

# 銅の熱伝導特性を利用した中空パイプ床暖房システムの放熱性能実験

# EXPERIMENTAL STUDY ON HEATING PERFORMANCE OF A FLOOR HEATING SYSTEM USING THERMAL CONDUCTIVITY OF COPPER

志賀 均 —\*1 水沼 信 —\*2  
浜砂ひとみ —\*3 大内裕子 —\*4  
福代和宏 —\*5 中園真人 —\*6

Hitoshi SHIGA —\*1 Makoto MIZUNUMA —\*2  
Hitomi HAMASUNA —\*3 Yuko OHUCHI —\*4  
Kazuhiro FUKUYO —\*5 Mahito NAKAZONO —\*6

キーワード：  
中空パイプ, 銅の熱伝導, 放熱性能, 床暖房

Keywords:  
Void pipe, Thermal conductivity of Copper, Heating performance, Floor heating system

A new floor heating system that the most part of the circulation pipe was substituted with a midair pipe made of copper was developed. The advantage of this system is 1) shortening of the construction period, 2) shortening of the pipe diameter and 3) the reduction of the load which hangs on boiler. Firstly, to examine the heating performance and the operation optimum condition, the comparison of the radiation performance was done by using the flux for parameter. Secondly, the comparison of heating performance of standard circulation-type system and the new system was done. As the results, about the flux, it found that 2.5 l/min was effective in case of this system and it became clear that the heating performance of new system was equal to the standard system which is in the market.

## 1. 序論

近年一般住宅にも普及し始めている床暖房システムは、床面から室内を暖房するため、室内の温度分布が均一で、熱効率に優れた方式として位置づけられている。現在ではガス式温水床暖房、灯油式温水床暖房、電熱式床暖房などが知られているが、一般的に灯油式が最もランニングコストが安く、次がガス式といわれている。この2方式は、柔らかい暖かさを得ることが出来る長所を有するが、イニシャルコストが高く、また電熱式と比較してパネルが厚く、床高が高くなる短所を有する。逆に電熱式は、電熱線で直接暖めるので立ち上がりが速いという長所を有するが、キュービクル（受電設備）が必要な場合イニシャルコストが高くなり、またランニングコストも高く、温度ムラが生じるなどの短所を有する。他にも漏電の危険性等があげられ、現在では電熱式よりも温水式の方がより一般的である。

この温水式床暖房の開発に関する最近の研究には、熱源側において太陽熱や夜間電力を利用したクリーンエネルギーによる効率的な集熱・蓄熱システムの開発により、床暖房の省エネ化を検討する研究が多く<sup>1), 2), 3)</sup>、床暖房自体の性能向上やコスト低減を目指す技術提案はなされているもの<sup>4), 5)</sup>、その提案の実用化を目指した検証研究の報告は少ないのが現状である。しかしながら、安全性と熱効率に優れた床暖房の普及を図るためには、イニシャルコスト、ランニングコストに優れたシステム開発が求められており、熱源側のみでなく循環パイプ側の技術開発も重要な課題である。

そこで、著者らは「中空パイプ」を既存の温水式床暖房に導入した新しいシステムを考案した。この方式のシステム概要を図-1に示す。構造用合板の上に温水・中空パイプを敷設する。このシステムは銅製

のパイプによって構成され、周囲の温水循環パイプから等間隔に中空パイプを溶接することによって接合されており（図-1 B:接合部詳細参照）、その接合部分から中空パイプに熱を供給している。中空パイプ間にはレベルを合わせるために12mm厚の構造用合板を敷設し（図-1 A-A':断面詳細参照）、また構造用合板の上部とパイプ下部を巻き込むように加工した0.1mm厚のアルミ均熱板を敷設する。

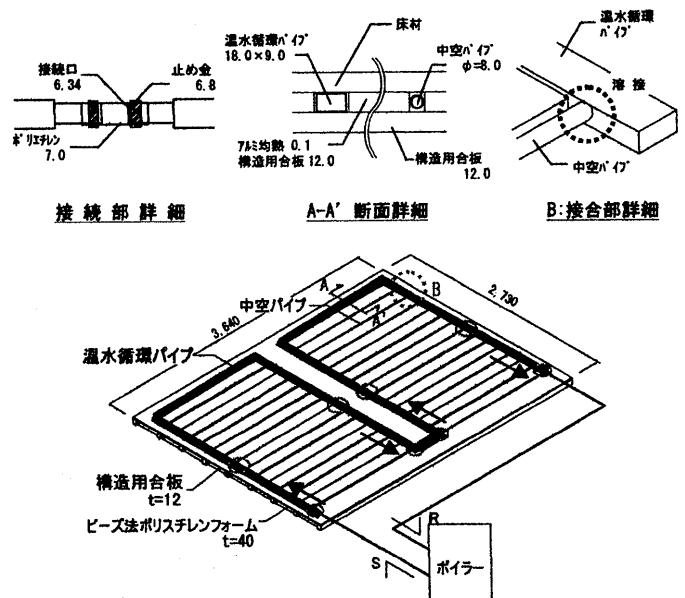


図-1 中空パイプシステム概要図 (アイソメ図)

