

床暖房における窓面コールドドラフト抑止に関する研究（第1報）

—実住宅における床暖房時とパネル暖房時の室内温熱環境測定—

富田 和彦、白土 博康、保科 秀夫
三上 正樹*、青木 徹*、中村 充*
寺田 浩一*、真賀 幸八**、鈴木 弘之**
田代 勉***

Study on the Suppression of Cold Draft by Floor Heating (Part I)

— Field Measurement of Indoor Thermal Environment in Floor Heating and Panel Heating —

Kazuhiko TOMITA, Hiroyasu SHIRATO, Hideo HOSHINA
Masaki MIKAMI*, Toru AOKI*, Mituru NAKAMURA*
Hirokazu TERADA*, Kohachi MAGA**, Hiroyuki SUZUKI**
Tutomu TASHIRO***

抄 録

試験住宅の一室を使用し、床暖房時とパネル暖房時における室内温熱環境の実住宅レベルでの比較試験を行った。パネル暖房に比較し床暖房は、室内温度分布の均一性には優れるが、パネル暖房にはみられないコールドドラフトに起因する床面気流や窓下付近に低温度域が認められた。また、パネル暖房では窓面からの冷放射が防止できているのに対し、床暖房では窓面を暖める効果がなく窓面から冷放射を受けていることが確認された。なお、これらの測定値は国際規格 ISO 7730 が推奨する値を何れも満足しており、床暖房およびパネル暖房ともに良好な室内温熱環境下にあることが確認された。

1. はじめに

床暖房は住空間を有効に使用できる安全・衛生的で高齢者住宅に適したバリアフリー型の暖房方式であることから、今後、より一層の普及が期待されている。しかし、床暖房のみでは窓面で発生するコールドドラフトを防止できず足元付近に不快感を覚えるなどといった懸念があり、パネルラジエータと併用して使われるケースがみられるほか、北方型住宅に代表されるような近年の高性能住宅においても敷設面積を3畳間程度ですませるなど、本来の床暖房とかけ離れた使用実態にある。

本報告では、床暖房のみで快適な室内暖房環境の実現を図

ることを目的に、現状把握として既存床暖房における窓面コールドドラフトの室内温熱環境に及ぼす影響を明らかにするため、実住宅を用いた床暖房とパネルラジエータ暖房の室内温熱環境測定を行った。

2. 実験施設

2.1 試験住宅の概要

実測に用いた住宅は、北海道岩見沢市の新興住宅地に建つ総床面積 207m²の高断熱・高气密仕様の地下室付き木造2階建て住宅である。外壁は100mm厚のグラスウール(16K)で断熱され、厚さ50mmのALC仕上げとなっている。試験住宅の2階平面を図1に示す。

温熱環境測定に使用した部屋(以下、「試験室」という。)は、2階西角に位置する床面積12.25m²(3.5m×3.5m)、天井高さ2.4mの洋室(床暖房配管を表示)で、南西面にはコールドドラフトの発生原因となる窓(縦1,770mm×横1,670mm;透明ペアガラスプラスチックサッシ)が床面から

