

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3報）

—床埋設放熱器による窓面コールドドラフト抑止実験—

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 III)

-Effects of In-Floor Convectors on Cold Draft Removal Performance-

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

抄 録

床面と同レベルに敷設できる薄型の温水式床埋設放熱器を設計・試作し、模擬窓を用いた放熱能力試験により性能把握と構造改善を図るとともに、環境試験室を用いた窓面コールドドラフト抑止試験によりその抑止効果を検証した。その結果、床埋設放熱器がコールドドラフトの抑止や窓下付近の低温度域の解消に有効であることを確認した。また、窓面負荷と床面気流分布の関係を定量的に明らかにした。

1. はじめに

床暖房は高齢化社会に適したバリアフリー型の暖房設備として注目されているが、窓面で発生するコールドドラフトによる室内温熱環境の悪化が懸念され、北海道では主暖房として普及が進んでいない状況にある。前報¹⁾²⁾では、試験住宅と環境試験室を用いて床暖房時におけるコールドドラフトの室内温熱環境に及ぼす影響を詳細に測定し、その結果パネルラジエータ暖房時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低温度域のあることを確認した。窓面コールドドラフトを抑止するためには、低放射（Low-E）複層ガラスなど高性能窓ガラスの使用が考えられるが、その普及は道内新築住宅に限られている。そこで本報では、窓面コールドドラフトの抑止を床暖房システムの中で処理することとし、床暖房の長所であるバリアフリーを損なうことのない床埋設型の温水式放熱器を設計・試作し、その抑止効果を環境試験室を用いて検証した。

2. 温水式床埋設放熱器の構造

試作した温水式床埋設放熱器は、図1、図2に示すよう

に、カバー、放熱体、ベースの3部材から構成される。放熱器全体の寸法は、床面レベルに敷設可能なように高さを薄型の25mmとし、幅150mm、長さは窓の横幅に見合うようフリーとした。

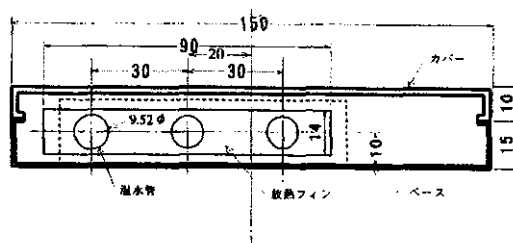


図1 温水式床埋設放熱器の断面

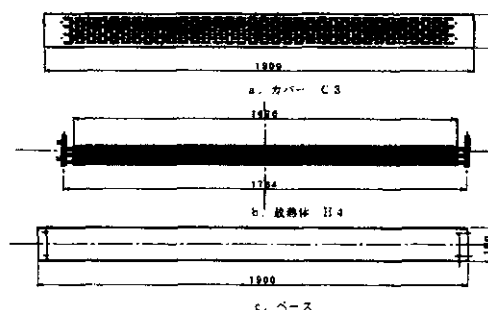


図2 温水式床埋設放熱器の構成

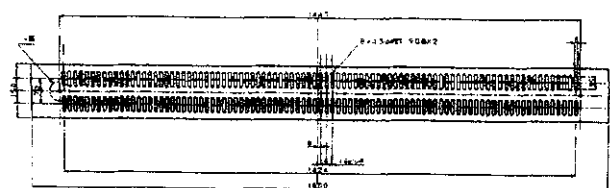
* 北海道ガス(株) ** サンポット(株)

*** サンポットエンジニアリング(株)

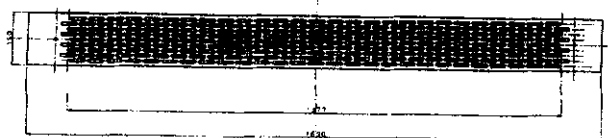
カバーは板厚 2mm の鋼板製で、高さ 10mm、表面に通気口として 8mm×35mm の小判形状の穴を設けた。模擬窓による放熱能力試験では、カバー開口率の放熱量に及ぼす影響を調べるため、表 1 及び図 3 に示すような、開口率 28% (記号 C1) と 40% (記号 C2) の 2 種類を用意した。なお、表 1 に後述の環境試験室でのコールドドラフト抑止試験で用いる開口率 31% のカバー (図 2 (a); 記号 C3) の仕様を併記した。

表1 カバー仕様

記号	外形寸法	有効長	通気孔数	開口率	備考
	mm	mm	個	%	
C1	1600×150	1424	180	28	模擬窓実験
C2		1377	247	40	
C3	1900×150	1683	235	31	環境試験室



(a) カバー C1



(b) カバー C2

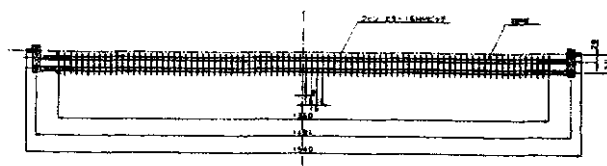
図3 カバーの平面図

放熱体は、外径 9.52mm φ の銅管、板厚 0.2mm、高さ 14mm のアルミニウム製プレートフィン及び黄銅製ヘッダーからなり、表 2、図 2 (b) 及び図 4 に示すように、放熱管数、フィン寸法、フィン間隔などの異なる H1、H2、H3 の 3 種類を用意した。H3 と H4 の仕様は等しく、それぞれ模擬窓、環境試験室の窓寸法に見合った長さとなっている。

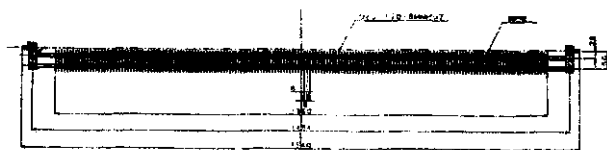
ベースは板厚 1mm の鋼板製で、高さは 15mm である。

表2 放熱体仕様

記号	有効長	放熱管			備考	
		本数	寸法(mm)	間隔(mm)		
H1	1360	2	60×14	16	86	模擬窓実験
H2				8	171	
H3		3	90×14	8	213	
H4	1696	3	90×14	8	213	環境試験室



(a) 放熱体 H1



(b) 放熱体 H2

図4 放熱体の平面図

3 模擬窓による温水式床埋設放熱器の放熱能力試験

3.1 試験の目的

本試験は、温水式床埋設放熱器を構成するカバー、放熱体の構造改善を図るためのもので、試験項目として、①カバー開口率の放熱量に及ぼす影響、②放熱体 (伝熱面積の相違) の放熱量に及ぼす影響、及び③窓面負荷の放熱量に及ぼす影響を調べる 3 種類である。

3.2 試験装置及び試験方法

試験装置は、写真 1 に示すように、鋼板製パネルラジエータを用いて作製した模擬窓³⁾、及び窓下に設置した供試床埋設放熱器からなり、恒温室内 (設定温度: 20℃) に設置される。模擬窓を循環する冷却システム及び放熱器を循環する温水暖房システムを図 5 に示す。

