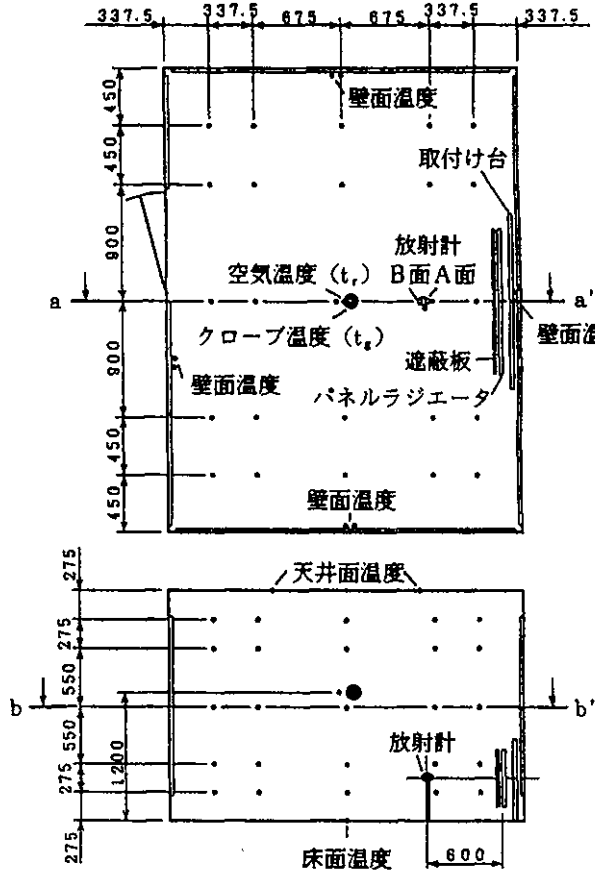


図8 パネルラジエータ、遮蔽板、各種センサの配置図

空気温度の測定点は、パネルラジエータ中央を横切る垂直断面(a-a')温度分布として25点、および床上1100mm位置での水平断面(b-b')温度分布として25点の計50点とした。この他、室内中央床上1200mmの位置に空気温度 t_a とグローブ温度 t_g が各1点、またパネルラジエータの入口空気温度 t_a がパネルラジエータのから前方70mmの位置に3点、表面温度 t_p は4点とした(図9)。周囲壁面の測定点は、各壁面の放射パネル中央に2点(配管上と配管の間)づつの計8点、および床面2点、天井面1点とした。放射計はパネルラジエータの中心より600mm離して設置し、その付近の空気温度 t_a' も測定した。

空気温度および表面温度の測定には、0.32mmφ銅・コンスタンタン熱電対を、温水温度の測定には0.2級の測温抵抗体を使用した。放射放熱量の測定には放射計(B & K社製、Indoor Climate Analyzer, Type 1213)²⁾を用いた。遮蔽板は、厚さ2mmの合板間に厚さ25mmの発砲ポリスチレン板を挟んだもので、大きさはパネルラジエータと同じ幅1000mm、高さ500mmとし、表面を周囲放射パネルと同じ塗料で塗装仕上げした(図3参照)。

データは60チャンネルのリモートスキャナ(日本電気三栄(株)製)2台とパーソナルコンピュータ(PC9801RA)によって1分間隔の瞬時値を自動収録した。

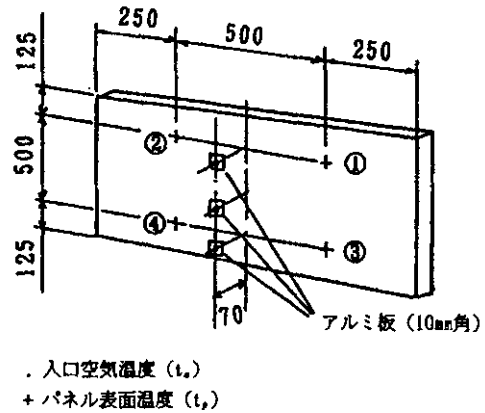


図9 パネルラジエータ付近の温度測定箇所

5. 結果および考察

5.1 予備測定

(1) 温度の経時変化

図10(1)にパネルラジエータに供給される温水入口出口温度とパネルラジエータ平均表面温度、および放射計受照面での放射熱量(Q_a :パネルラジエータ側、 Q_b :パネルラジエータと反対側)の経時変化を、図10(2)に天井面、床面および各壁面に設置した放射パネルの表面温度(配管上と配管間の平均)の経時変化を、また図10(3)に試験室中央床上1200mm位置での空気温度とグローブ温度、パネルラジエータ入口平均空気温度および放射計付近空気温度の経時変化を示す。