* 北海道ガス株式会社

** サンポット株式会社

*** サンポットエンジニアリング株式会社

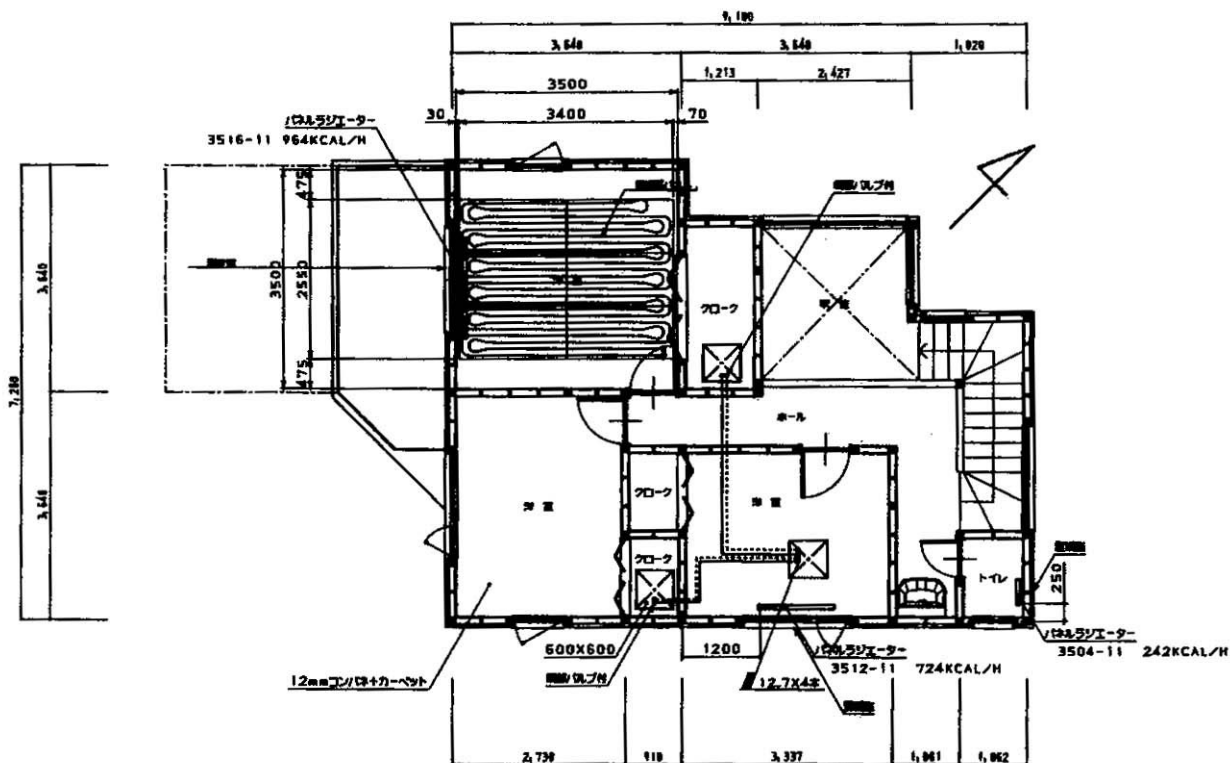


図1 試験住宅の2階平面図

高さ 405mm の位置に取り付けられている。また、北西面には小窓(縦 1,170mm×横 670mm；透明ペアガラスプラスチックサッシ) が取り付けられており、北東面はクローク、南東面は隣室(計測室として使用)、床下 1 階は居間となっている。

2.2 暖房設備

試験室に配備の暖房設備は、図 1 に示すように配管した床暖房(敷設面積 2,550mm×3,400mm = 8.67m²:敷設率 70.8%) および南西面の窓下に設置したパネルラジエータ(縦 354mm×横 1,600mm×奥行 65mm)の二種類であり、それぞれ専用の温水ボイラを用いて系統が分離されている。ただし、パネルラジエータ系統は他の部屋に設置の放熱器とボイラが共有になっている。ここで、床暖房はサンポット(株)のジョイントレスゴムチップパネル(JLP-15タイプ:厚さ 15mm、配管ピッチ 106.25mm)で、表面は厚さ 13mm の木質フローリング仕上げとした。また、パネルラジエータはサンポット(株)のシングル型 3516-11、定格放熱量 1,225kcal/h(ΔT = 60℃)である。

2.3 測定内容

測定項目を表 1 に示す。室内温度分布の測定対象は、図 2 に示すように、パネルラジエータが据え付けられている窓側からクローク側の垂直断面とし、測定点は水平方向 5 点、垂直方向 6 点、計 30 点とした。気流分布は、写真 1 に示すよ