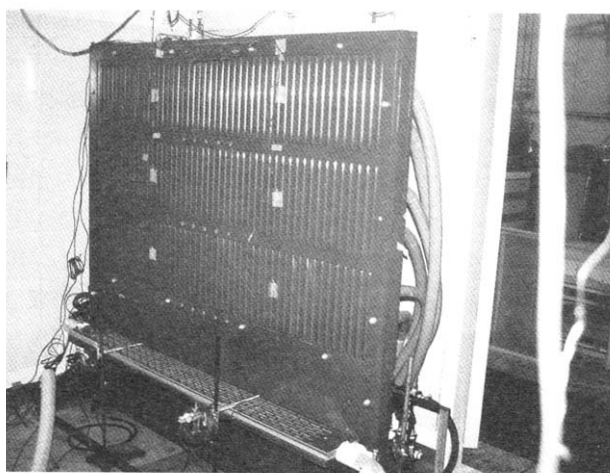


写真1 試験装置の外観

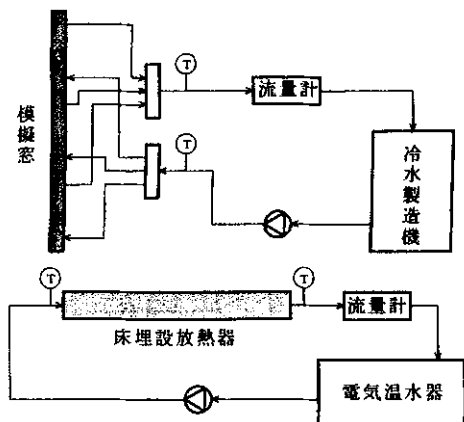


図5 模擬窓冷却システム及び床埋設放熱器温水暖房システム

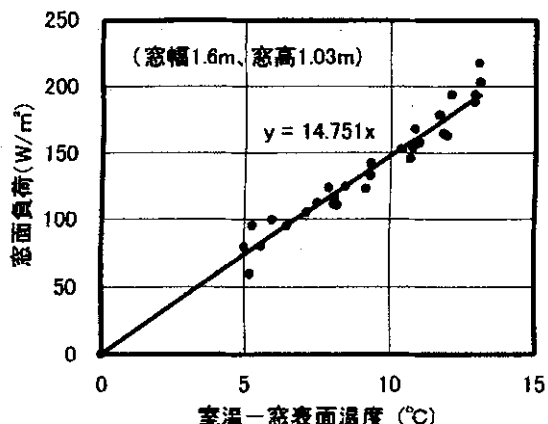


図6 模擬窓の負荷特性

3.2.1 カバー開口率の放熱量に及ぼす影響

試験に供したカバーは、開口率 28% の C1、開口率 40% の C2、及びカバーを用いない放熱体露出（開口率 100%）の計 3 種類とし、放熱体には H1 を共通に使用した。放熱量の測定は、窓面負荷条件として模擬窓に 10℃ 程度の冷水を循環させ、放熱器への送水温度を 50、60、70℃ の 3 種類、温水流量 119 l/h で行った。

3.2.2 放熱体の放熱量に及ぼす影響

試験に供した放熱体は、H1、H2、H3 の 3 種類、カバーには C2 を共通に使用した。H1 と H2 の相違は、伝熱促進用のフィン数が H2 が H1 の 2 倍であり、H2 と H3 の相違は放熱管とフィンからなる放熱エレメントが、H2 が 2 本であるのに対し、H3 はその 5 割増の 3 本である。放熱量は、模擬窓に 1~2℃ の冷水を循環させ、放熱器送水温度 40、50、60、70℃ の 4 種類、温水流量 119 l/h の条件で測定した。

3.2.3 窓面負荷の放熱量に及ぼす影響

試験に供したカバーは C2、放熱体は H3 である。窓面負荷条件は、模擬窓に冷水を循環させない無負荷状態、及び冷水を -3~10℃ の範囲で循環させる負荷状態とした。これらの条件の下、温水流量 90 l/h、送水温度を 50、60、70、80℃ に変化させて放熱量を測定した。

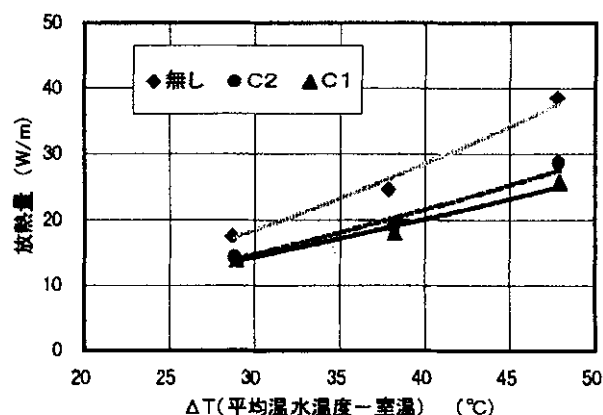
3.3 試験結果及び考察

3.3.1 模擬窓の負荷特性

床埋設放熱器の放熱量を測定した際の、模擬窓入口出口の冷却水温度差と流量から算出される窓面負荷の全測定値を、温度差（室温-窓表面温度）に対し、図 6 にプロットする。これより、温度差と窓面負荷はほぼ比例関係にあることがわかる。従って、以後はこの温度差を用いて窓面負荷を表すこととする。

3.3.2 カバー開口率の放熱量に及ぼす影響

結果を、 ΔT （平均温水温度-室温）と放熱量の関係を用いて図 7 に示す。この図から、カバー装着時の放熱量はカバー無し（開口率 100%）に比べ約 75% に減少するが、開口率 28~40% 程度の範囲ではほとんど差がみられないことわかる。このため、後述の環境試験室におけるコールドドラフト抑止試験では、耐荷重を考慮し、表 1 に示す開口率 31% のカバー C3 を用いることとした。

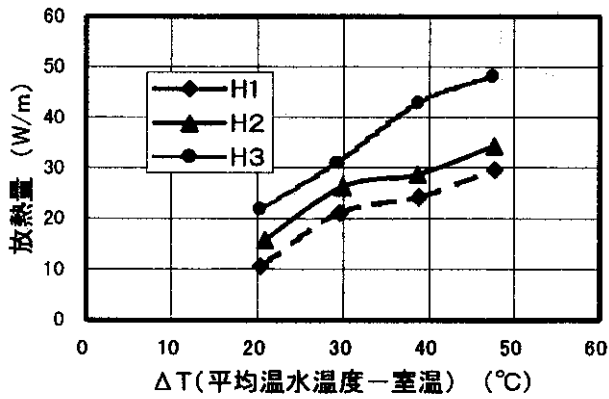


(室温-窓表面温度=6.2℃, 放熱体 H1)

図7 カバー開口率の放熱量に及ぼす影響

3.3.3 放熱体の放熱量に及ぼす影響

結果を図 8 に示す。H1 と H2 の比較からフィン数を 2 倍にすると放熱量が 5W/m 程度増加すること、また H2 と H3 の比較から放熱エレメントを 2 本から 3 本に（1.5 倍）にすると 5~15W/m 程度増加することから、放熱エレメントを増やすことが放熱量の向上に有効であることがわかる。



(室温-窓表面温度=12.7℃, カバーC2)

