

放射を利用した室内環境調整技術の問題点の把握と解決法の提案

T O 1 K 7 3 4 H 畑下 広考
指導教官 赤林 伸一 教授

1 研究の目的

室内温熱空気環境を制御する場合には、空調装置を用いて空気の温湿度や清浄度を制御する方法が一般的である。一方、快適性の観点から床や天井、壁などの表面温度を制御する放射型冷暖房が近年普及し始めている。放射型冷暖房は空気温度を相対的に低く出来ること、上下の温度分布が少ないこと等多くの利点がある。しかし、放射型冷暖房の放熱量の計算手法、負荷の算出法等は未だ確立されておらず、経験と勘によって設計されている。又、放射型冷暖房では、冷放射パネル面での結露が問題となる。

本研究では、昨年開発した放射制御型環境試験室を用いて、床暖房時の床面からの放熱量の算出法を検討し、さらに、床冷房時に結露を防止する方法を提案することを目的とする。

2 床暖房時の熱伝達率の算出

2.1 床暖房時の床からの放熱量の計算方法

固体表面からの放熱量 Q は通常次式で求められる。

$$Q = (T_s - T_A) [W/m^2]$$

: 総合熱伝達率 [W/m²・K]
 T_s : 固体表面の温度 [K]
 T_A : 空気の温度 [K]

この総合熱伝達率は、固体表面と室内空気の温度差が比較的小さく、各表面温度の差も小さい場合を想定しているため、床暖房時のように、床表面温度と室内空気温度、壁、天井の表面温度との温度差が大きい場合に適応することには問題がある。

表面温度と室内空気温度の差が大きい場合には、総合熱伝達率を放射熱伝達率と対流熱伝達率 c とに分離

表1 熱伝達率測定のための実験ケース

	設定温度 []	
	壁・天井	床
Case1	30	40
Case2	25	40
Case3	20	40
Case4	15	40
Case5	10	40
Case6	5	40

表2 放射熱伝達量の計算式

面1から面2への放射熱伝達量 q_{12} [W]は

$$q_{12} = \varphi_{12} \varepsilon_1 \varepsilon_2 C_b \left\{ \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right\} S_1$$

但し、 φ_{12} : 面1からみた面2の形態係数
 ε_1 : 面1の放射率
 ε_2 : 面2の放射率
 C_b : 黒体の放射定数 5.67 [W/m²K]
 T_1 : 面1の絶対温度 [K]
 T_2 : 面2の絶対温度 [K]
 S_1 : 面1の面積 [m²]

し、個々の熱伝達量を計算する必要がある。

2.2 床暖房時の放射・対流熱伝達量

床暖房時に、床面、壁面、天井面の温度を変化させた場合の放射熱伝達率、対流熱伝達率 c を実験的に明らかにすることにより、床表面からの放射熱伝達量と対流熱伝達量の比率を明らかにする。表1に実験ケースを示す。

2.3 熱伝達率の算出方法

放射パネル出入口水温と各系統別流量を測定し、各パネル毎の受熱・放熱量を算出する。放射熱伝達量は表2(1)式より計算で求める。各パネルの受熱・放熱量が床からの放射熱伝達量と室内空気からの対流熱伝達量の和であることから、各パネルの受熱・放熱量から放射熱伝達量を引いた分を対流熱伝達量としてそれぞれの熱伝達率を求める。