うに、熱線風速センサーを床上 50mm、窓面壁からクローク側へ 250、500、1000、1500mm の 4 カ所に設置した。

また、PMV 測定用の温湿度風速計は、室内中央、床上 1100mm の位置に設置した。非対称放射温度の測定カ所は、図 3 に示すように、居住域に想定される周囲壁から 600mm 室内側の床上 600mm の位置、計 8 カ所とした。その他の測定項目は表 1 に示すとおりである。

表1 室内温熱環境の測定項目

測定項目	内容	測定機器
室内温度分布	室内断面空気温度 30 点	0.2mmT 熱電対
ユーロドア可視化	白煙の流れをビデオ撮影	北川式発煙管
床面気流分布	床上 50mm; 4 点	熱線風速センサ
非対称放射温度	床上 600mm、周囲壁 600mm、8 箇所	放射温度計
PMV	室内中央; 床上 1100mm	温湿度風速計
角面温度分布	床面、窓面、パネル面、周囲壁	赤外線熱画像装置
温水温度、流量	パネルと床暖房の各出入口流量	0.2mmT 熱電対
その他温度	外気、窓ガラス、周囲壁、隣室など	0.2mmT 熱電対

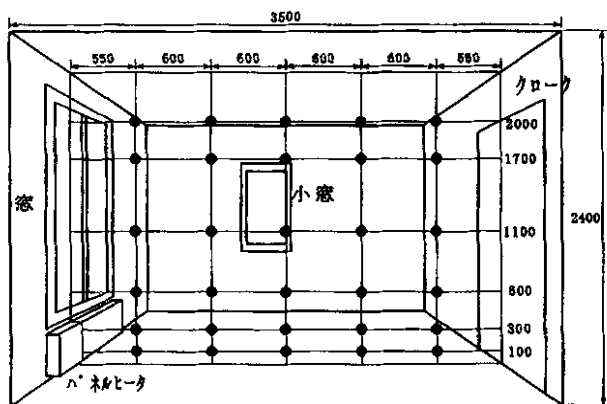


図2 室内温度分布測定箇所

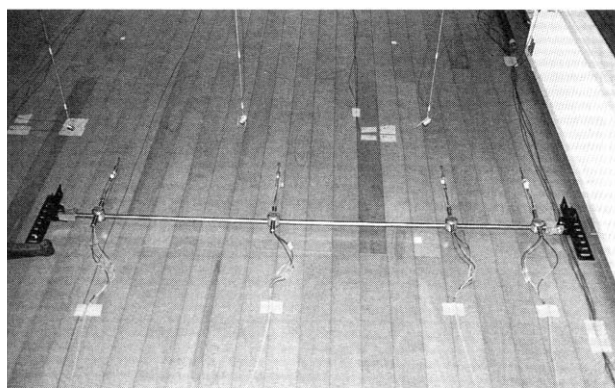


写真1 風速センサー設置状況

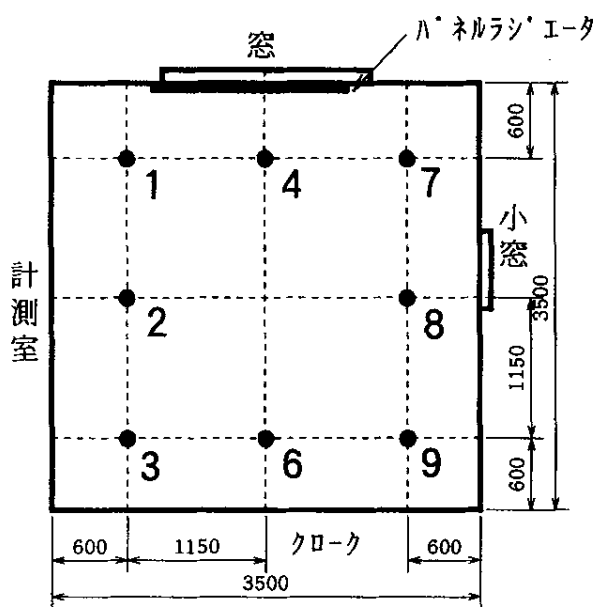


図3 非対称放射温度の測定箇所

2.4 測定方法

測定は日射の影響を避けるため、平成10年1月28日の日没後に実施した。始めにパネルラジエータによる暖房(以下、「パネル暖房」という。)を行い、引き続きパネルラジエータの冷却を待って床暖房の測定に移った。このうち室内温度分布、気流分布、PMV、外気温度などは室内が安定状態に達してから1時間測定した。その後、非対称放射温度の測定を約15分間、次に赤外線熱画像装置による室内周囲面温度分布測定、最後に白煙によるコールドドラフト可視化測定を行った。