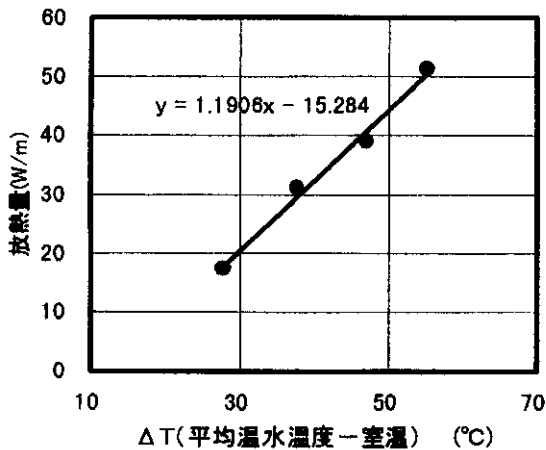
図8 放熱体の放熱量に及ぼす影響

3.3.4 窓面負荷の放熱量に及ぼす影響

無負荷時の放熱量の測定結果を図9(a)に、負荷時の場合を、送水温度をパラメータに、無負荷時を基準とした増加比として図9(b)に示す。これらから、窓面に負荷を与えたときの放熱量が無負荷時の時よりも大きいことがわかる。これは、窓面負荷が大きくなるほどコールドドラフトの発生量も増加し、これが放熱体のその周囲空気との対流熱伝達を促進させるためと考えられる。ただし、送水温度50℃の場合の増加比は、これより高い送水温度60,70,80℃の場合と大きく異なっており、窓面負荷の影響をより強く受けることがわかる。例えば窓面負荷10℃のとき、送水温度60~80℃の場合の増加は無負荷時の1.2倍程度であるが、送水温度50℃では1.8倍程度になっている。

4 環境試験室における窓面コールドドラフト抑止試験

窓面で発生するコールドドラフトは、室温と窓表面温度と



(a) 無負荷時の放熱特性

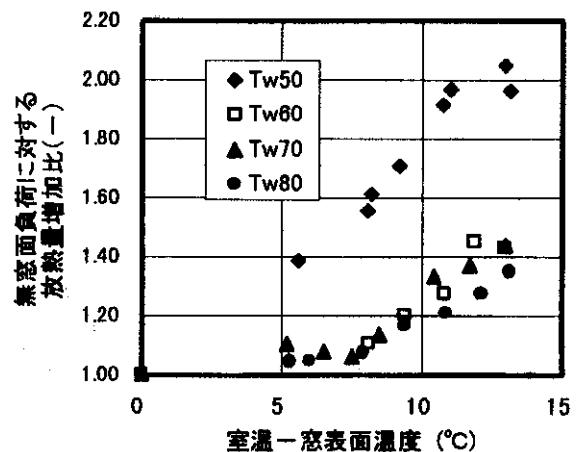
の温度差(窓面負荷)に起因するが、その大きさは窓の断熱性能、室温と外気温との温度差及び窓高などに支配される。そこで、床暖房時における窓面負荷とコールドドラフトの関係を明らかにし、その後に床埋設放熱器のコールドドラフト抑止効果を試験することとした。また、コールドドラフトは窓面を降下した後に床面に沿って室内中央へと移動するため、この床面気流分布を測定することによりコールドドラフトの大きさを評価した。

4.1 試験施設

環境試験室の仕様及び実験装置は、前報²⁾に詳細に記載したので、ここでは本試験に関連するものに限定して記述する。

試験室は、図10に示すように、床面積12m²×高さ2.4mで、外壁に横幅1.7m×高さ1.8mの掃き出し窓を有している。窓ガラスには標準的な板厚3mm、空気層12mmの透明ペアガラス(熱貫流率2.7kcal/m²h℃)を使用した。図11及び写真2に示すように、試験室床に前述の図1に示す床埋設放熱器及び温水式床暖房パネルを敷設し、床面は厚さ12mmの木質フロア仕上げとした。床埋設放熱器の放熱体には前述の放熱能力試験で性能が最も良かったH4(H3と同一仕様)を、放熱器カバーには3.3.2で述べたように荷重強度を考慮した開口率31%のC3を用いることとした。また、本抑止試験では図12に示すような開口率55%の格子状放熱器カバー(記号G)を新たに加えた。このカバーは、蛇腹のように巻くことができるため脱着が容易で強度にも優れることから、フィン間に溜まったゴミを除去する際に便利であるなど実用面に優れる。

床暖房の敷設面積は約8.5m²、敷設率75%である。温水暖房システムは床埋設放熱器回路、床暖房回路各々に電気温水器と循環ポンプを用いて独立させた。



(b) 窓面負荷時の放熱特性

(カバーC2, 放熱体H3)

図9 窓面負荷の放熱量に及ぼす影響

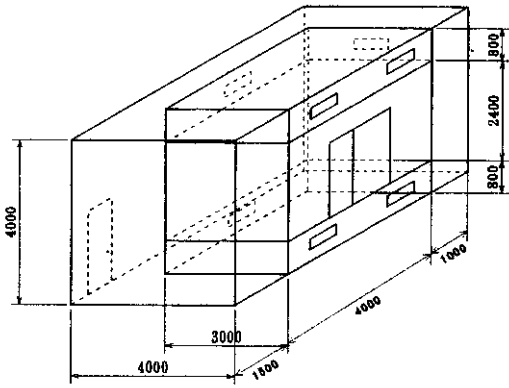


図10 環境試験室の立面図

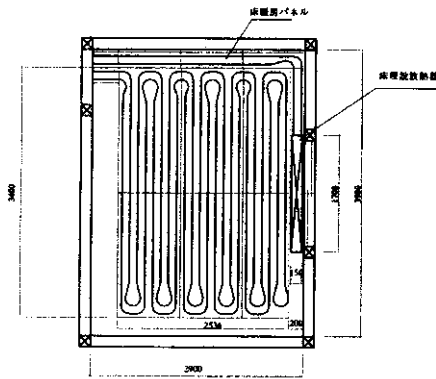


図11 暖房施設の敷設配管

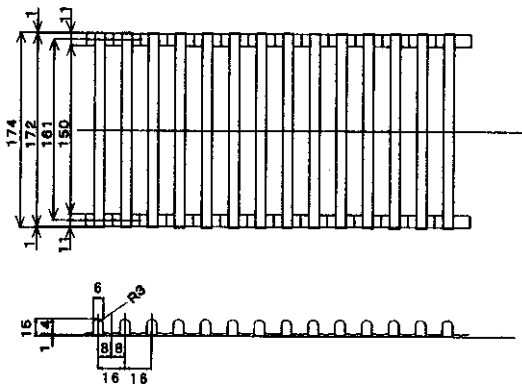


図12 格子状カバー (記号G)

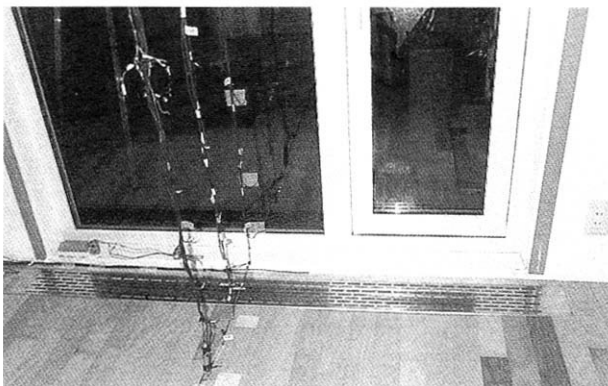


写真2 床埋設放熱器の設置状況

4.2 窓面負荷と床面気流

4.2.1 試験方法

床暖房時における窓面負荷とコールドドラフトの関係性を調べるため、①室温 20℃一定とし、外気温度 - 5, - 10, - 15℃の3種類に変化させる、②外気温度 - 10℃一定とし、室温を 18 ~ 23℃に変化させる、③室温 20℃, 外気温度 - 15℃一定とし、窓高を 820mm, 1280mm, 1790mmに変化させる3種類の条件で試験を行った。窓高の変更は、25mm厚のポリスチレンフォーム保温材を用いて窓ガラス面を上端部から被覆することで行った。