図10(1)から、温水出入口温度は測定期間中一定しており、これによりパネルラジエータ表面温度も約62.5℃と安定していることがわかる。パネルラジエータ側の放射熱量 Q_a は489W/m²~496W/m²,反対側の Q_b は393W/m²~401W/m²の範囲で周期的に変動し、これらの差 $Q_a - Q_b$ は最大98W/m²,最小95W/m²の範囲にある。このようにパネルラジエータの表面温度が一定であるにもかかわらずA面の放射熱量が変動していることや図10(2)からもわかるように放射パネル面温度が冷却水の温度変動に追従していることなどから、放射計が受ける放射熱量はパネルラジエータ周囲の壁面温度に影響されることがわかる。

放射パネルの温度変動幅は、N面温度 t_N が12.3℃~15.8℃(差3.5K),W面温度 t_w が10.3℃~13.8℃(差3.5K),S面温度 t_s が11.5℃~14.6℃(差3.1K),E面温度 t_e が10.7℃~14.1℃(差3.4K)であり、また天井面温度 t_c では18.9℃~19.7℃(差0.8K),床面温度 t_f は16.9℃~17.5℃(差0.6K),これらの周期は約90分であることがわかる。また図10(3)からわかるように、室内空気温度の変動も周囲放射パネル温度に追従し、放射計付近の温度は15.6℃~16.7℃(差1.1K),試験

室中央床上 1200mm の空気温度とグローブ温度は 17.8℃～19.1℃(差 1.3K)および 17.4℃～18.7℃(差 1.3K), 入口平均空気温度は 22.1℃～23.2℃(差 1.1K)である。但し, この時のパネルラジエータの全放熱量は 628W, 温水流量は 73.8l/h である。

$$t_{wa} = \frac{\sum t_i \cdot A_i}{A_{wa}} \quad (6)$$

$$\sum t_i \cdot A_i = \{t_E \cdot 3 A_{FP} + t_r \cdot (A_E - 3 A_{FP})\} + \{t_N \cdot 4 A_{FP} + t_r \cdot (A_N - 4 A_{FP})\} + \{t_S \cdot 3 A_{FP} + t_r \cdot (A_S - 3 A_{FP})\} + \{t_W \cdot 3 A_{FP} + t_r \cdot (A_W - 3 A_{FP})\} + t_c \cdot A_c + t_f \cdot A_f$$

$$A_{wa} = (A_E + A_N + A_S + A_W) + A_c + A_f$$

ここで, A_E : E 側壁面積, A_N : N 側壁面積, A_S : S 側壁面積, A_W : W 側壁面積, A_c : 天井面積, A_f : 床面積, A_{FP} : 放射パネル面積 (1 枚) である。

(2) 周囲壁面温度の放射熱量に与える影響

前述のように測定期間中の放射計が受ける放射熱量は, 周囲壁面温度, 特に放射パネル面温度の影響を受けて周期的に変動し, パネルラジエータ側とその反対側の放射熱量の差 ($Q_a - Q_b$) は最大 $98W/m^2$, 最小 $95W/m^2$ を示した。これらがパネルラジエータの放射熱量 Q_p にどの程度影響を与えるのか, (1)式を用いて Q_p を算出したところ, 各々 $342W/m^2$ および $335W/m^2$ (その差 $7W/m^2$) となり, 2% 程度の変動誤差であることがわかった。但し, $Q_b = Q_a' = Q_b' = 396.4W/m^2$, $t_s = t_a' = 16.1^\circ C$, $F_p = 0.287$, $\epsilon = 0.96$ として算出した。

このように放射熱量は約 2% の変動誤差で周期的に変化するのに対し, 測定は短時間で行う必要がある。このため放射熱量の測定では, この誤差をできるだけ少なくするため, 放射熱量割合を求める (5)式において, 全放熱量 Q_i を放射熱量を測定する直前の 5 分間の平均値として求めた。

5.2 放熱量の測定

(1) 室内空気温度分布

パネルラジエータ TP10 に設定温度が $75^\circ C$ の温水を流した場合の室内空気の垂直断面温度分布を図 11(1)に, 水平断面温度分布を図 11(2)に示す。これらは, 各々 25 点の温度データを数値可視化プログラム(日本電子データム(株)製)を用いて 10 色にカラーマップ表示したものである。垂直断面温度分布を見ると, 床面から天井面に向かって温度勾配が生じているのがわかる。特にパネルラジエータ前面付近およびパネルラジエータ上部から天井面に向かって温度が高くなっており, また中央床面上 275mm と床面上 1925mm(天井面下 275mm)の位置での温度差は約 3.5K になっているのがわかる。水平断面温度分布については, パネルラジエータ付近と放射パネルが設置されていない扉付近の温度が比較的高く, 右上隅の放射パネルの冷却水入口付近の温度が低くなっている。しかし垂直断面温度分布と比べると, これらの温度差は 1K 以内であり, ほぼ均一な温度分布になっているのがわかる。