\*1 ㈱ジャスト東海 代表取締役社長 (〒759-0207 山口県宇部市厚南区上中野)  
\*2 山口県産業技術センター 専門研究員  
\*3 ㈱ジャスト東海  
\*4 山口大学大学院理工学研究科博士後期課程 修士(工学)  
\*5 山口大学工学部感性デザイン工学科 講師・博士(工学)  
\*6 山口大学工学部感性デザイン工学科 教授・工博

\*1 President, Just Toukai Corporation  
\*2 Researcher, Yamaguchi Prefectural Industrial Technology Institute  
\*3 Just Toukai Corporation  
\*4 Doctoral Course, Graduate School of Science and Eng., Yamaguchi Univ., M. Eng.  
\*5 Lecturer, Dept. of Perceptual Science and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.  
\*6 Prof., Dept. of Perceptual Science and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

中空パイプ方式の最大の特徴は、温水循環パイプ間に熱伝導率が約370~400 W/m・Kと高い銅製の中空パイプを接続し、従来の温水循環パイプの大部分をこの中空パイプで代用することにより、温水パイプの敷設延長を大幅に短縮する点である。また、パイプの下部にあたる床の大部分にアルミ均熱板を敷設し、熱をパイプ部分のみからではなく、効率よく床面に熱を伝達できるよう工夫している。

この中空方式の利点は、①システムの簡便さから敷設工期の短縮化が図れ、イニシャルコストの低減が可能となる、②銅製の中空パイプから放熱するため、パイプ径が小さくて済む、③温水循環回路が短縮されるため、ボイラーの負荷が軽減される点である。

本論は、このシステムの温水流速をパラメータとした放熱性能の計測および従来方式との性能比較を目的に行った室内実験の結果について報告するものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験方法

計測実験は2種類行った。第一の実験（以下実験1と称する）は、①温水パイプと中空パイプの温度差のレベルを明らかにすること、②

最適な流速を求めることを目的とした実験であり、流速を一般的に推奨されている2.0 l/minと、2.5, 3.0, 3.5(l/min)の4パターンでコントロールし、パイプ温度、床表面温度および放熱量を計測した。

第二の実験（実験2）は、既存の温水パイプ方式との放熱性能を比較する実験であり、中空パイプ方式と現在主流となっている温水パイプ方式2種類の計3種類について同一条件のもとでパイプ温度、床表面温度および放熱量を計測した。

図-2に試験体を示すが比較対象として用いたのは、中空方式の次に温水パイプの長さが短い温水パイプ方式Aと、パイプ径は最も小さいが温水パイプの長さが最も長い温水パイプ方式Bである。温水パイプ方式Aはパイプ配管のピッチが大きい、パイプ径が大きく大容量の温水で放熱することが特徴であり、温水方式Bはパイプ配管のピッチが細かいことが特徴であり、また最も標準的な温水式床暖房である。

### 2.2 試験体

中空パイプ方式の試験体は、根太上に1800mm×1800mmの構造用合板を敷設し、その上にパイプとパイプ間を埋める12mm厚の構造用合板を敷設した。そして、パイプ上部と同レベルの合板面と一体化し

	中空パイプ方式	温水パイプ方式 A	温水パイプ方式 B
平面図			
断面図			
写真			
温水循環パイプ長さ (m)	4.2	20.0 (×4.76)	45.0 (×10.71)
保有水量 (ℓ)	0.21	1.50 (×7.14)	0.88 (×4.19)

図-2 試験体

てパイプ下部を巻き込む 1740mm×1440mm のアルミ均熱板を敷設した。床下の根太間は 40mm 厚のポリスチレンフォームを断熱材として敷設した。温度の計測点は温水循環パイプ上の 7ヶ所、中空パイプ上の 2ヶ所、アルミ均熱板上が 2ヶ所であり、それぞれの計測点でパイプ表面と床表面温度を計測した (図-2左)。

温水パイプ方式 A は、303×606 (mm) サイズ 48mm 厚のポリスチレンフォームと 2mm 厚のポリプロピレンを根太掛けし、内径 10mm のポリブテンパイプを埋め込む方式である。またポリブテンパイプとポリプロピレンの間には、アルミ均熱板を敷設している。計測点は温水循環パイプ上 7ヶ所、アルミ均熱板上 3ヶ所である (図-2中)。