2.4 各熱伝達率算出結果

図1に放射熱伝達率と各表面、室温の温度差の関係を、図2に対流熱伝達率と各表面、室温の温度差の関係を示す。表面温度と室温の温度差が大きくなるほど天井面、壁

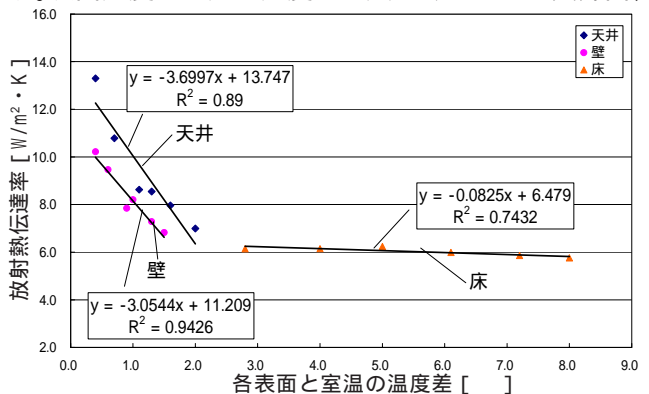


図1 放射熱伝達率と各表面、室温の温度差の関係

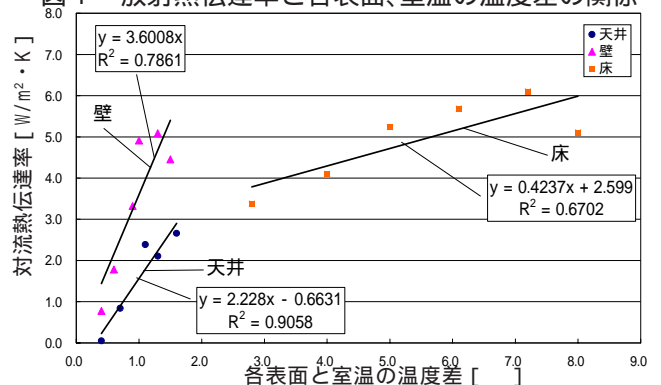


図2 対流熱伝達率と各表面、室温の温度差の関係

面の放射熱伝達率の値が小さくなり、対流熱伝達率は逆に、値が大きくなる。床面では放射熱伝達率は表面温度と室温の温度差に関係なく、約 $6.0\text{W}/\text{m}^2$ の一定値をとる。

3 床冷房時の結露防止システムの検討

3.1 結露防止システムの概要

図3に結露防止システムを示す。上下に連結させたファンコイルユニットの下段のコイルを除湿コイルとして使用し、冷水を供給することで室内の除湿を行い、結露の防止を図る。一方、上段のコイルはファンコイルからの吹出空気温度を下げすぎないように、床冷放射パネルを通り室内の冷房負荷を除去して戻ってくる冷水を用い、吹き出し気流を再熱するコイルとして使用する。ファンコイルユニットにはダイキンの床置埋込型ファンコイルユニットFWVM3B(Z)を対象とする。

3.2 結露防止システムの実験方法

表3に各ケースの設定温度を示す。床冷房再現時に、潜熱負荷(加湿器)を与え、冷水チラーの設定温度を変化させた場合の室内温度分布、床パネル出入口水温等を測定し、床放射パネル配管の結露状況を確認する。

3.3 床面の結露を防止する露点温度の算出法

表4にファンコイルユニットの除湿量の計算式を示す。表4(1)式と実験データを用い、除湿量と除湿コイル入口水温をパラメータとした室内空気の露点温度を算出する。

3.4 測定結果

表3に各ケースの露点温度と床パネル出口水温を、図4

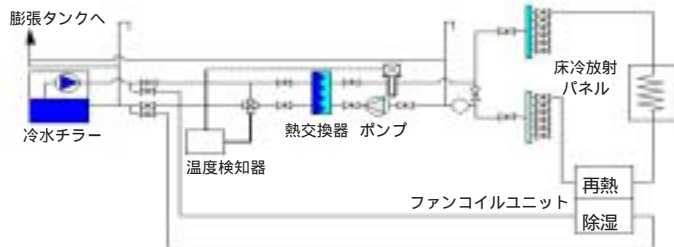


図3 床冷房時の結露防止システムの概要

表3 床冷房の実験ケース

	設定温度[]			露点温度 []	床パネル出口水温 []
	天井・壁	床	冷水チラー		
case1	35	13	7	13.6	14.6
case2	35	13	8	14.0	14.6
case3	35	13	9	14.6	14.6
case4	35	13	10	15.4	14.6
case5	35	13	11	16.3	14.7