熱電対による温度測定は NEC 三栄 (株) のデータロガー DE1000 を用いて1分間隔毎に、気流は日本カノマックス (株) の多点風速計 MODEL1500 を用いて15秒間隔毎に、温湿度・風速はテストターム (株) の FC452 を用いて15秒間隔毎に、温水温度と流量はコーナ札幌 (株) のデータロガー DS361 を用いて1分間隔毎に、各々パソコンを介して自動集録を行った。また、非対称放射温度計にはプリュエル・ケー社の室内環境分析計 1213 型を、赤外線熱画像装置には NEC 三栄 (株) のサーモレーサを用いた。

3. 結果および考察

3.1 測定時の暖房運転状況

パネル暖房時および床暖房時の主な測定力所における温度変化を図4(a)、(b)に、流量変化を図4(c)に示す。パネル暖房時に温水出入口温度や温水流量にやや大きな変動がみられるが、これはサーモバルブの自動制御による影響と考えられる。パネル表面温度やパネル上面からの吹出し温度もこれらに追従して変動するが、室温およびグローブ温度はこれらに影響されることなくほぼ一定した温度を示している。また、この間の外気温度は -7.6°C と安定した値を示した。

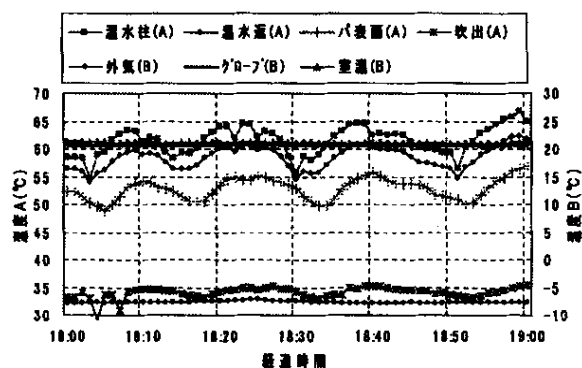


図4(a) パネル暖房時の温度変化

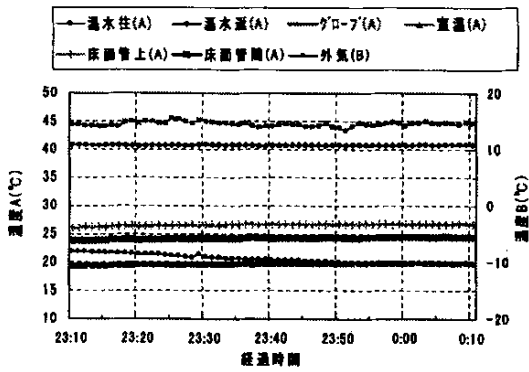


図4(b) 床暖房時の温度変化

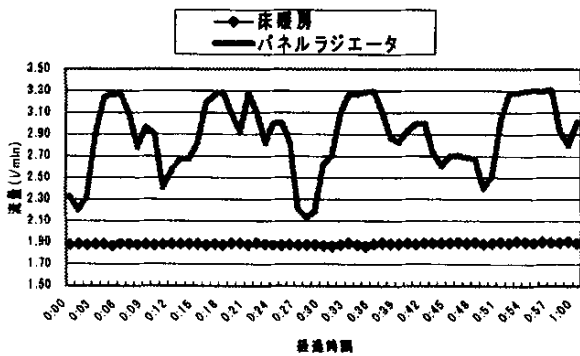


図4(c) 流量の経時変化

一方、床暖房時の温水温度、流量、室温、グローブ温、床面温度はほとんど変動なく、安定した運転状況、温度環境下にあることがわかる。この間の外気温度は-8℃から-10℃と徐々に低下しており、パネル暖房時に比較し1.8℃程度低いことがわかる。パネル暖房時と床暖房時の運転状況結果を表2にまとめて示す。