暖房方法は床暖房による単独運転とし、室温が設定温度になるように各々に熱負荷に見合った温水を床暖房パネルへ通水した。

床面気流分布の測定箇所は、図13に示すように、水平方向が窓面壁から 250, 600, 970, 1450mmの4点、垂直方向が床面から 10, 50, 90, 130mmの計16点である。測定は気流センサーを垂直方向に4点配置し、これを水平方向に移動させて行い、測定時間は各々2秒間隔、5分間とした。この他に室内温度分布(図14参照)、窓面温度、外気温、循環水温度、温水流量を測定した。これらの測定は循環水温度及び室温が安定に達した状態で行った。

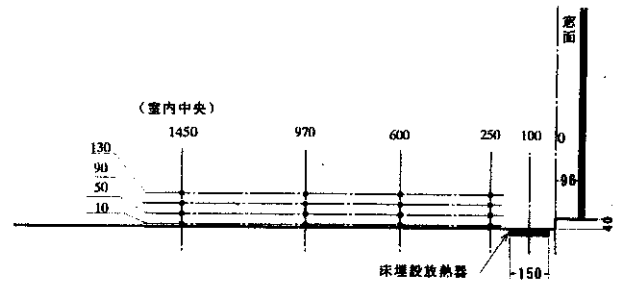


図13 気流センサー配置図

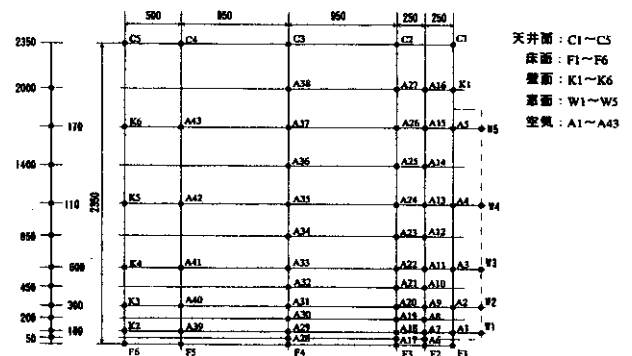


図14 温度センサー配置図 (窓内中央断面)

4.2.2 測定結果及び考察

(1) 窓面温度と窓面負荷

室温を20℃、外気温を-5、-10、-15℃に変化させたときの外気温と室内側窓面温度の関係を図15に、外気温と窓面負荷の関係を図16に示す。窓面負荷は、室内中央、床上1100mmにおける室温と室内側窓面温度との温度差を用いて示した。比較のため、前年度測定したLow-Eペアガラス(熱貫流率1.7kcal/m²h℃)の結果を図15に表示した。

図15から、例えば外気温-15℃の場合、透明ガラスの窓面温度は8.5℃となるが、Low-Eガラスを使用すると11℃に上昇する。この値は透明ガラスでは外気温約-8℃のときの窓面温度に相当するため、断熱性能に優れた窓ガラスの使用はコールドドラフトの抑止に効果のあることがわかる。

図16から、外気温の低下にほぼ比例して窓面負荷が増加

することがわかる。透明ペアガラスの熱貫流率値2.7kcal/mh℃と室内外温度差を用いて算出した窓面負荷は、外気温-5℃が約140W/m、-10℃が約170W/m、-15℃が約200W/mである。

(2) 外気温の床面気流に及ぼす影響

室温20℃、窓面から250、600、970、1450mmの位置における床面気流分布を、外気温をパラメータとして図17に示す。垂直方向の気流は、床面付近が最も大きく、床面から離れるほど小さくなっている。この傾向は窓面に最も近い250mmの位置が顕著であり、他の位置の気流に比べ特異な分布を示している。また外気温が-5、-10、-15℃と低下するほど気流は大きくなっており、居住域の境界と想定される600mmの位置でみると、床面から100mm以下ではISO規格の推奨値0.15m/sを満たしていないことがわかる。

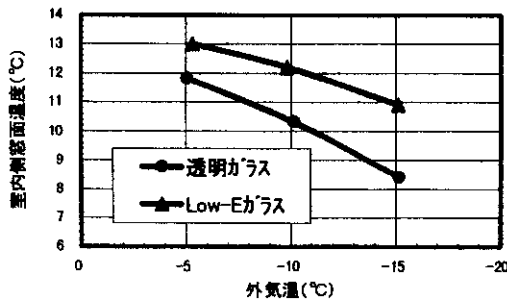


図15 外気温と窓表面温度の関係

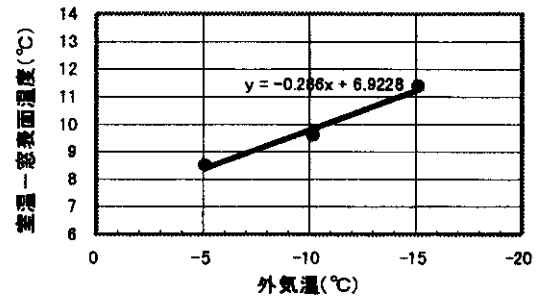
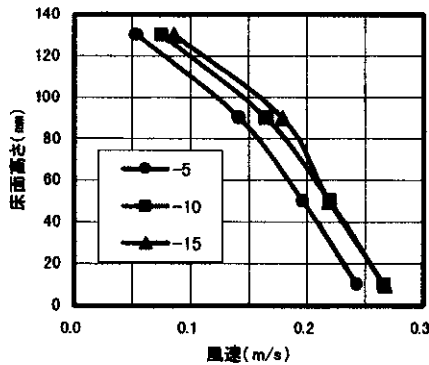
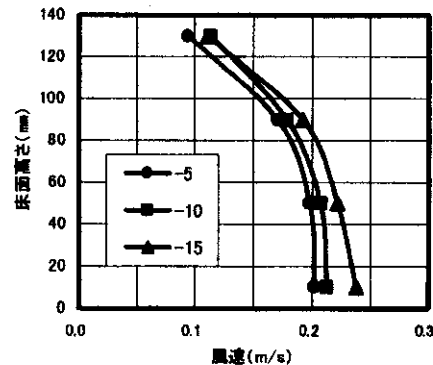