表4 除湿量の計算式

$$G_w = h_p A (X_a - X_s) \dots (1)$$

但し、 G_w : 除湿量[kg/h]

h_p : 伝熱面の物質伝達率[kg/m²h]

A : 伝熱面総面積[m²]

X_a : 空気入口平均絶対湿度[kg/kg(DA)]

X_s : 伝熱面平均温度に対応する空気飽和絶対湿度[kg/kg(DA)]

$h_p = h/C_p$

h : 顕熱の意味の熱伝達率[W/m²K]

C_p : 空気の比熱[J/kgK]

に冷房負荷除去量の割合を示す。除湿コイルの水温を上げていくと室内の露点温度も高くなっていく。Case 3、4、5は床パネル出口水温が露点温度以下になるため、床パネル配管表面において結露していると考えられる。また、各ケースとも床による除去熱量が2割、除湿コイルによる除去熱量が8割程度となっている。

3.5 床面の結露を防止する露点温度の算出結果

図5に除湿コイル入口水温と室内空気露点温度の算出結果を示す。人体からの一人当たりの水蒸気発生量(軽動作、環境温度25)は約150g/hであるので、室内の在室人数と除湿コイル入口水温を決めれば、図5からその時の室内空気露点温度を求めることができる。床に供給する冷水の温度を露点温度以上に設定すれば結露を防止することができる。

4 まとめ

床面では、放射熱伝達率は表面温度と室温の温度差に関係なく、約 $6.0\text{W}/\text{m}^2$ の一定値となる。天井面・壁面では、対流熱伝達率と、表面温度と室温の温度差の間に正の相関がみられ、放射熱伝達率と表面温度と室温の温度差の間には負の相関がみられる。

床冷房時の床が結露しない程度に除湿した場合、床が除去する負荷は全体の2割程度となる。

室内の水蒸気発生量と除湿コイル入口水温をパラメータとした床面での結露を防止する計算法を開発し、床冷房の設計資料として提案した。

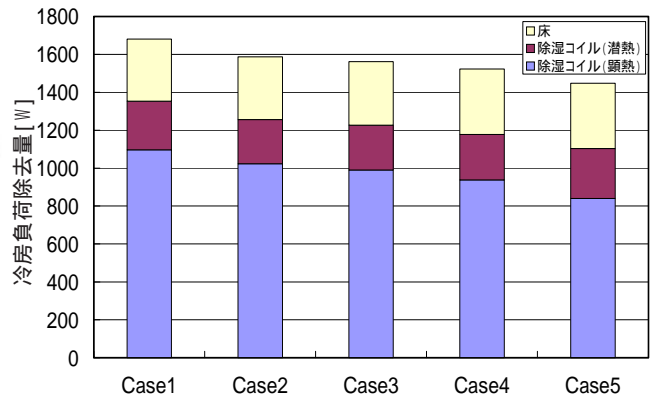


図4 冷房負荷除去量の割合

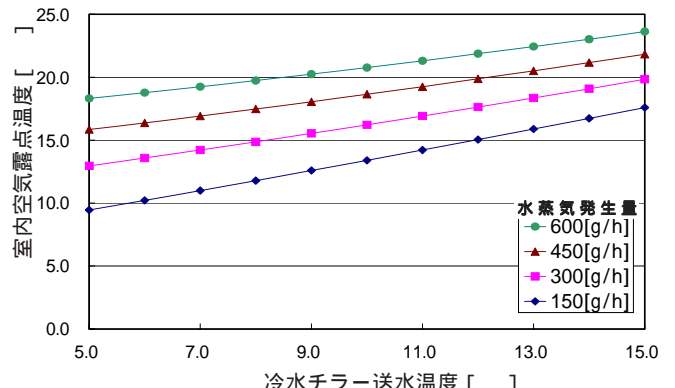


図5 室内発生水蒸気量毎の除湿コイル入口水温と室内空気露点温度