表2 測定時の運転状況

項目	単位	パネル暖房	床暖房
温水平均温度	℃	60	43
放熱量	W	601	479
パネル表面	℃	51.0	17.4
床表面	℃	20.4	25.4
室温	℃	20.9	19.7
グローブ温度	℃	20.7	19.9
外気温度	℃	-7.6	-9.4

3.2 室内温度分布

パネル暖房時と床暖房時の室内垂直断面温度分布の等温線図を図5(a)、(b)に示す。これらの図から、パネル暖房時の場合は床面から天井方向に温度勾配がみられ、その最大温度差は約2.5℃となっていることがわかる。一方、床暖房の場合はパネル暖房時のような温度勾配はみられず、最大温度差

は1.5℃程度とほぼ均一な温度分布を示している。ただし、窓面付近の温度についてみると、床暖房では床面付近が低くなっており、コールドドラフトの影響を受けていると予想される。これに対しパネル暖房では、窓下付近の温度がクローク側付近よりも高くなっており、コールドドラフトによる影響はないと考えられる。

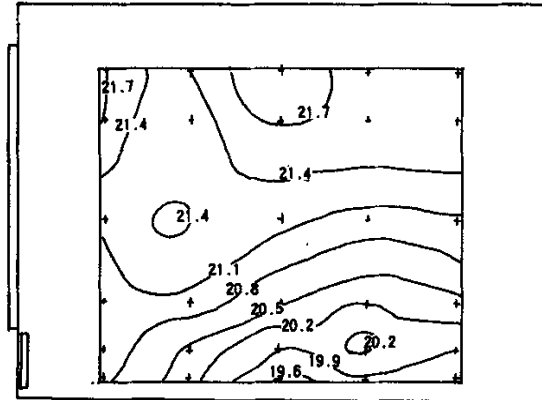


図5(a) パネル暖房時の室内垂直温度分布

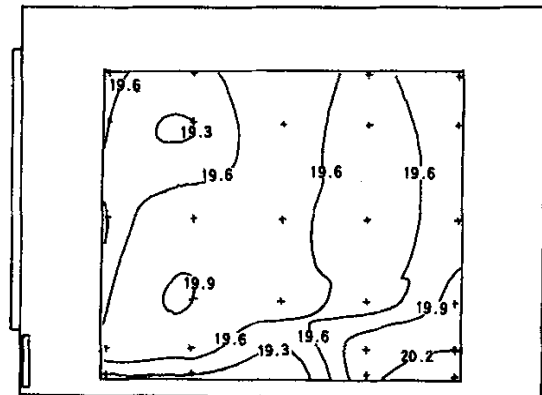


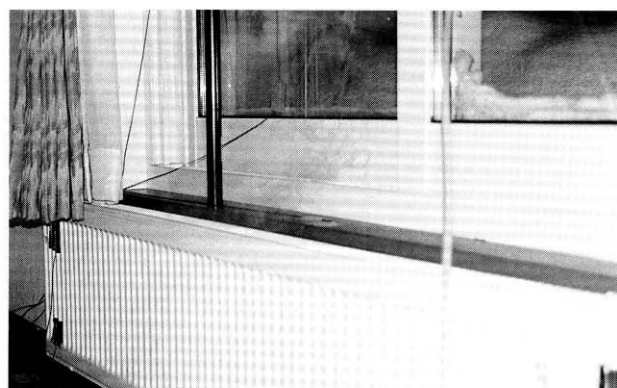
図5(b) 床暖房時の室内垂直温度分布

3.3 白煙によるコールドドラフトの可視化

パネル暖房時および床暖房時の白煙によるコールドドラフトの可視化の様子を写真2(a),(b)に示す。これらから、パネル暖房ではコールドドラフトがパネルラジエータの気流に乗って上昇するのに対し、床暖房ではコールドドラフトがガラス面を下降しパネルラジエータの表面を伝わって床に流れ落ち、さらに室内中心部へと流れていくのが観測された。このことから、パネル暖房ではコールドドラフトを抑止できているが、床暖房ではできていないことがわかる。