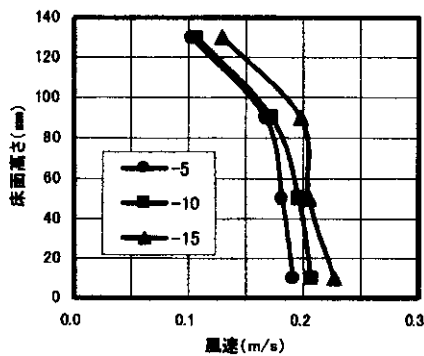
図16 外気温と窓面負荷の関係



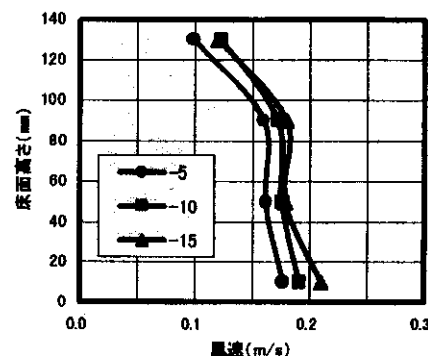
(a) L250



(b) L600



(c) L970

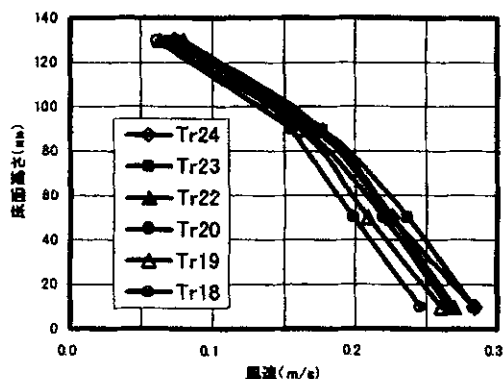


(d) L1450

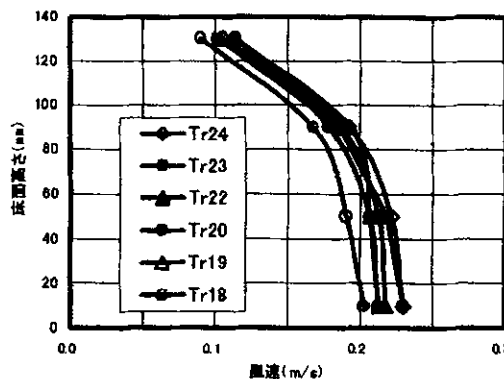
図17 床暖房時の床面気流分布 (外気温の影響、室温20℃)

(3) 室内温度の床面気流に及ぼす影響

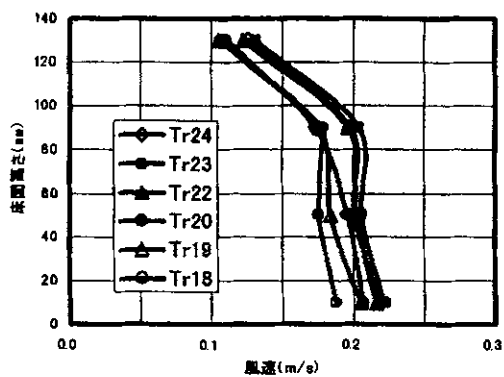
外気温度を -10°C とし、室温を $18\sim 23^{\circ}\text{C}$ の範囲で変化させた場合の窓面から $250, 600, 970, 1450\text{mm}$ の位置での床面気流分布を図18に示す。これらの図から、各測定位置ではほぼ類似の気流分布を示しており、室温が低く、窓面負荷が小さいほど気流も小さくなるのがわかる。しかし、最も気流が小さい室温 18°C の室内中央においても推奨値 0.15m/s は満たされていないことがわかる。



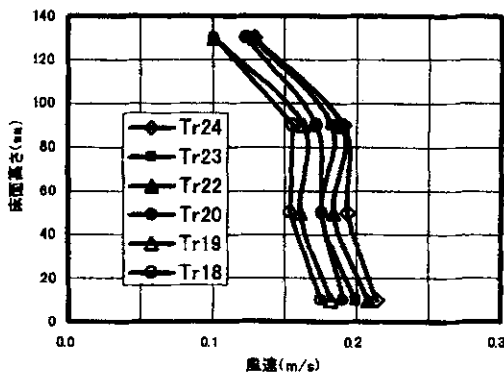
(a) L250



(b) L600



(c) L970



(d) L1450

図18 床暖房時の床面気流分布 (室温の影響, 外気温 -10°C)

(4) 窓高の床面気流に及ぼす影響

室温 20°C 、外気温 -15°C とし、窓高を変えたときの気流分布を図19に示す。窓面温度は、窓高 1790mm が 8.4°C 、 1280mm が 8.7°C 、 820mm が 8.4°C であり、ほぼ同じ値を示した。

これらの図から、窓高が低くなるほど気流が小さくなるのがわかる。中でもこの影響が顕著に現れているのは、窓面に最も近い 250mm の位置であり、床面からの高さ 50mm の気流値と比較すると、窓高 1790mm の 0.22m/s に対し、窓高 1280mm は 0.20m/s (窓高 1790mm の 90%)、 820mm は 0.17m/s (同 76%)である。また、いずれの窓高も推奨値 0.15m/s は満たされていないことがわかる。

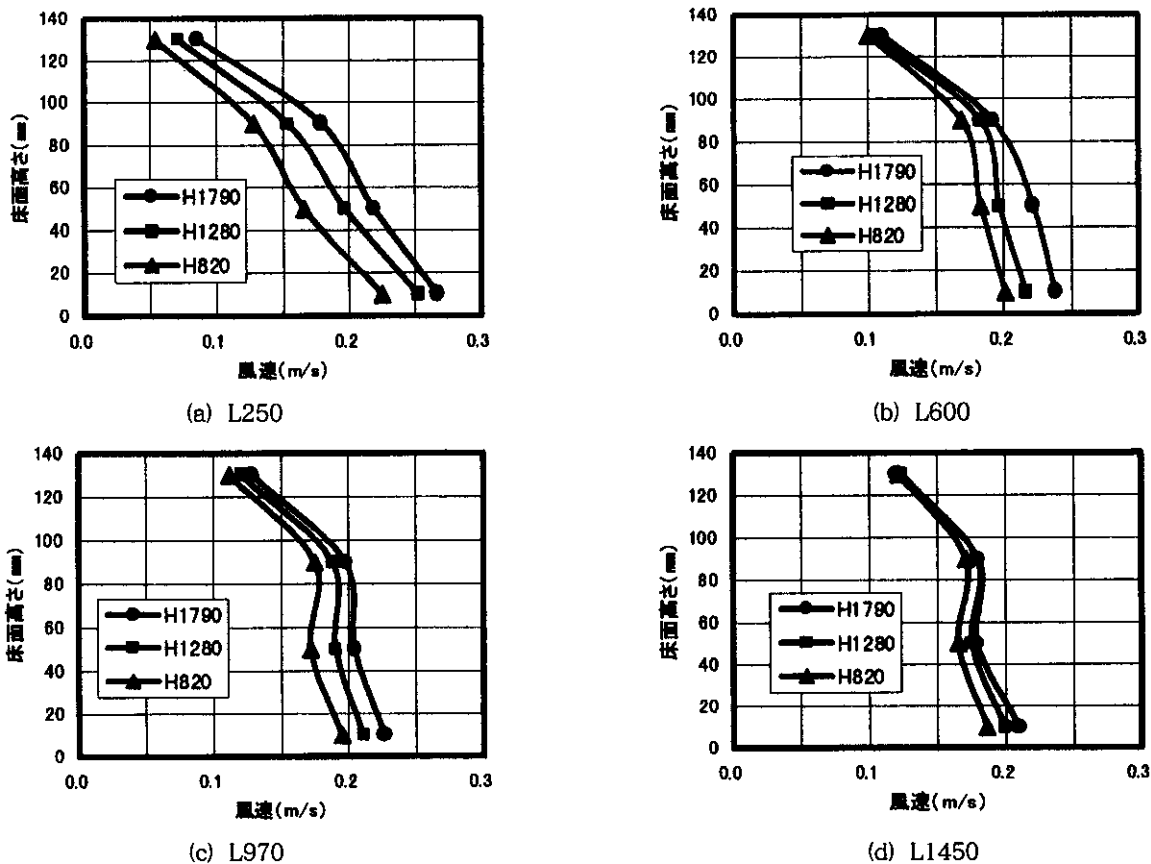
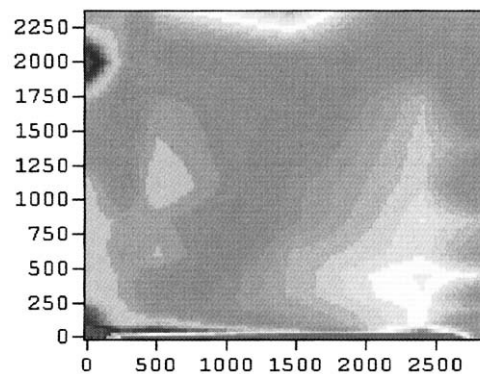
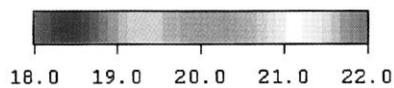