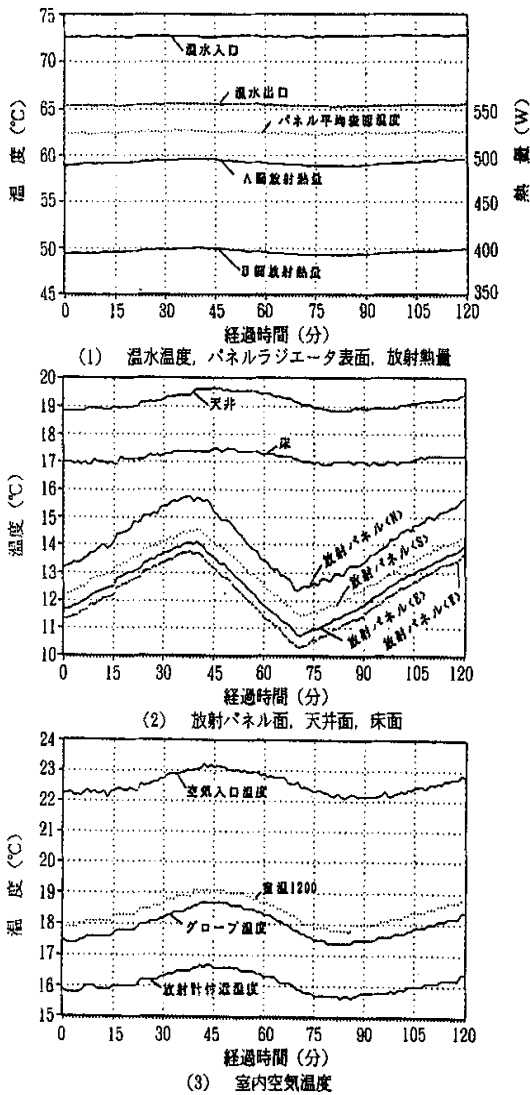


図10 各部温度の経時変化

以上のことから, 本試験室の室温制御特性は, 天井, 床, 周囲壁 (4 面) の表面温度間に大きなバラツキ (天井面と W 面放射パネル間で最大 8.7K) があること, また温度変動周期は 90 分程度であることがわかる。従って, 以後の放熱量測定では, 測定期間を変動周期を越える時間間隔とし, 各測定データはその間の平均値として処理することにした。また, 各周囲面温度 t_{wa} については面積加重平均として (6)式から算出される平均放射温度で代表させた。

