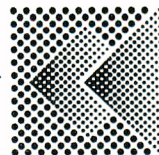


# 床 暖 房 シ ス テ ム (2)

海外文献紹介



Fußbodenheizsysteme (Teil 2)

Dr.-Ing. Peter Schmidt

[Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-  
Umwelttechnik 106(1985), Heft 2]

田 中 辰 明\*記

キーワード：暖房(Heating), 床暖房(Floor Heating), 西ドイツ(West Germany)

## 訳 者 注

筆者は、ベルリン工科大学ヘルマンリーチェル研究所の研究員の時代に床暖房の研究に従事し、後ウィーンの床暖房専門会社に勤務し、断面が楕円形になった合成樹脂配管による床暖房の普及に勤めた。現在は、西ドイツの建築設備機器メーカーにおいて製品開発に従事している。

なお、本稿は、床暖房システム(1)[本学会誌 61-5(昭62-5)]の続きである。

ドイツの場合、今日一般的になっている断熱が使用されていれば床暖房であろうが、ラジエータ暖房であろうが快適性は保証される。熱消費量に関して、厳密な評価の方法は難しいが、床暖房もラジエータ暖房も相違は少ない。床暖房に関しては、さまざまな配管敷設方式が提案されているが、基本的な配管方式(つづら折り式と往復式)もその長所・短所を比較すると価値は同等である。

## 3. 床構造の放熱量に対する影響

床暖房システムにおける室温(DIN 4701による規格の室温)に対する熱流密度は、平均の床表面温度によって決まる。DIN 4725では、床暖房の熱出力の算定に際し、床表面温度が許容の表面温度(居住範囲で29°C)を超えてはいけないとしているのが、さまざまなパラメータが間接的に表面温度、さらに熱出力に影響を及ぼす。

- 1) 熱媒の温度変動幅
- 2) 配管ピッチ

## 3) 配管の敷設

### 4) 配管の上の床材料

これらの要素は、床暖房システムの構造としてすべてがお互いに無関係ではないが、経済的な理由からすべて自由に選定されるというものでもない。DIN 4752で述べられている測定条件は、システムの提供者に有利なように選定され、DIN 4752でいう熱流密度が高くなるように床構造の配慮が行われ、平均床表面温度ができるだけ高くなるように、床表面温度の分布ができるだけ均一になるように、また熱媒温度の変動が小さくなるように配慮される。表面温度が均一になるというのが理想ではあるが、実際には実現できない。

一般的な表面温度のばらつきの影響を、図-13に示した。ここでは、DIN 4752でいう熱流密度は、ばらつきが大きくなるとともに小さくなることわかる。ばらつき  $\Delta t_{wet} = 0 \text{ K}$  という条件は、床全面に熱が流れるシステ

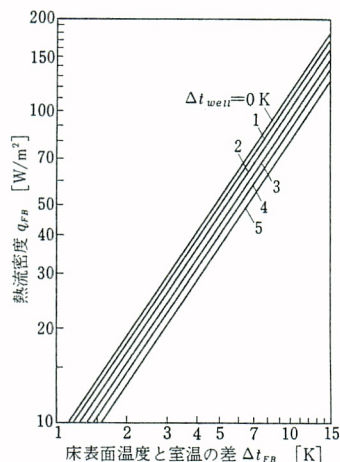


図-13 温度が波状になること(ばらつき)が熱出力に及ぼす影響

\* (株)大林組技術開発本部企画管理部 正会員

ムで実現できるが、図-13でさらに熱媒温度変動  $\Delta t_{sp}=0\text{ K}$  という条件を満足させなければならない。しかし、これは実現不可能なことである。温度のばらつきをできるだけ小さくし、配管ピッチを小さくし、配管と床表面の間の熱伝導抵抗を大きくすることは直接効果が出ることである。熱伝導抵抗を大きくすることは、配管の被りを厚くし、熱伝導抵抗の大きな敷物を用いることで達成できる。しかし、この場合は常時高目の熱媒温度を必要とする。熱媒温度の変動は、配管埋設層と床表面の間の熱伝導抵抗の影響も受ける。したがって、図-14に示した線図は、特定のシステムに有効なものである。温度変動の影響は、配管埋設層と床表面の間の熱伝導抵抗が大きいと小さくなる。DIN 4752によると、この二つの影響は、場合によってはシステムでは熱媒配管から床表面への伝熱を悪くするものである。このことは、常時“制御性”の悪い高目の熱媒温度を必要とし、場合によっては配管上のモルタル層が厚くなり、熱容量も大きくなって加熱面の制御性がさらに悪くなる。反対に最近では、特に湿式敷設システムの場合、低目の熱媒温度を使用するものが多く出ている。この場合、暖房配管と床表面温度の伝熱関係は大変良い。配管敷設方式システムでは、低温式の場合、表面温度分布はばらつきが大きくなり、設計時には考慮されていなかった床の熱伝導抵抗の大き