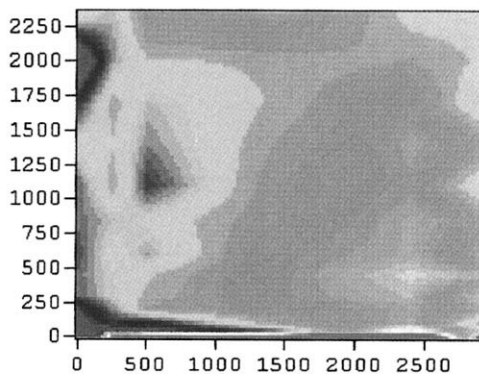
図19 床暖房時の床面気流分布 (窓高の影響, 外気温 -15°C , 室温 20°C)

(5) 床暖房単独時の室内温度分布

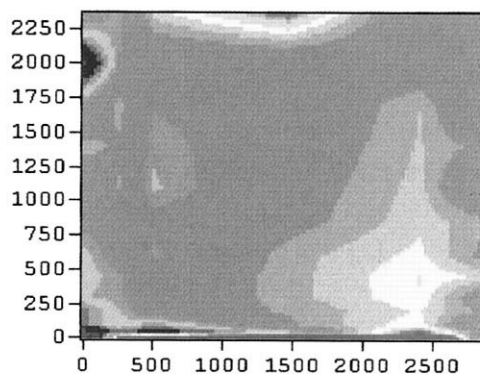
窓高 1790, 1280, 820mm における床暖房時の室内温度分布を図 20 に示す。外気温は -15°C である。これらの図から、いずれも窓面付近にコールドドラフトと想定される低温領域が存在し、前述の床面気流分布の結果を裏付けるように、窓高が高くなるほどこの低温領域が床面を這うように室内奥まで分布している様子が確認できる。



(b) 窓高 1280mm



(a) 窓高 1790mm



(c) 窓高 820mm

図20 床暖房単独時の室内分布 (外気温 -15°C)

4.3 床埋設放熱器によるコールドドラフト抑止試験

4.3.1 試験方法

試験は、前節と同じ環境試験室及び試験装置を用いて行った。

窓面負荷条件として外気温 -5 、 -10 、 -15°C の3種類、床埋設放熱器と床暖房による併用運転を行った。放熱器への送水温度は 50 、 60 、 70°C の3種類とし、室温が 20°C になるように床暖房パネルの通水温度を調節した。測定項目は、床面気流分布を主体とし、室内温度分布測定その他、白煙によるコールドドラフトの可視化測定を一部行った。以上は、C3カバー（開口率31%）の試験であるが、Gの格子状カバー（開口率55%）については外気温 -10°C の条件についてのみ行った。

4.3.2 試験結果及び考察

(1) 床埋設放熱器・床暖房併用時の床面気流分布

床埋設放熱器に、 50 、 60 、 70°C の温水を通水した場合の床面気流分布を、図17の床暖房単独時の結果（記号：Twoff）と比較し、外気温及び各測定位置毎に図21に示す。

放熱器を使用した場合、通水温度や測定位置によって多少の相違はみられるが、いずれも床暖房単独の時に比較し、気流が低く抑えられており、通水温度が高いほど、その効果の大きいことがわかる。しかし、推奨値 0.15m/s を満たすのは、垂直方向いずれにおいても外気温が -10°C 以上で、かつ窓面から 970mm 以上離れた場所であることから、開口率31%のC3カバーを使用した床埋設放熱器ではコールドドラフトを十分に抑止できていないことがわかる。以上の結果は、白煙による可視化測定からも確認された。