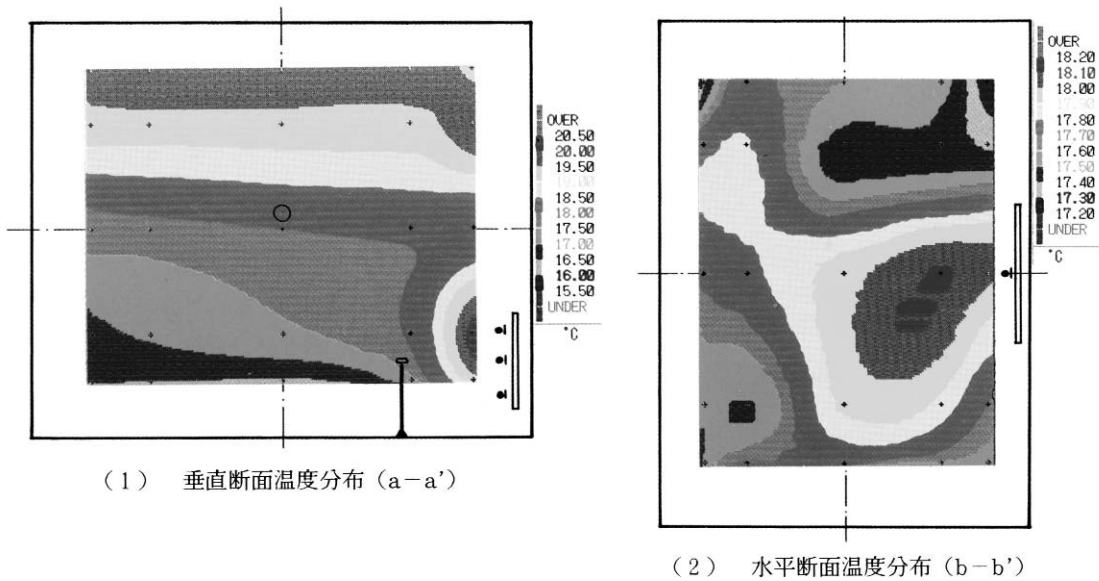


図11 室内空気温度分布

TP10の場合の試験室中央における上下温度分布を図12(1)に、TP11の場合を図12(2)に示す。これらの図から温水設定温度が高く、放熱量が増加する(表2参照)に従い、温度差が大きくなっているのがわかる。また、全放熱量に対する床面上275mmと床面上1925mmとの上下温度差を、図13にTP10とTP11の2機種を比較して示す。これから全放熱量が同じ

場合でもTP11の方がTP10よりも大きな温度差を生じているのがわかる。これはパネルラジエータがフィン有るか否かに起因するものであり、フィンのあるTP11の方がフィンのないTP10に較べて対流成分の割合が大きくなるため、それだけ室内空気を攪拌助長することになり、上下温度差を大きくするものと考えられる。

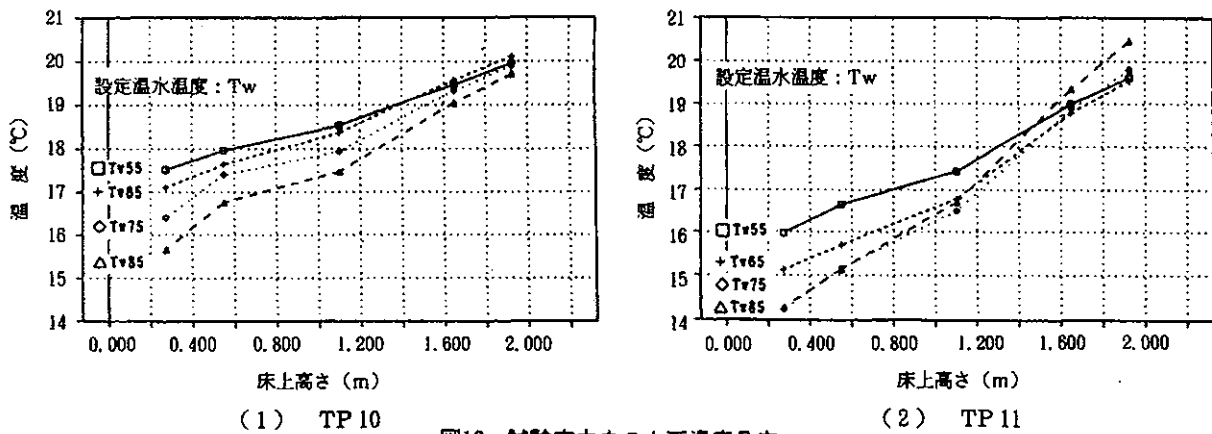


図12 試験室中央の上下温度分布

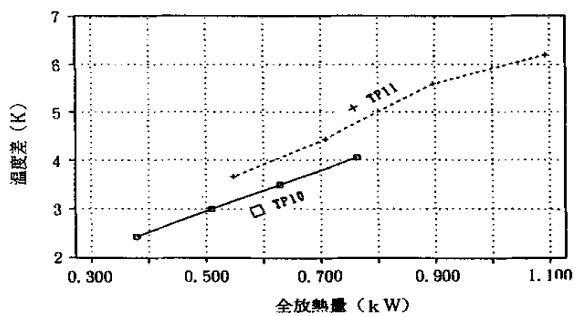


図13 全放熱量と上下温度差の関係

(2) 温度差, ΔT

パネルラジエータの放熱特性は、パネルラジエータ内を流れる平均温水温度と空気温度の差(ΔT)と全放熱量の関係を用いて表される。東北大の測定のように室内温度が均一の場合は ΔT は一定であるが、空気温度分布が生じる場合にどの位置の空気温度を採用するかによって ΔT が異なり、性能を評価する場合に大きな問題となる。

JIS A4004-1987¹⁾では、この空気温度を入口空気温度とし、その計測方法として「放熱器の入口空気温度は空気入口の前方7cmの位置に、入口の全面にわたって温度検出部を3カ