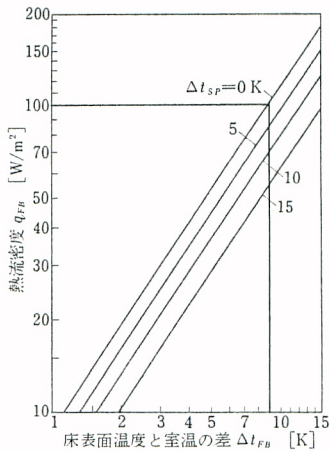


図-14 熱媒温度と室温の差  $\Delta t_{sp}$  が熱出力に及ぼす影響

い敷物が利用されたときには、熱出力の減少がみられる。この現象は、床全面に敷設された床暖房の場合においても同様である。ここで床暖房の構造に関して、本当の意味での最適設計は熱媒温度を上昇させたときのみ床表面温度が均一になり、達成できることがわかる。また、低目の熱媒温度は、温度の均一性を欠くばかりでなく、制御性を悪くし、設計能力が出ないこともある。

配管敷設方式(つづら折り式・往復式)の影響に関しては、最近 Kast と Klan によって初めて系統的に実験研究が行われた。ここでは、図-15に示すように、往復式に関しては2種類について調査が行われた。この研究結果を詳細に至るまでここで再記述はしないが、概要を表-1にまとめた。計算では個々の例について、同じ床材料を用いて送り湯温度も  $31.5^\circ\text{C}$  で同じとしている。その結果、どの例においても許容の床表面最高温度  $t_{FBmax}=29^\circ\text{C}$  を超えていない。この送り湯温度を使用すれば、他の要素を変えても床表面最高温度が  $29^\circ\text{C}$  以下となる。Kast と Klan は、この研究で初めてさまざまな配管敷設方式に関して熱媒の温度変動の影響を分析した。表-1には、この研究から個々の例について最高床表面温度  $t_{FBmax}$ 、変動する温度差  $\Delta t_{well}$  ならびに平均床表面温度  $\overline{t_{FB}}$  を示した。加熱面からの放熱は、床表面と室温(ここでは  $t_i=20^\circ\text{C}$ )の温度差を基準としている。表-1には、配管敷設方式と熱媒温度変動による温度降下の尺度として比  $(\overline{t_{FB}}-t_i)/(t_{FBmax}-t_i)$  を示した。Konzelmann と Zöllner によると床暖房の場合、出力の指数は  $n=1.1$  を用いているが、表-1の熱流密度比  $\delta_q$  の算出ではこの値を使用した。往復式では、つづら折り式より熱媒温度変動が大きくなるに従って良い結果が出ていることがわ

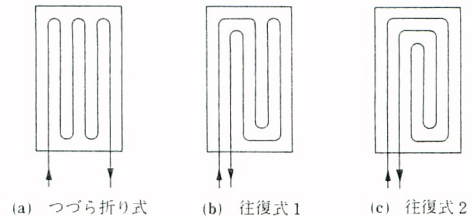


図-15 湿式床暖房における各種配管方式において熱媒温度と室温の差が放熱量に及ぼす影響の調査

表-1 Kast と Klan の研究する湿式工法による床暖房における配管方式と熱媒温度と室温の差  $\Delta t_{sp}$  が熱出力に及ぼす影響

配管方式	$\Delta t_{sp}=2.5\text{ K}$			$\Delta t_{sp}=5\text{ K}$			$\Delta t_{sp}=10\text{ K}$		
	つづら折り式	往復式 1	往復式 2	つづら折り式	往復式 1	往復式 2	つづら折り式	往復式 1	往復式 2
$t_{FBmax}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	28.72	28.66	28.66	28.70	28.59	28.59	28.67	28.48	28.48
$\Delta t_{well}$ [K]	3.01	2.60	2.83	4.58	3.84	4.22	7.71	6.93	7.16
$\overline{t_{FB}}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	27.21	27.36	27.24	26.41	26.67	26.48	24.82	25.01	24.90
$(\overline{t_{FB}}-t_i)/(t_{FBmax}-t_i)$ [%]	82.7	85.0	83.6	73.7	77.6	75.4	55.6	59.1	57.8
$\delta_q$ [%]	81.1	83.6	82.1	71.5	75.7	73.3	52.4	56.1	54.7