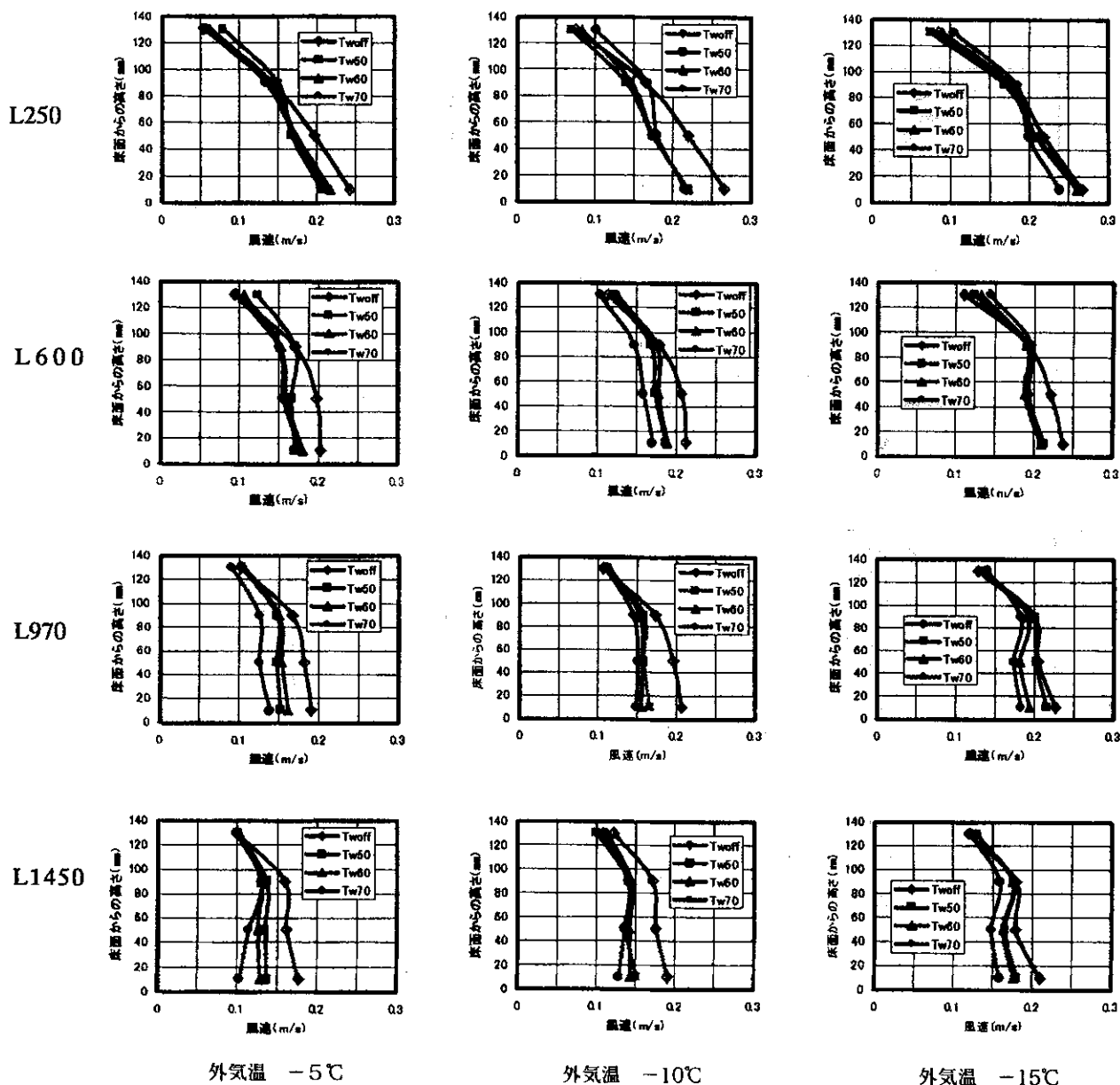


図21 床埋設放熱器・床暖房併用時の床面気流分布（カバーC3）

(2) 格子状カバー使用時の床面気流分布

格子状カバー G を用いて行った床埋設放熱器・床暖房併用時の床面気流分布を、カバー C3 の結果と比較し、送水温度をパラメータとして図 22 に示す。室温 20℃、外気温 -10℃、カバー C3 の送水温度は 70℃である。格子状カバー G (開口率 55%) の方がカバー C3 (開口率 31%) よりもコールドドラフトの抑止効果に優れるが、これは主に開口率の差に起因するものと考えられる。また、ISO の推奨値 0.15m/s を満たす送水温度条件は、窓面から 600mm の位置で 70℃以上、970mm の位置で 60℃以上、室内中央 1450mm の位置で 50℃以上であることがわかる。なお、窓面から 250mm の位置における床上 10mm の気流値が、他の結果に比べ小さな値を示しているが、これは隣接する格子状カバーの最頂部が床面から 15mm の高さに位置するためであり、その影響を受けたものと考えられる。

(3) 床埋設放熱器・床暖房併用時の室内温度分布

外気温 -10℃における床暖房単独時の室内温度分布、及び放熱器カバーに C3 と G を用いた床埋設放熱器・床暖房併用時の室内温度分布を図 23 に示す。床埋設放熱器を併用することにより、床暖房単独時にみられる窓下付近の低温度域が解消されることがわかる。前述の床面気流分布の測定結果と同様、開口率 31% のカバー C3 では送水温度 70℃でもコールドドラフトの抑止効果は十分と言えないが、開口率 55% のカバー G では送水温度 60℃で放熱器から窓面に向かって上昇気流の存在が確認できるなど、コールドドラフトの抑止が達成されているものと推定される。

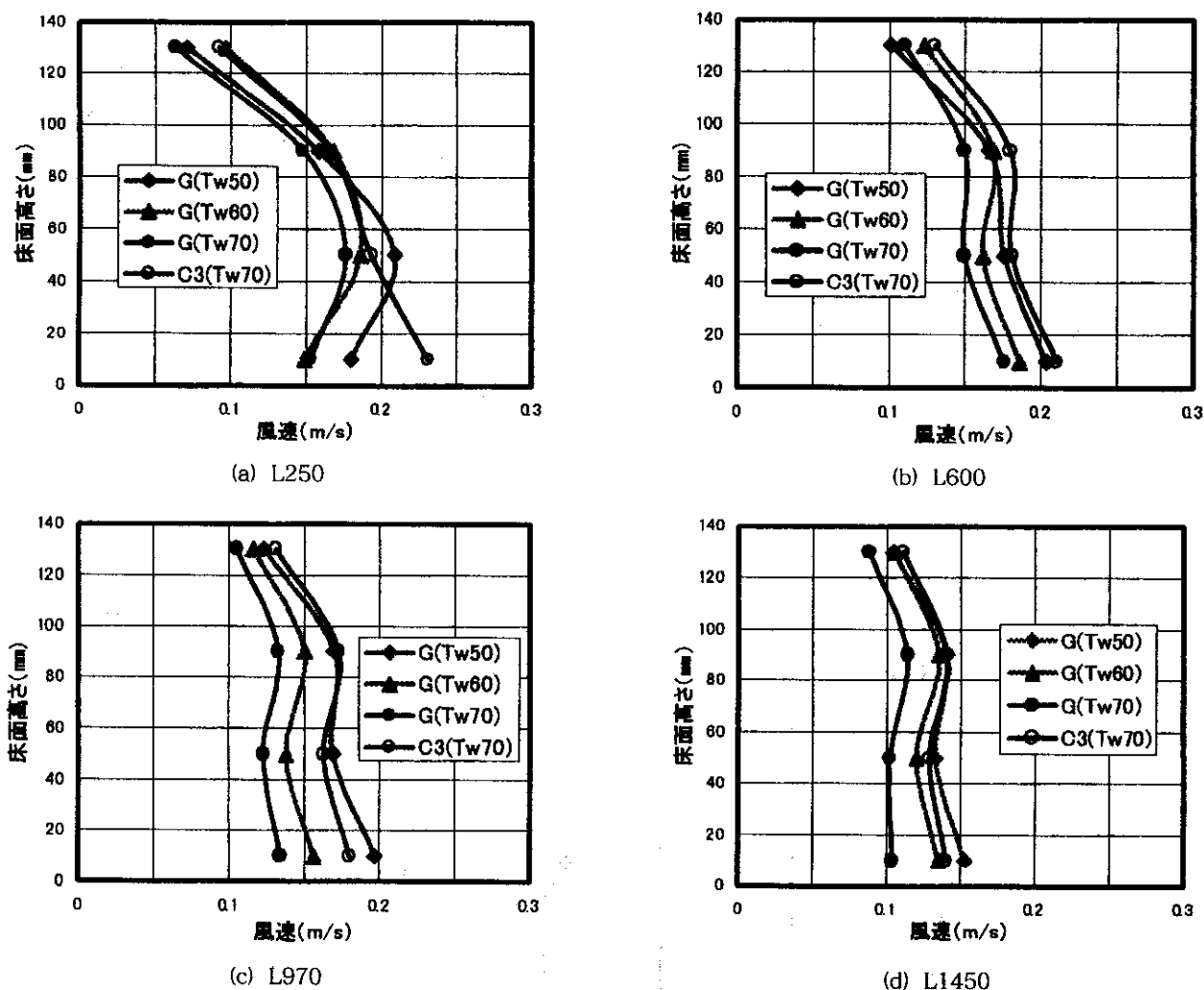


図22 床埋設放熱器・床暖房併用時の床面気流分布 (カバーG)