温水パイプ方式 B は、根太上に構造用合板を敷設した上に、12mm 厚のポリスチレンフォームに内径 5mm の架橋ポリエチレンパイプが埋め込んであり、その上に 40 $\mu$ m のアルミ箔を貼った一体型のマットを敷設する方式である。この試験体においては、根太間には中空パイプ方式と同じく 40mm 厚のポリスチレンフォームを敷設した。計測点は温水循環パイプ上 9ヶ所、アルミ均熱板上 3ヶ所である (図-2右)。

従来の温水方式と中空パイプ方式を比較すると、温水パイプの長さは温水パイプ方式 A, B それぞれに対して約 1/5, 1/11 倍と短く、保有水量も約 1/7, 1/4 倍と少ない。なお、実験 1, 2 共に全て床材は複合フローリング 12mm 厚を用い、ボイラーから供給する温水温度は 60 $^{\circ}$ C に設定した。

上記の実験 1, 2 は温度と湿度の環境条件をコントロールできる人工気象室で実施した。実験室の平面図、断面図及び設置パネルを図-3、写真-1 に示す。この人工気象室では室内上部に設置されている空調機により、実験室内の温度を冬季の非暖房時の室内平均温度と想定した 10 $^{\circ}$ C に保ち、床暖房運転開始と同時に 1 分毎に 5 時間連続して温度計測を行った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 実験 1・中空パイプ方式の流速による放熱性能比較

温水パイプの流速を 2.0, 2.5, 3.0, 3.5(l/min) に設定した場合の、温水パイプ温度 (計測点: CH03) を 1 分ごとに計測した結果を図-4 に示す。グラフの波形は、温水温度をセンサーにより調整しているため、断続的にボイラーがオン・オフを繰り返していることによる。また図-5 は 15 分ごとに前後 30 分間の温度平均値を示したものである<sup>注3)</sup>。

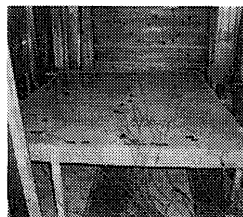


写真-1 試験体設置状況

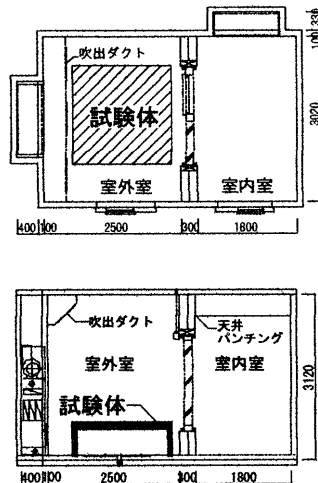


図-3 実験室平面図, 断面図

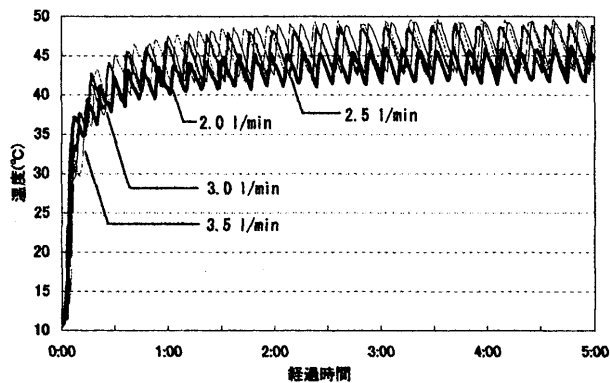


図-4 温水パイプ温度 (1 分間隔実測値: CH03)

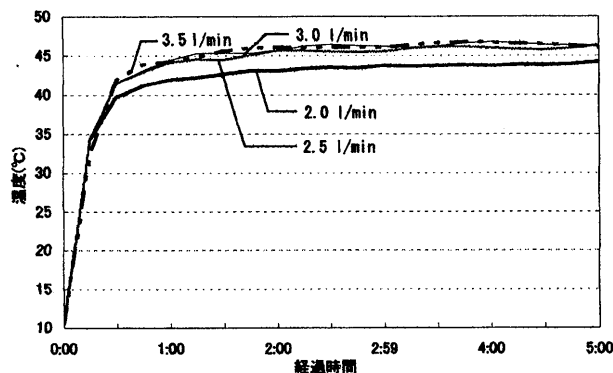


図-5 温水パイプ温度 (30 分間平均値: CH03)