(a) パネル暖房時



(b) 床暖房時

写真2 コールドドラフトの可視化

3.4 床面気流分布

図6(a) および図6(b)に、パネル暖房時と床暖房時における床面付近の気流分布の経時変化を示す。これらの図からわかるように、パネル暖房時の場合、風速は4カ所何れも0.01m/s以下と無風に近い状態であり、コールドドラフトによる影響はないものと考えられる。一方床暖房時では、気流の発生が認められ、この間の平均値は250mmの位置で0.01m/s、500mmで0.07m/s、1000mmおよび、1500mmで0.06m/sとなっている。この気流はパネル暖房時にはみられないことから、明らかにコールドドラフトに起因するものと考えられる。なお、250mmにおける気流が他の3ヶ所よりも小さな値を示すのは、コールドドラフトがパネルラジエータを経て床面に流下する際、250mmの測定位置を越えるためであり、前述の白煙を用いたコールドドラフトの可視化測定から確認されている。

3.5 PMV

パネル暖房時と床暖房時における室内中央で測定した温熱環境指標PMVおよびPPDの結果を表3に示す。この指標から両暖房とも快適な室内温熱環境にあることがわかる。ここでPMVの算出に際し、新陳代謝率(M)は軽度で主に着席しての活動、70W/m² (1.2met)、着衣熱抵抗(Icl)は冬方の典型的な室内用衣服、0.16m²・℃/W(1.0clo)、外部仕事(W)は0W/m²とした。

3.6 非対称放射温度

パネル暖房時および床暖房時の局所温熱環境指標である非対称放射温度の測定結果を図7(a)、(b)に示す。測定力所は図3に示す8点で、各々(天井側-床側)、(窓・パネル側-クローク側)および(計測室側-小窓側)の3方向の非対称放射温度を測定し、それらの温度差として図に示した。ここで温度差がプラスの場合は、天井側、窓・パネル側、計測室側からの放射が、その大きさ分各々反対方向からの放射

より強いことを示している。マイナスの場合はこれとは反対に床側、クローク側、小窓からの放射の強いことを示す。

パネル暖房時についてみると、測定力所4を除き温度差が2.5K以内にあることから、中立的な放射環境下にあることがわかる。測定力所4はコールドドラフト発生要因の窓近傍であり、窓下にパネルラジエータが設置されている。このため、パネルラジエータにより付近の床面や窓面が加温され、その結果、床側と窓・パネル側の方が天井側やクローク側よりも高い放射温度を示したものと考えられる。