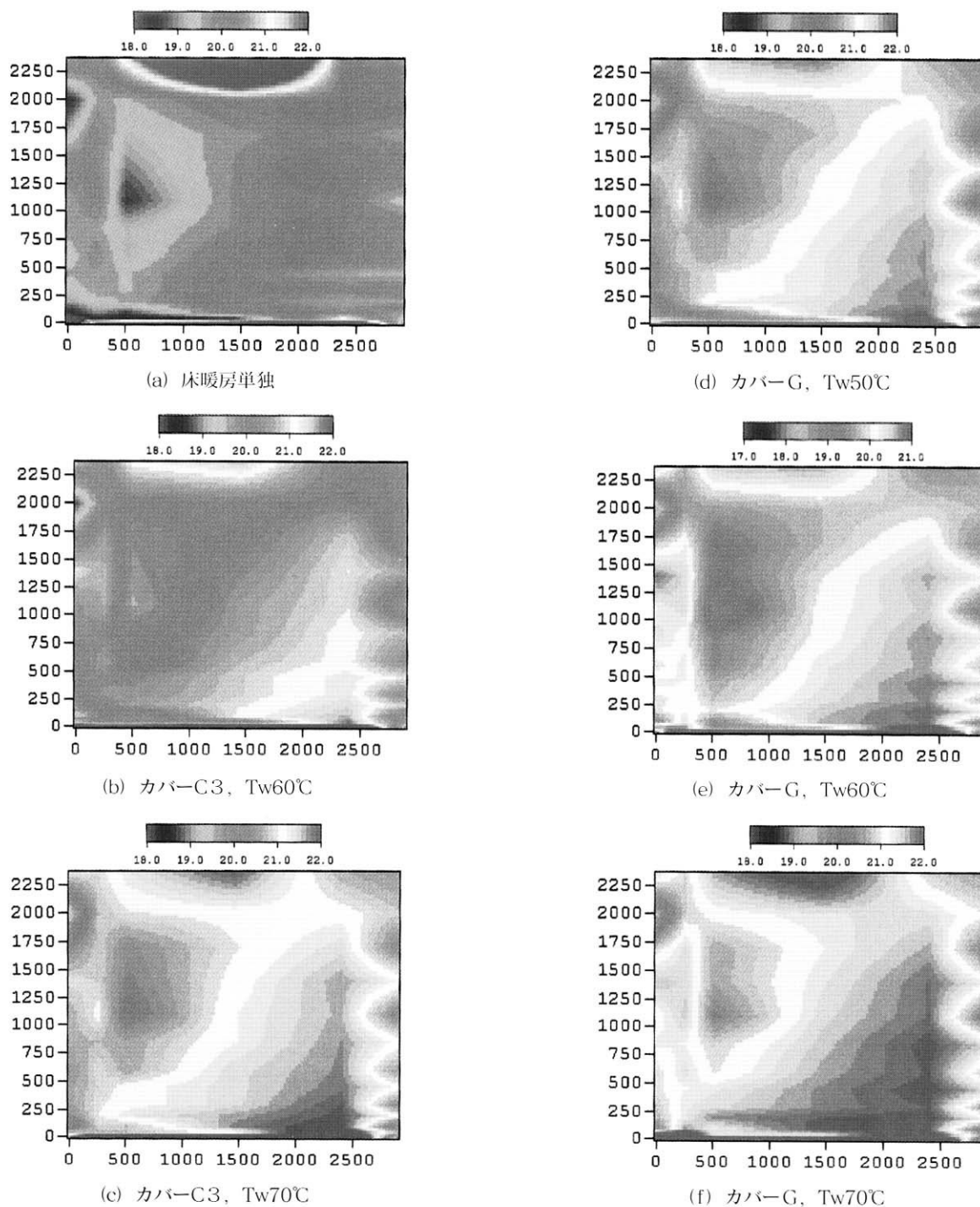


図23 床暖房時床埋設放熱器・床暖房併用時の室内温度分布（外気温-10℃）

5. おわりに

床面と同レベルに敷設できる薄型の温水式床埋設放熱器を設計・試作し、模擬窓を用いた放熱能力試験を通じて性能把握と構造改善を図るとともに、環境試験室を用いた窓面コールドドラフト抑止試験によりその抑止効果を検証した。結果を要約すると、以下ようになる。

(1) 模擬窓による放熱性能試験では、カバー開口率と放熱量の関係、放熱体構造と放熱量の関係及び窓面負荷と放熱量の

関係を調べた。その結果、

- ・カバー開口率 28～40%程度の範囲では、放熱量に差はほとんどがみられない。
- ・放熱体のアルミニウムプレートフィン数を2倍にすると放熱量が5W/m程度増加する。また、放熱管数を2本から3本にすると5～15W/m程度増加する。
- ・窓面負荷が大きくなるほど放熱量も増加するが、送水温度が低い（50℃以下）ほどその影響を強く受ける。

(2) 環境試験室での試験は、コールドドラフト抑止試験の前

段として、窓面負荷とコールドドラフトの関係を明らかにするため、室温、外気温及び窓高などを変化させたときの床面気流分布を詳細に測定した。その結果、

- ・垂直方向の床面気流は、床面付近が最も大きく、床面から離れるに従い小さくなる。
- ・水平方向の床面気流は、窓近傍が最も大きく、室内中央に向かうに従い小さくなる。
- ・室温一定の場合、外気温が下がると床面気流（コールドドラフト）は増大する。
- ・外気温一定の場合、室温を上げるとコールドドラフトは増大する。
- ・外気温、室温一定の場合、窓高が高くなるほどコールドドラフトは増大する。
- ・外気温－10℃以下では、床面から100mm以下の領域にある気流は、いずれも国際規格ISOの推奨値0.15m/sを超える値を示した。

(2)開口率31%の鋼板製カバー、及び新たに加えた開口率55%の格子状カバーからなる温水式床埋設放熱器のコールドドラフト抑止効果を検証した。その結果、

- ・鋼板製カバーを用いた床埋設放熱器と床暖房との併用では、床暖房単独よりも床面気流（コールドドラフト）は低く抑えられた。また、通水温度が高いほど、その効果は大きい。
- ・推奨値0.15m/sを満たすのは、外気温が－10℃以上で、かつ窓面から1m程度離れた場所である。
- ・格子状カバーの方が鋼板製カバーよりもコールドドラフトの抑止効果に優れる。これは主に開口率の差に起因するものと考えられる。
- ・格子状カバーの床埋設放熱器を併用すると、外気温－10℃の条件では、ISOの推奨値0.15m/sを満たす送水温度条件は、窓面から600mmの位置で70℃以上、970mmの位置で60℃以上、室内中央1450mmの位置で50℃以上である。

参考文献

- 1)富田和彦ほか：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-，北海道立工業試験場報告，No.297，p43（1998）
- 2)富田和彦ほか：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2報）-窓面コールドドラフトの室内温熱環境に及ぼす影響-，北海道立工業試験場報告，No.297，p.51（1998）
- 3)富田和彦ほか：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）-模擬窓による可視化実験-，北海道立工業試験場報告，No.293，p.79（1994）
- 4)富田和彦ほか：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-その2 床埋設型放熱器による窓面コールドドラフト抑止実験-，空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会論文集 p.107(1999)
- 5)International Standard ISO 7730-1984
- 6)落藤澄，横山真太郎ほか：低温水床暖房の省エネルギー性と適応限界の実験（第1報），空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会論文集 p.117(1996)