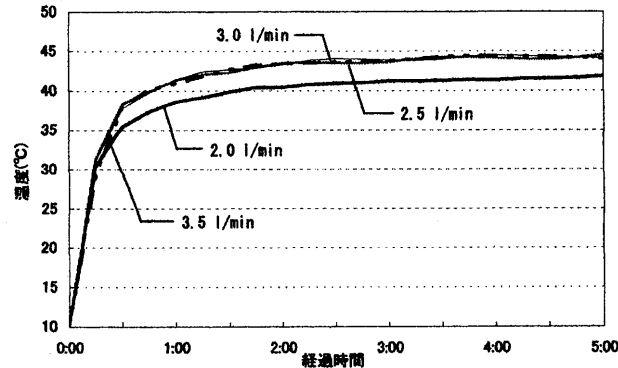


図-6 中空パイプ温度 (30 分間平均値: CH11)

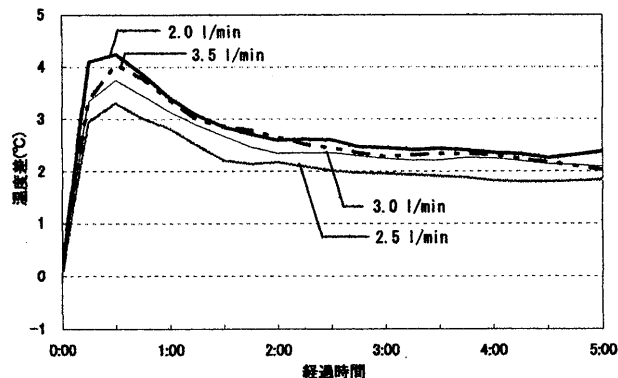


図-7 温水パイプと中空パイプの温度差 (30 分間平均値: CH03-CH11)

まず、立ち上がり時におけるパイプ温度変化について見ると、流速 2.5-3.5(l/min)では稼動開始後約1時間で温水パイプ温度が45℃まで上昇し、ほぼ定常状態に近くなるが、流速 2.0(l/min)の場合には、温水パイプ温度上昇速度が遅く、開始約1時間後で約43℃である。また、中空パイプの平均温度(CH11)を示したのが図-6であり、中空パイプでは熱伝達の時間差から、約2時間後に定常状態に達している。この温水パイプ(CH03)と中空パイプ(CH11)との温度差の平均値を図-7に示すが、稼動開始から1時間の間は温度差が3-4℃と大きく、2時間後に約2-3℃に縮小し、定常状態の温度差1.8-2.3℃に収束している。

次に定常状態のパイプ温度について見ると、流速 2.5-3.5 (l/min)では温水パイプの定常時の平均温度はほぼ 46-47℃と同等であるが、流速 2.0 (l/min) の場合のみ約2-3℃低い。中空パイプの結果をみても、流速 2.5-3.5 (l/min) では定常時の平均温度がほぼ 44-45℃と同等であるが、流速 2.0 (l/min) のみ温度が低い。また両パイプの定常時の温度差は、流速 2.0, 3.0, 3.5 (l/min) の場合、2.1-2.5℃とほぼ同等で、流速 2.5 (l/min) の場合は 1.8-2.0℃と温度差がさらに小さい。

以上の結果から、流速 2.0 (l/min) の場合には、温水パイプからの供給熱量が中空パイプからの放熱容量を下回るため、中空パイプ温度が42℃程度までしか上昇しない原因となっているものと判断される。これに対し、流速 2.5 (l/min) の場合には、温水パイプと中空パイプの熱収支のバランスが取れており、温度差が最も小さくなっているものと考えられる。一方流速 3.0, 3.5 (l/min) の場合には、中空パイプ温度は45℃程度まで上昇しているが、温水パイプ温度は47℃程度と高く、温水パイプからの供給熱量が中空パイプからの放熱容量を上回るため、温水パイプの流量が過多の状態にあるものと考えられる。

次にパイプ温度の差と床表面温度及び放熱量の関係について検討する。図-8は、床面全体の平均温度を算出するために、試験体全面を50mmピッチで分割し、中空パイプ、温水パイプ、アルミ均熱板それぞれの占める割合を計算し、全体温度を算出した床表面平均温度を示している<sup>注4)</sup>。中空パイプ温度が同等の流速 2.5, 3.0, 3.5 (l/min) の場合は床表面平均温度もほぼ同等であり、それと比較して流速 2.0 l/min の場合は約2℃低い。また図-9は床表面平均温度と同じ計算方法で床表面平均放熱量を計算したものであるが、流速 2.5, 3.0, 3.5 (l/min) のケースが定常時 93-96W/m<sup>2</sup>でほぼ同等であり、それと比較して流速 2.0 l/min の場合には約 10 - 15 W/m<sup>2</sup>低く、床表面平均温度の場合と同様の傾向を示している。