かる。つづら折り式では、床表面温度の振幅は小さく、良い室内環境を作り、他の配管敷設方式に勝っている。Kast と Klan が最近の研究で示したように、乾式の床暖房で使用されるような熱伝導薄板を使用すると、温度変動は極端に減少している。この場合、熱伝導薄板がいかにうまく暖房配管に接触しているかが、この効果に大きく影響を及ぼしている。

#### 4. 熱 消 費

床暖房に関しては、特定のメーカーにより、“ラジエータ暖房に比べ、暖房費用の節約が20%に達する”と宣伝されているが、これは多くの場合、“床暖房の場合、必要な室温が低く(図-3~7参照)、間接的には熱消費量の節減に換算しなければいけない”ということによっているのであるが、これは誤っている。このような考えは、物理的基礎を欠いている。事実、このような熱消費量の相違に関しては、つぎの原因が考えられる。

- 1) 熱負荷のシステムの相違
- 2) 年間の換気熱負荷の相違
- 3) 暖房面を設置したことによって増加した熱損失
- 4) 分布が違うことによる熱損失の相違
- 5) 制御特性の相違

Schmidt が、暖房システムが熱負荷に与える影響を調査・研究したところによると、敷設状態による熱負荷の相違は実際には認められなかった。床暖房においては、室温(DIN 4701 でいう規格の室温)は常にラジエータ暖房の場合より低いので、換気熱負荷と外表面での対流熱伝達がやや少なくなる。これに対し、放射による熱伝達は極めて大きく、その結果、伝導による熱負荷は床暖房のほうがラジエータ暖房より合計で大きくなる。このような伝導と換気負荷の相殺し合う影響により、暖房システムによる熱負荷の実質的相違は生じないのである。DIN 4701 で定義する熱負荷と暖房出力  $Q_H$  の相違を比較すると、後者は暖房システムの影響を含んでいるが、実際には部屋の断熱(DIN 4701 による Krischer 値  $D$ )や

換気負荷の部分( $\dot{Q}_L/\dot{Q}_T$ )の影響は小さい。図-16, 17 に、放射の割合が一般的であるラジエータによる暖房と床暖房の場合の放熱出力の比を示した。ここで、今日一般的である断熱[ $D < 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]では、床暖房が不利なることに對し、少ししか影響しないことがわかる。ここで示した関係は、すべての出力比の条件を証明するものである。

年間の熱消費量を考察すると、換気による熱負荷の割合は、外気温の上昇とともに増大するという難しい問題がある。この場合、床暖房はやや有利になる。他方、年間の換気熱負荷は、建物使用者の習慣の影響を大きく受ける。しかし、この統計的な調査結果は、今のところ不明である。いずれにせよ、このことによる両方の暖房システムによる相違は少ない(3%以下である)。

配管方式の相違も、床暖房の場合、地下室配管が短くなる、熱媒温度が低目で済むという利点はあるものの、実際にはその長所は無視できるものである。

暖房加熱面の位置による、前に定義した熱出力  $\dot{Q}_H$  に含まれない熱損失の増大には、床暖房の場合、暖房されない地下室へまたは直接大地への熱損失や、ラジエータ暖房の場合、放熱器後方の窓下腰壁で増大する熱流などがある。図-18 に、一般的湿式床暖房の断熱厚さ、配管ピッチ、床の敷物による熱損失の増加を示した。建物の熱損失はあまり暖房されない階では、特にブナが床材として使用されることにより、ラジエータ暖房の場合は、放熱器後方の腰壁の少しの面積を断熱強化することで実際に減少させることが可能である。

図-19 には、放射の割合が一般的であるラジエータ暖房の熱媒温度  $t_{0HK}$  と腰壁の断熱による熱損失を示した。これは、Schmidt の研究結果から作図したものである。

確かに床暖房の場合、熱損失の増加は熱消費にとって、特に個人住宅に採用された場合に欠点となる。しばしば討議された床暖房システムのラジエータ暖房に対する制御性とその熱消費に対する影響は、今まではほとんど

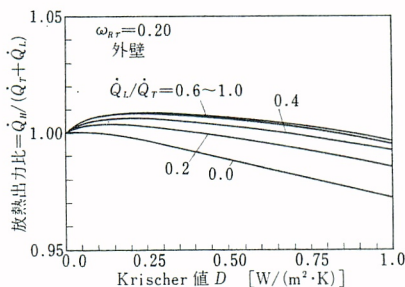


図-16 ラジエータ暖房の放熱出力比(外気温  $t_a = -14^\circ\text{C}$ ) (Schmidt による)