所以上置いて…」と記載してある。しかし、フィンのないパネルラジエータの場合、何処の位置を入口とするかは明記されていない。日暖工規格HA-017では、図9に示したようにパネルラジエータ前方3カ所を入口空気温度、放射計付近温度を室温として各々明記している。また、温水暖房の先進国であるドイツのDIN規格⁶⁾と国際ISO規格⁷⁾では、パネルラジエータが設置される壁面から1500mm離れた床上750mmの空気温度を採用している。

以上のように、現在どの位置の空気温度を用いて ΔT を表示するかは国内外を問わず確立されていない状況にある。本試験室は大きな空気温度勾配を生じるため、代表空気温度として室内中央床上1200mmの空気温度 (t_r)、入口空気温度 (t_a)、放射計付近温度 (t_a') および室内中央床上750mmの空気温度 (t_l) の4種類について ΔT をもともめ、全放熱量の測定精度を検証することとした。

(3) 全放熱量の測定精度

TP10とTP11の全放熱量の測定結果を表2に、東北大の測定結果を放射熱量の値とともに表3に示す。4種類の温度差 ΔT_r 、 ΔT_a 、 $\Delta T_a'$ 、 ΔT_l と全放熱量の関係を、TP10およびTP11について、図14(1)、(2)に東北大の結果と比較して示す。ここで、本測定と東北大の測定の違いは、東北大の試験室がほぼ均一な室内温度であるのに対し、本測定では上下温度分布が大きく、またフィンの有無など機種に構造に影響される点である。

図14(1)から、TP10の全放熱量は、東北大の測定値と比較し、何れの ΔT についてもその傾きは等しいが大きな値を示しているのがわかる。東北大の値に最も接近している $\Delta T_a'$ の場合の $\Delta T = 50K$ における全放熱量を比較すると、東北大が $1143W/m^2$ 、測定値が $1186W/m^2$ であり、その差 $43W/m^2$ の割合は東北大の値を基準にとると約4%である。また最も異なる ΔT_a の場合の全放熱量は $1386W/m^2$ であり、その差の割合は17%である。

表2 全放熱量の測定結果

測定項目	記号	単位	TP10				TP11			
			設定温水温度				設定温水温度			
			55℃	65℃	75℃	85℃	55℃	65℃	75℃	85℃
室温 1200	t_r	℃	18.9	18.9	18.5	18.2	18.1	17.7	17.6	17.9
グローブ温度 1200	t_g	℃	18.6	18.5	18.1	17.7	17.6	17.0	16.7	17.0
入口空気温度	t_a	℃	21.7	22.5	22.6	23.0	20.3	20.3	19.5	21.8
放射計付近温度	t_a'	℃	18.1	17.6	16.2	15.5	16.6	15.6	15.0	14.9
周壁表面温度	t_w	℃	17.1	16.6	16.3	15.5	16.0	14.9	14.2	14.1
出口温水温度	t_{v1}	℃	50.2	50.0	65.4	72.3	48.2	55.0	61.7	68.4
入口温水温度	t_{v2}	℃	54.8	64.1	73.0	81.5	54.8	63.9	72.9	81.5
平均温水温度	t_w	℃	52.5	61.1	69.2	76.9	51.5	59.5	67.3	74.9
温水流量	W	l/h	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	69.0	69.0	71.4
パネル表面温度①	t_{p1}	℃	50.1	58.3	64.7	71.7	49.0	56.4	63.7	70.9
パネル表面温度②	t_{p2}	℃	49.4	57.5	64.4	71.5	47.8	55.3	62.5	69.5
パネル表面温度③	t_{p3}	℃	47.8	55.2	61.4	67.8	46.3	52.9	59.6	66.3
パネル表面温度④	t_{p4}	℃	46.3	53.9	60.7	67.1	43.8	49.9	56.5	62.9
パネル表面温度AVE	t_p	℃	48.4	56.2	62.8	69.5	46.7	53.6	60.6	67.4
温度差(室温)	ΔT_r	K	33.7	42.2	50.7	58.7	33.4	41.8	49.7	57.0
温度差(入空気)	ΔT_a	K	30.8	38.6	46.6	53.9	31.1	39.1	47.8	53.1
温度差(放射計)	$\Delta T_a'$	K	34.4	43.4	53.0	61.4	34.9	43.8	52.3	60.0
全放熱量 Q	W		379	509	630	763	548	709	896	1093
(単)全放熱量 Q_l	W/m^2		759	1018	1260	1527	1096	1418	1792	2186

註: $\Delta T_r = t_r - t_w$, $\Delta T_a = t_a - t_w$, $\Delta T_a' = t_a' - t_w$