以上より、温水保有量の少ない中空パイプ方式の場合には、効率よく放熱するために必要な熱供給のための流速は、2.5 l/min 程度が効果的であり、この場合には、定常状態における温水パイプと銅製中空パイプとの温度差は 2.0℃前後と小さく、温水の熱を効率的に伝達することが可能であることが示された。

### 3.2 実験2・中空パイプ方式と温水パイプ方式の放熱性能比較

試験体による放熱性能比較実験においては、中空パイプ方式に用いた流速は、3.1の結果をもとに最も効率の良い2.5 l/min と、通常の温水方式に採用されている2.0 l/min の2種類とし、また温水方式A, Bにおいては一般的な2.0 l/min に設定した。

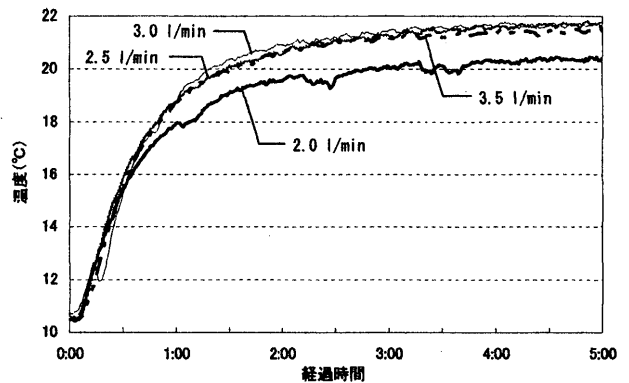


図-8 流量に対する床表面平均温度

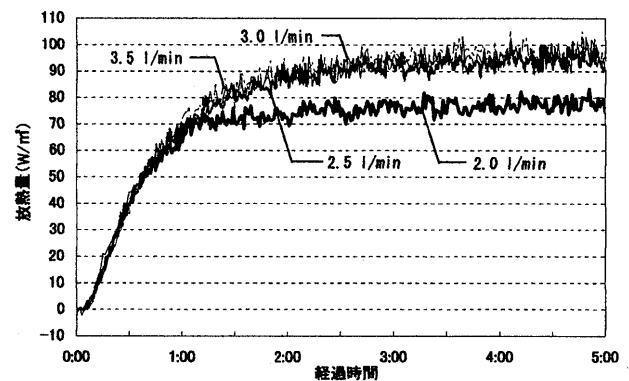


図-9 流量に対する床表面平均放熱量

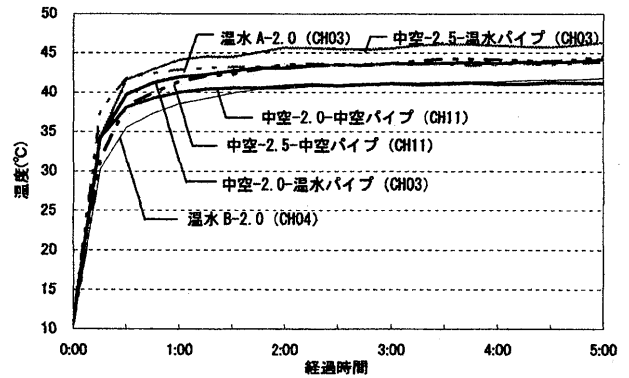


図-10 3タイプのパイプ温度比較 (30分間平均値)

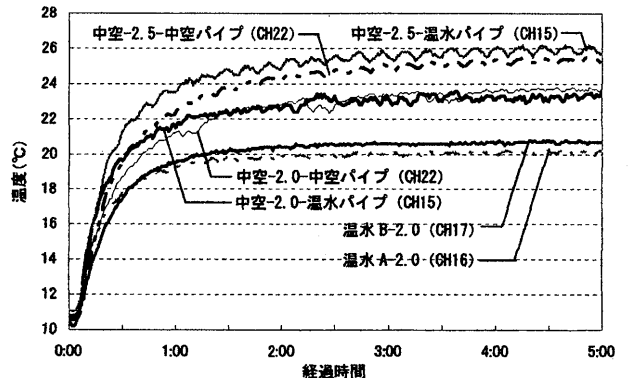


図-11 3タイプのパイプ上床表面温度比較 (1分間隔実測値)