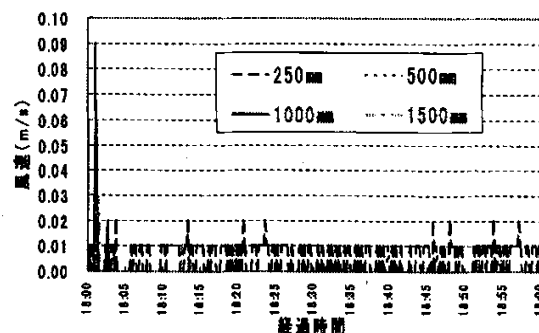


図6(a) パネル暖房時の床面気流分布

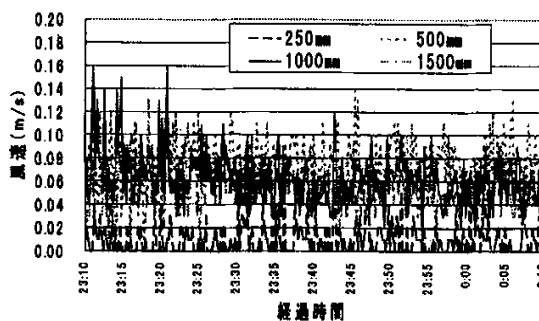


図6(b) パネル暖房時の床面気流分布

表3 PMV

測定項目	単位	パネル暖房	床暖房
気流	m/s	0.04	0.05
湿度	%	18.9	18.7
PMV	—	-0.2	-0.4
PPD	%	5.9	7.8

※M = 70W/m²、W = 0W/m²、|cl| = 0.160 m²°C/W

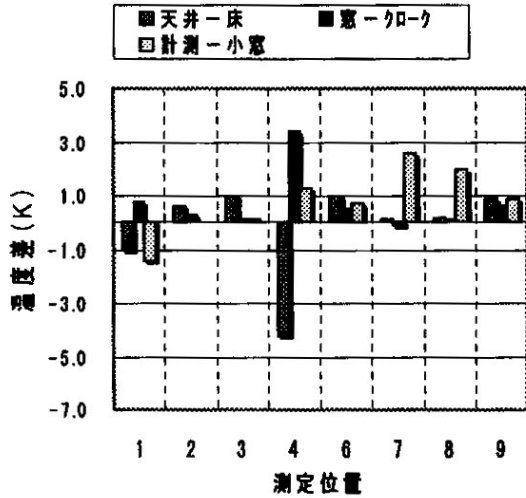


図7(a) パネル暖房時の非対称放射温度

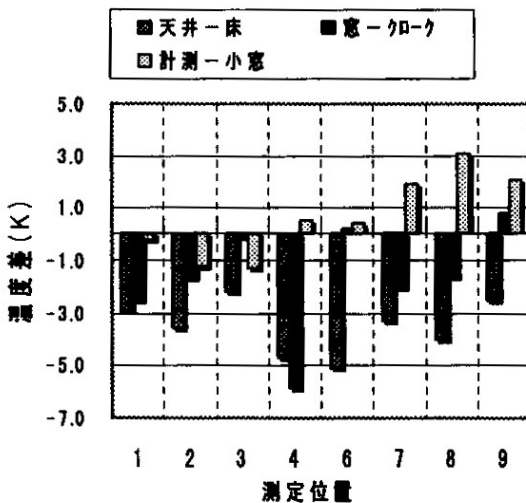


図7(b) 床暖房時の非対称放射温度

床暖房についてみると、周囲全体にわたり床面とクロック側からの放射の大きいことがわかる。床側からの放射が大きいのは床暖房により床面が加温されているためである。またクロック側の放射が大きいのは、その分窓・パネル側から冷放射を受けていることを示す。国際規格 ISO では、快適な室内環境のための推奨値として放射温度差を 10K としており、パネル暖房、床暖房ともにこの推奨値を満たしている。

3.7 窓周囲温度

パネル暖房時および床暖房時の赤外線熱画像装置を用いて測定した窓面およびパネルラジエータ付近のサーモグラフィを図 8(a)、(b) に示す。図 8(a) からわかるように、パネル暖房時の窓面温度はパネルラジエータ上部の吹き出し付近が高く、これはパネルラジエータから発生する高温の上昇気流によりガラス面が温められるためである。また、パネルラジエータ前方の床面がラジエータ表面からの放射熱を受け、周囲床面よりも高温になっている。

一方床暖房時では、図 8(b) からわかるように、床面全体が加温されており、窓面はパネル暖房に比べて均一であるが低温となっている。これから、床面が 26℃ 程度の床暖房では、窓が床面から 405mm の高さにあるものの、ガラス面を加温するような上昇気流は生じていないことがわかる。