表3 東北大の測定値

測定項目	記号	単位	TP10			TP11		
			設定温水温度			設定温水温度		
			55℃	70℃	85℃	55℃	70℃	85℃
室温	t_r	℃	19	19	19	19	19	19
温度差	ΔT	K	36.1	45.1	53.8	33.2	41.0	51.1
全放熱量 Q_l	W/m^2		757	1021	1232	996	1310	1694
放射熱量 Q_p	W/m^2		221	289	371	198	261	344
放射熱量割合 R	%		29	28	30	20	20	20

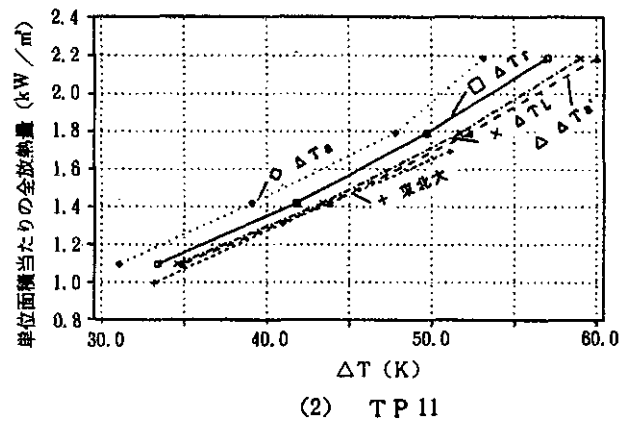
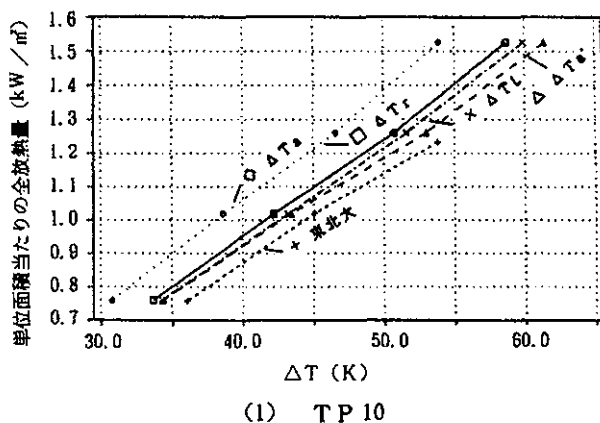


図14 温度差と全放熱量の関係

同様に TP11 の全放射熱量は、図 14(2)から、 $\Delta T_a'$ と ΔT_L については東北大の値にほぼ等しく、 ΔT_a と ΔT_r については大きな値を示しているのがわかる。 $\Delta T = 50K$ における全放射熱量を比較すると、東北大が $1655W/m^2$ であり、 $\Delta t_a'$ が $1695W/m^2$ および ΔT_a が $1960W/m^2$ となることから、差の割合は各々約 2.5% と約 18% である。

以上の結果から、今後は代表室内温度として東北大の測定値に最も近い放射計付近の空気温度 t_a' を用いることとし、これによる全放射熱量の測定精度は、TP11 で約 +2.5%、TP10 で約 +4% になる。なお、TP10 の全放射熱量が TP11 に比較して東北大の結果よりも増えた原因は、温度勾配により空気の対流が促進されるためであり、フィンのない TP10 のほうがフィンをもつ TP11 よりもその影響を強く受けるためと考えられる。

(4) 放射熱量の測定精度

TP10 と TP11 の放射熱量の測定結果を表 4 にまとめて示す。また、TP10 および TP11 のパネル表面温度と放射熱量の関係を図 15 に示す。図 15、および TP10 と TP11 の放射面積が等しいことから、放射熱量はフィンの有無に関係なく、パネル表面温度に依存することがわかる。