### 3.2.1 パイプ温度とパイプ上床表面温度

各試験体の温水パイプ温度と中空パイプ温度を1分間隔で実測した結果から、15分ごとに前後30分間の平均値を求めたのが図-10である。定常状態では、中空-2.5 l/minの温水パイプ温度が約45-46℃と最も高く、次いで中空-2.0 l/minの温水パイプ、温水パイプ方式Aが43-44℃程度であり、温水Bが約41-42℃と最も低い。また中空パイプ温度に関しては、中空-2.5 l/minの中空パイプが中空-2.0 l/minの温水パイプ、温水パイプ方式Aと同等の温度であり、温水パイプと同等の温度に達しているが、中空-2.0 l/minの中空パイプでは、温水パイプ方式Bと同程度の温度に留まっている。この中空パイプの温度差については、流速が影響していることは3.1で述べた通りであるが、温水パイプ方式Aと温水パイプ方式Bの温度差に関しては、パイプ径が影響しているものと考えられる。パイプ径が大きい温水パイプ方式Aでは、大容量の温水を流すことによって、パイプ温度が高くなることが示された。

次に、図-10の計測点上の床表面温度（1分毎の実測値）を示したのが図-11である。この結果より、定常状態では温水パイプ方式A、Bともにパイプ上の床表面温度が20-21℃であるのに対し、中空パイプ上部床では流速2.0 l/minで約23℃前後、流速2.5 l/minで25℃前後と床表面温度が高い。

中空-2.5 l/minの温水パイプの床表面温度が最も高いのは、パイプ温度の差から説明される。中空-2.5 l/minの中空パイプ温度が中空-2.0 l/min、温水パイプ方式Aの温水パイプと同等でありながら、床表面温度が相対的に高いことは、アルミ均熱板と温水パイプ（素材：A：ポリブデンパイプ、B：ポリエチレンパイプ）または中空パイプ（素材：銅）の間の接触熱伝導の差が影響しているのではないかと考えられる。また、中空-2.0 l/minの中空パイプ温度が、温水パイプ方式Bと同程度であるにも関わらず、床表面温度が2-3℃前後高い点についても同様の理由が考えられる。

### 3.2.2 床表面平均温度と平均放熱量

図-12は床表面全体の平均温度であり、その算出方法は先に示した方法と同様である<sup>注5,注6</sup>。立ち上がりに関しては温水Bが最も早い、床表面温度が20℃に達するのに要した時間は、中空-2.5 l/minとほぼ同等であった。定常状態においては中空-2.5 l/minが21-22℃と最も高く、次に約1℃差で温水パイプ方式Bであり、中空-2.0 l/min、温水パイプ方式Aの順番であった。温水パイプ方式Bは中空方式と比較してパイプ上床表面温度が約3-4℃低いのに、床表面平均温度が約21℃と高いのは、温水配管のピッチの細かさによるもので、熱が横方向にも伝達しており、結果的に温水パイプ上床表面温度と床表面平均温度の差はほとんど認められない。

一方中空方式においては、パイプ上床表面温度よりも床表面平均温度が3-4℃低く、床表面における温度ムラが生じている。温度ムラの原因の1つとして、床下への熱損失が考えられるため、試験体のパイプから床下への熱貫流率を算出した。中空方式で約0.76 W/m<sup>2</sup>・K、温水パイプ方式Aで1.08 W/m<sup>2</sup>・K、温水パイプ方式Bで0.61 W/m<sup>2</sup>・Kであり、中空方式、温水パイプ方式Aともに温水パイプ方式Bと比較して相対的に床下への熱損失が大きく、パイプ下の断熱に関して改良の余地があるものと考えられる。