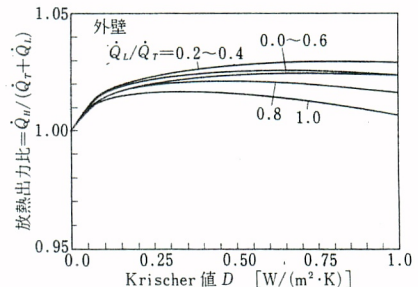


図-17 床暖房の放熱出力比(外気温  $t_a = -14^\circ\text{C}$ ) (Schmidt による)

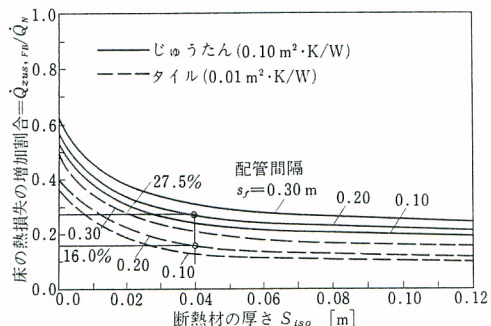


図-18 断熱と床の敷物が湿式床暖房の下方放熱に及ぼす影響

表-2 制御ならびに制御性に起因する湿式床暖房のラジエータ暖房に対する熱消費量の割増し

ファサード突出による日射遮へい	はい	はい	はい	いいえ
室内サーモスタットの比例範囲	0.8	0.8	3.0	0.8
夜間の室温低下	いいえ	はい	はい	いいえ
制御性による熱消費量の割増し [%]	1.6	7.9	4.0	6.2

システム的には研究されていない。Gilliが指摘しているように、床暖房では、特に湿式床暖房の場合、熱容量が大きいため自動制御がうまく作動しない。これは、非常に詳細にわたる研究ではあるが、表-2にその概要をまとめた。ここで、夜間運転を停止する場合やファサードからの日射熱取得が大きい場合は、床暖房の熱消費が不利になることがわかる。

室内サーモスタットの比例帯が大きいことは有利なようであるが、両方のシステムとも熱消費量が増大し、見せ掛けのものであることがわかる。制御や制御性による床暖房の熱消費量は多くの場合、ラジエータ暖房と同じか多いことがわかった。そして、この理由による割増し量は、床暖房の場合、5%と計算された。

5. 結 論

床暖房の熱的快適性は、少なくとも今日一般的である断熱が使用されている場合は保証されている。この観点からはラジエータ暖房も同じで、今日では両方のシステムとも完全に同じ価値をもっていると言える。熱消費量に関する床暖房のラジエータ暖房に対する長所は、しばしば、述べたように厳密な試験を行い、熟慮も行ったが、その相違は認められなかった。両方の暖房システムを比較すると、床暖房にほんの少し、それもどうでもよいような短所が認められる。両方のシステムとも同等の価値があるものと認められる。

今日市場に出ている床暖房システムの構造バリエー

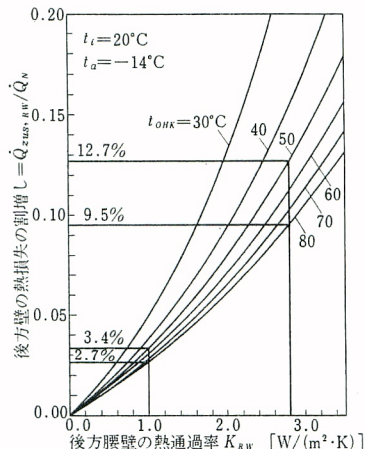


図-19 放熱器後方の胴壁による熱損失の割増し (Schmidtによる)

ションの機能をすべて見渡すことは不可能であり、さまざまな構造の長所・短所を比較して本当に最適化を図ることはできない。DIN 4725での記述は、将来の床暖房の構造の方向を示唆しているかも知れない。基本的な二つの配管方式(つづら折り式と往復式)も、その長所・短所を比較すると価値は同じものである。

(昭和61. 12. 12 原稿受理)

本稿は、当学会が手続きを経て翻訳していますので、訳文の無断転載を禁じます。

本学会規格(HASS)

●排水・通気用鉛管

(HASS 203) 体裁/B5判, 8ページ  
定価/会員450円 非会員500円 送料250円

●給排水設備規準

(HASS 206) 体裁/B5判, 100ページ  
定価/会員1,600円 非会員1,800円 送料300円

●マンホールふた

(HASS 209) 体裁/B5判, 4ページ  
定価/会員270円 非会員300円 送料250円