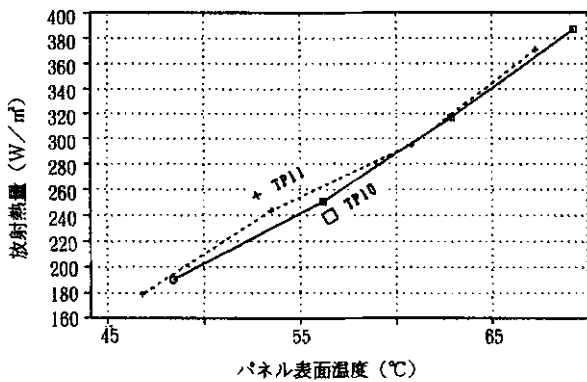


図15 パネル表面温度と放射熱量の関係

温度差 $\Delta T_a'$ と放射熱量の関係を図 16 に東北大の結果と比較して示す。TP10 と TP11 の放射熱量は、東北大の値に比較して $30W/m^2 \sim 50W/m^2$ 程度小さな値を示している。この放射熱量を全放射熱量で割った放射熱量割合を図 17 に示す。これから東北大の放射量割合は TP10 が 29%、TP11 が 20% であるのに対し、測定値は TP10 が平均 24.8%、TP11 が 16.7% であり、東北大との差は TP10 が -4.2%、TP11 が -3.3% となる。以上のように放射熱量および放射熱量割合の測定値が東北大よりも小さな値を示したのは、前述のように全放射熱量が東北大の測定値よりも大きかったこと、放射計が受ける放射熱量がパネルラジエータ表面からの正味の放射熱量だけでなく、放射パネルからの冷放射も受けることに起因するためと考えられる。さらに日暖工規格 HA - 017 では、周囲壁面、室内

空気温度、遮蔽板温度がほぼ同一であることがこの放射熱量測定的前提となっている。これに対し、本試験室は放射パネル面温度と他の周囲面温度に温度差があり、室内空気も上下に温度勾配を生じていることなどが東北大と相違する主な原因と考えられる。

表 4 放射熱量の測定結果

遮蔽板	測定項目	記号	単位	TP10				TP11				
				設定温水温度				設定温水温度				
				55℃	65℃	75℃	85℃	55℃	65℃	75℃	85℃	
なし	出口温水温度	t_{v2}	℃	50.2	58.0	65.4	72.0	48.1	55.0	62.0	68.1	
	入口温水温度	t_{v1}	℃	54.8	64.1	73.1	81.4	54.8	63.8	72.9	81.5	
	入口空気温度	t_a	℃	21.7	22.5	22.6	23.0	20.3	20.3	19.5	21.8	
	通水量	W	l/h	71.4	69.0	69.0	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	
	隔壁表面温度	t_w	℃	16.9	16.7	16.1	15.0	16.1	15.2	15.0	13.5	
	A面放射熱量	Q_a	W/m^2	463	480	496	511	454	468	484	497	
	B面放射熱量	Q_b	W/m^2	405	402	396	391	396	391	390	383	
	パネル表面温度	t_p	℃	48.4	56.2	62.9	69.3	46.8	53.5	60.8	67.3	
	あり	A面放射熱量	Q_a'	W/m^2	408	408	405	400	402	397	397	390
		B面放射熱量	Q_b'	W/m^2	405	401	396	391	397	392	389	383
放射計付近気温		t_a'	℃	18.0	17.5	16.1	15.2	16.8	15.8	16.2	14.2	
遮蔽板表面温度		t_s	℃	17.8	17.5	16.0	15.2	16.5	15.2	14.5	13.9	
計算結果	平均温水温度	t_v	℃	52.5	61.1	69.3	76.7	51.5	59.4	67.5	74.8	
	全放射熱量	Q	W	379	511	639	780	558	712	880	1113	
	放射面積	A_r	m^2	0.5				0.5				
	(単)全放射熱量	Q_t	W/m^2	758	1021	1279	1561	1117	1424	1768	2225	
	温度差	ΔT	K	34.4	43.1	53.2	61.6	35.0	43.6	51.1	60.4	
	形態係数	F_p	-	0.287				0.287				
	放射熱量	Q_p	W/m^2	190	251	317	387	179	244	295	371	

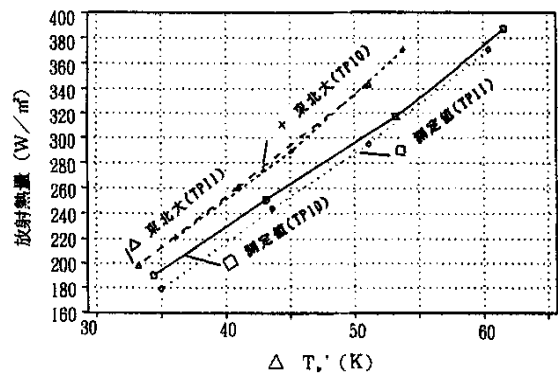


図16 温度差と放射熱量の関係

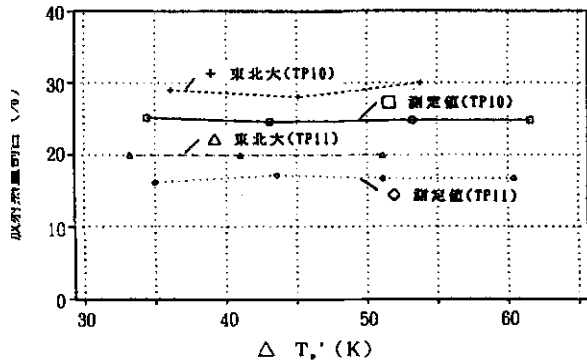


図17 温度差と放射熱量割合の関係

6. まとめ

本研究では、当工業試験場に配備されている簡易放射暖房試験室を用い、この試験室によるパネルラジエータの放熱量測定精度を検証するため、東北大学の行った測定結果を基準に、同大学が測定した温水パネルラジエータと同機種の放熱器(TP10とTP11)を用いて全放熱量と放射放熱量を測定し、これらの結果について比較検討した。以下に得られた結果の概要を記す。