次に、床表面平均温度と同様に算出した、床表面からの平均放熱量

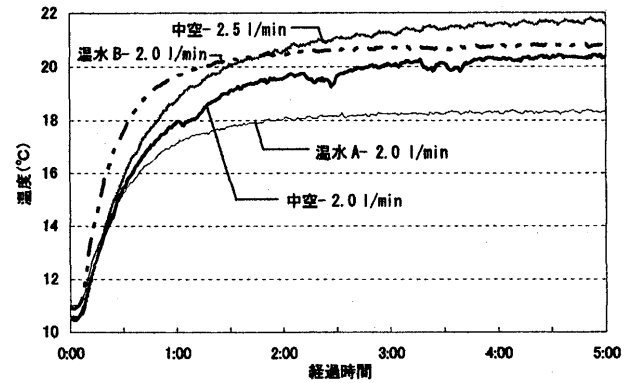


図-12 3タイプの床表面平均温度

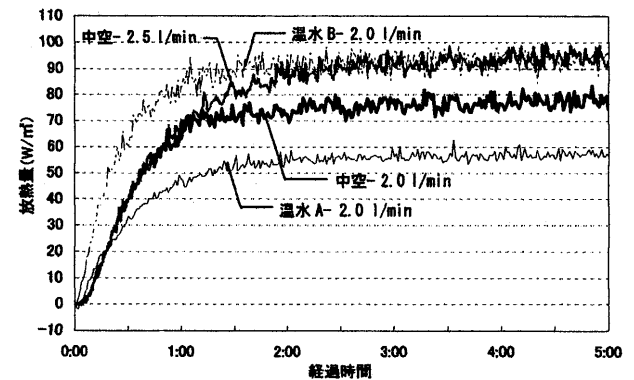


図-13 3タイプの床表面平均放熱量

を示したのが図-13である。立ち上がり時の放熱量は温水パイプ方式Bが最も多く、これに対し温水パイプ方式Aでは、定常状態の放熱量は60 W/m<sup>2</sup>未満と少ない。中空-2.5 l/minの場合、立ち上がり時には温水パイプ方式Bと比較して約30分間の遅れがあるものの、定常状態においては温水パイプ方式Bと同等の放熱量である<sup>注7</sup>。

## 4. 結論

本論では新しく開発した中空パイプ式床暖房システムの放熱性能に関し、室内実験によりパイプ・床表面温度及び放熱量を計測した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 温水保有量の少ない中空パイプ方式の場合、効率よく放熱するための温水の流速は、2.5 l/min程度が効果的である。この場合、定常状態における温水パイプと銅製中空パイプとの温度差は2.0℃前後と小さく、温水を通さない中空パイプでも十分に代用可能である。
- (2) 流速2.5 l/minの場合の中空パイプ温度は、定常状態においては中空パイプ方式（流速2.0 l/min）及び温水パイプ方式Aの温水パイプと同等の温度に達し、中空パイプ上部床の表面温度は25℃前後に達する結果を得た。
- (3) 床表面平均温度は、立ち上がり時は標準タイプの温水パイプ方式Bの上昇速度が最も早い、中空パイプ方式（流速2.5 l/min）の場合、床表面温度が20℃に達するのに要した時間はほぼ同等で、定常状態では21-22℃に達し、標準タイプと同等以上の性能を有することを示した。
- (4) 床表面の平均放熱量は、立ち上がり時には標準的な温水パイプ方式Bの上昇速度が早く、中空パイプ方式（流速2.5 l/min）の場合、

約 30 分の遅れが生じるものの、定常状態においては 95W/m<sup>2</sup>程度の放熱量に達し、標準タイプと同等の性能を有することを示した。

以上の結果より、今回提案した「中空パイプ方式」床暖房システムは、市販されている標準的な温水床暖房と同等の放熱性能を有することが明らかとなったが、立ち上がり時間の短縮化と床表面に生じる温度ムラの解消が今後の課題として指摘される。

また実家屋における施工工間の計測、放熱性能実験、ランニングコスト計測等の総合的な実用化実験により、本システムの有効性を明らかにする必要がある。

脚注

注1) 配管からの熱伝導の効率を高めるための主な特許事例は、以下のものが挙げられる。

- ・リンナイ株式会社：床暖房用断熱パネル，公開日：2004.5.20，公開番号：2004-168466
- ・松下電工株式会社：熱源パネルを用いた温水式床暖房装置，公開日：2002.6，公開番号：2002-120948
- ・松下電工株式会社：温水式床暖房装置，公開日：2004.5.2，公開番号：2004-168466

注2) 配管設置における効率化を図るための主な特許事例は、以下のものが挙げられる。

- ・大和ハウス工業株式会社：温水式床暖房パネル構造体，公開日：2004.1.29，公開番号：2004-28541
- ・黒田 力：床暖房パネル，公開日：2002.10.23，公開番号：2002-310444
- ・李 延泰：温水式床暖房装置のための配管パネル，公開日：1995.10，公開番号：1995-269886

注3) 図-6,7,8 も同様に 30 分間隔の温度平均値を示したものである。

注4) 中空パイプ方式の床表面平均温度，床表面平均放熱量の算出方法は以下の通りである。試験体全面を 50mm ピッチで分割し、中空パイプ，温水パイプ，アルミ均熱板それぞれの占める割合を計算し、床表面平均温度，床表面平均放熱量を算出している。注5) 注6) についても同様である。

全体面積： $S_{c全}=1.44 \times 1.74 = 2.5056 \text{ (m}^2\text{)}$   
 中空パイプ占有面積： $S_{c中空}=0.0025 \times 203 = 0.5075 \text{ (m}^2\text{)}$   
 温水パイプ占有面積： $S_{c温水}=0.0025 \times 81 = 0.2025 \text{ (m}^2\text{)}$   
 アルミ均熱板占有面積： $S_{cアルミ}=2.5056 - (0.5075 + 0.2025) = 1.7956 \text{ (m}^2\text{)}$   
 中空パイプ占有面積割合： $S_{c中空}/S_{c全} = 0.2025$   
 温水パイプ占有面積割合： $S_{c温水}/S_{c全} = 0.0809$   
 アルミ均熱板占有面積割合： $S_{cアルミ}/S_{c全} = 0.7166$