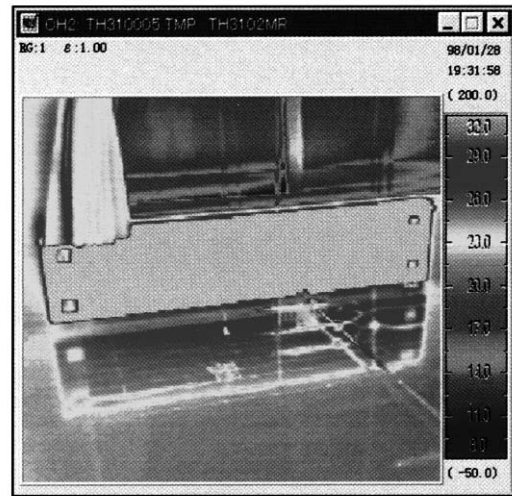


図8(a) サーモグラフィおよびヒストグラム (パネル暖房時)

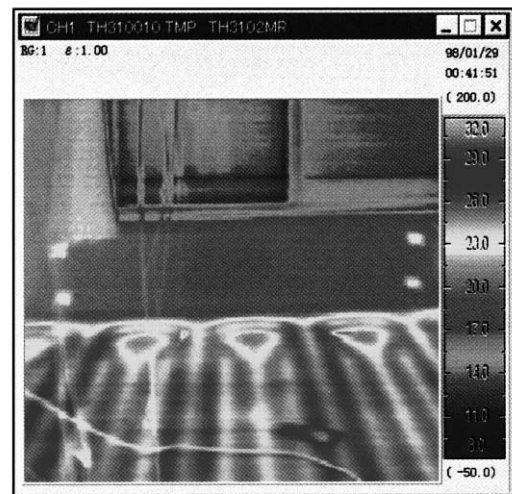


図8(b) サーモグラフィおよびヒストグラム (床暖房時)

4. まとめ

試験住宅の一室を使用し、床暖房時とパネル暖房時における室内温熱環境の実住宅レベルでの比較試験を行った。測定項目としては、室内温度分布、白煙を用いたコールドドラフトの可視化、床面気流分布、PMV、非対称放射温度、窓周囲温度などである。結果をまとめると次のようになる。

- ① 室内温度分布については、床暖房では均一な温度分布を示すが、パネル暖房では床面から天井方向に温度勾配がみられた。ただし床暖房では、窓下床面付近にコールドドラフトの影響と思われる低温度域が認められた。
- ② 白煙を用いたコールドドラフトの可視化から、パネル暖房では白煙が窓面に沿って上昇するのに対し、床暖房で白煙が床面に流下し、室内中央へと流れていく様子が観察された。この結果からパネル暖房ではコールドドラフトを抑止できているが、床暖房ではできていないことがわかる。
- ③ 床面気流分布については、床暖房ではコールドドラフトに起因すると思われる気流が認められたが、その風速は最大で0.07m/s程度であった。パネル暖房ではコールドドラフトによる気流は認められなかった。
- ④ PMVの測定結果から、床暖房、パネル暖房いずれも国際規格ISOの推奨値を満足しており、快適な室内温熱環境にあることがわかった。
- ⑤ 非対称放射温度については、床暖房の場合に床全体で天井面よりも大きい床面からの放射が認められた。これから床暖房特有の低温度放射環境が形成されていることがわかる。パネル暖房では窓面付近でパネルラジエータからの高温放射がみられたが、ISOの推奨値を満たすことなど良好な放射環境下にあることが確認された。
- ⑥ パネル暖房時の窓面はパネルラジエータから発生する高温の上昇気流で温められるのに対し、床暖房では床面温度が26℃程度であり、上昇気流による加温効果は認められなかった。またパネル暖房では、パネルラジエータ前方の床面がラジエータからの放射熱を受け、高温になっていることが確認された。

参考文献

- 1) International Standard ISO 7730-1984
- 2) 富田和彦、保科秀夫ほか：専用放熱器による窓面コールドドラフト防止に関する研究（第1報）、北海道立工業試験場報告、No.293、PP.79-84（1994）
- 3) 富田和彦、保科秀夫ほか：専用放熱器による窓面コールドドラフト防止に関する研究（第2報）、北海道立工業試験場報告、No.294、PP.91-101（1995）