- (1) 放熱量測定の前段階として測定条件を見出すための予備測定を行い、併せて試験室の室温制御特性を把握した。
試験室の温度制御は、天井、床、周囲壁の表面温度間に大きなバラツキのあること、また温度変動周期は90分程度であることがわかった。このため、全放熱量の測定は測定期間を変動周期を越える時間間隔とし、その間の平均値としてデータ処理することにした。但し、放射熱量割合を求める場合は、放射熱量の測定を短時間で行う必要から、周期的変動要因を除くために全放熱量を放射放熱量を測定する直前の5分間の平均値とした。
- (2) 垂直断面温度分布と水平断面温度分布の測定から、水平断面については温度差は1K以内にあり、ほぼ均一な温度分布になっているのがわかった。垂直断面については床面から天井面に向かって温度勾配を生じ、特にパネルラジエータ前面付近およびパネルラジエータ上部から天井面に沿って温度が高くなるのがわかった。
- (3) 室内上下温度差は全放熱量の増加にともない大きくなり(最大6K)、また全放熱量が等しい場合でもフィン付きラジエータの方がフィンなしラジエータよりも温度差は大きくなった。これはフィン効果によって室内空気の対流が助長されるためと考えられる。
- (4) パネルラジエータ入口空気温度として、室内中央床上1200mmの空気温度、入口空気温度、放射計付近温度および室内中央床上750mmの空気温度の4種類について温度差 ΔT をもとめ、全放熱量の測定精度を検証した。

その結果、パネルラジエータ入口空気温度として東北大学の測定値に最も近い放射計付近の空気温度を用いることとし、これによる全放熱量の測定精度は、TP11で約+2.5%、TP10で約+4%となった。TP10の全放熱量がTP11と比較して東北大学の結果よりも増えた原因は、温度勾配により空気の対流が促進され、フィンのないTP10のほうがその影響を強く受けるためと考えられる。

- (5) 放射熱量割合はTP10が24.8%、TP11が16.7%であり、東北大学の測定値との差はTP10が-4.2%、TP11が-3.3%であった。東北大学よりも低い値を示した原因としては、室内空気に比較的大きな温度勾配が生じたこと、放射パネルと他の周囲壁との間に温度差があること、放射計の受ける放射熱量がパネルラジエータ表面からの正味の放射熱量だけではなく放射パネルからの冷放射も受けることなどが考えられる。また、放射熱量はパネルラジエータのフィンの有無に関係なく、パネル表面温度に依存することがわかった。

最後に、本試験室は冷却水を周囲壁面に循環することで室内温度を制御する密閉形試験室であり、同様な試験室を用いる放熱器の測定方法がISO規格で採用されている。ISO規格の試験室と本試験室との大きな相違は、ISO規格では試験室の全周囲面(床、天井、壁)に冷却水を循環させるのに対し、本試験室の放射パネルは周囲壁面の68%(全周囲の40%)程度であり、このことが室内空気の温度勾配を助長させ、東北大と異なる測定結果を生じたものと考えられる。

参考文献

- 1) JIS A4004-1987 暖房用自然対流・ふく射放熱器
- 2) 日本暖房機器工業会：HA-017 パネルラジエータのふく射放熱量測定方法(1991)
- 3) 吉野ほか：温水パネルラジエータの輻射放熱量に関する測定とその考察、空気調和・衛生工学学術講演会講演論文集、P17(1990)
- 4) 吉野ほか：温水パネルラジエータの全放熱量と輻射放熱量に関する測定、日本建築学会東北支部研究発表会、P105(1990)
- 5) 尾谷ほか：遠赤外線放射エネルギーの評価法(その1)、北海道立工業試験場報告 No. 287, P115(1988)
- 6) DIN 4704(Part3)-1976 Testing of Space Heaters, Closed Testroom
- 7) ISO 3149-1975 Radiators, convectors and similar appliances-Determination of thermal output- Test method using liquid-cooled closed booth