床表面平均温度を算出するため、各ポイントの温度に上記の占有面積割合を掛けて、それぞれを足すと

床表面平均温度  $T_{c全} = 0.2025 \times T_{c中空} + 0.0809 \times T_{c温水} + 0.7166 \times T_{cアルミ}$  となる。

床表面平均放熱量においても、床表面平均温度と同様に

床表面平均放熱量  $W_{c全} = 0.2025 \times W_{c中空} + 0.0809 \times W_{c温水} + 0.7166 \times W_{cアルミ}$  となる。

注5) 温水パイプ方式 A の床表面平均温度，床表面平均放熱量の算出方法は以下の通りである。

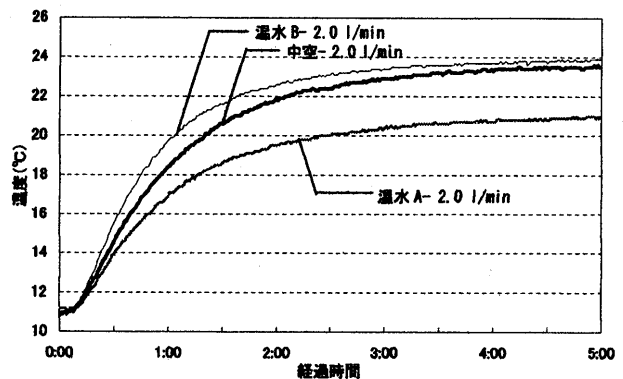
温水パイプ占有面積割合： $S_{A温水}/S_{A全} = 0.3451$   
 アルミ均熱板占有面積割合： $S_{Aアルミ}/S_{A全} = 0.6549$

床表面平均温度  $T_{A全} = 0.3451 \times T_{A温水} + 0.6549 \times T_{Aアルミ}$   
 床表面平均放熱量  $W_{A全} = 0.3451 \times W_{A温水} + 0.6549 \times W_{Aアルミ}$

注6) 温水パイプ方式 B の床表面平均温度，床表面平均放熱量の算出方法は以下の通りである。

温水パイプ占有面積割合： $S_{B温水}/S_{B全} = 0.6661$   
 ポリスチレンフォーム占有面積割合： $S_{Bポリ}/S_{B全} = 0.3339$   
 床表面平均温度  $T_{B全} = 0.6661 \times T_{B温水} + 0.3339 \times T_{Bポリ}$   
 床表面平均放熱量  $W_{B全} = 0.6661 \times W_{B温水} + 0.3339 \times W_{Bポリ}$

注7) パネルの放熱性能実験と併せて、パネル上部の空気流動測定実験を行っており、空気温度の比較結果について補足する。実験は、人工気象室内の空調機の影響を直接に受けない様に、各試験体上にスタイロフォーム 40mm 厚で作成した 1 辺 80cm の立方体ボックスを設置し、ボックス内の空気温度変化を計測している。付図にボックス中央の床面から 50cm の高さの空気温度を示すが、ほぼ床表面平均放熱量の時間変化と同様の傾向が認められ、中空パイプ方式は立ち上がり時において約 10 分間の遅れが生じているが、定常時においては、温水パイプ方式 B とほぼ同等である。なお、本実験では、全ての試験体において流速 2.0 l/min の場合を計測対象としていたため、中空パイプ方式の流速 2.5 l/min 場合の計測は行っていない。しかし、床表面平均放熱量の時間変化から、温水パイプ方式 B と同等以上の空気温度が見込まれる。



付図 試験体上ボックス内空気温度 (1 分間隔実測値)

参考文献

- 1) 李小平、奥宮正哉：太陽熱利用床暖房システムに関する研究，日本建築学会計画系論文集 第 539 号，pp29-36，2001.1
- 2) 李小平、奥宮正哉ほか：TRNSYS を用いた真空管集熱式給湯システムのシミュレーション，日本建築学会大会学術梗概集，pp435-436，1998
- 3) 中村健児、渡辺俊行、林徹夫、龍有、赤司泰義：太陽熱利用空気集熱式床暖房住宅の設計指針，日本建築学会計画系論文集 第 516 号，pp31-38，1999.2
- 4) 浦野良美、中村洋：建築環境工学，森北出版株式会社，1996.6
- 5) 加藤信介、土田義郎、大岡龍三：建築環境工学，株式会社彰国社，2002.11

[2004年10月20日原稿受理 2005年2月23日採用決定]