真空断熱材組込みの薄型・高効率床暖房パネル

Thermally Efficient Floor Heating System with Vacuum Insulation Panels

柴田　健一郎*　・　黒山　勝彦*　・　堀田　敏郎*　・　前田　太**　・　遠田　正和**
Ken-ichiro Shibata　Katsuhiko Kuroyama　Toshiro Horita　Futoshi Maeda　Masakazu Toda

床暖房パネルにおいて，広葉樹合板の採用と特殊 MDF 直下の合板繊維方向を短辺方向と平行に配置することによって，床材裏側から広範囲に深く彫込加工を施した際の床材反りを大幅に削減するとともに，床材内に薄型で高性能な真空断熱材と電極を薄型化した印刷型 PTC ヒータを収めることで，厚み 12 mm の床材一体型電気式床暖房を実現した。

これにより，従来品と比較して床下側への熱損失を半減でき，室内側への放熱量を発熱量の 94 %に高めることが可能となり，エネルギー利用効率を向上している。

In the design of floor heating panels, a integrated electric floor heating panel with 12 mm thickness has been developed by using hardwood plywood with its grain direction of the layer directly underneath the special MDF parallel to the shorter side of the panel for substantially reducing board warp when the panel is deeply engraved in a wide area of its back, and installing a thin and high-performance vacuum heat insulation material and thin-profile printed PTC heater.

This structure reduces heat losses through the bottom by half compared with the previous panels and increases heat dissipation into the room to 94 % of the generated heat, thus improves energy use efficiency.

1. ま え が き

近年，地球環境問題がクローズアップされ，住宅設備機器である電気式床暖房等にも，省エネルギーがこれまで以上に求められている。

松下電器グループ内では，薄型で高性能の真空断熱材「Chip-Vacua[1)]」，および印刷方式による薄型の PTC [*1)] ヒータが開発されている。そこで厚み 12 mm の床材裏面に彫込加工（以下，加工と記す）を施し，これらの部品を組み込むことにより，床上面放熱効率の高い床材一体型床暖房パネルの開発を行う。

その際に問題となるのは，加工後の床材の反りである。床材を彫り込んで床暖房パネル化する工法は従来から採用している[2)]。しかし今回は，真空断熱材を収容する空間を確保するために従来よりも深い加工が必要となり，従来品と同じ構造の床材を加工すると反りが大きくなることから，規格値を満足できない。

筆者らは，この問題を解決するため，深く彫り込んでも反り防止が可能な基材合板構成の床材を開発した。これにより，一般的な床材と同じ厚み 12 mm の薄型パネルに真空断熱材と PTC ヒータを組み込み，住宅用グラスウール断熱材厚み 50 mm 相当の断熱性能を有する高効率床暖房を実現したので報告する。

2. 真空断熱材とPTCヒータ組込みの課題

従来品の床材構成を図 1 に，その短辺断面模式図を図 2 に示す。表面側から，化粧単板，特殊 MDF（Medium Density Fiberboard），および 5 層構造の合板で構成されている。合板の樹種は針葉樹で，繊維方向は表面側から交互に長辺方向，短辺方向と積層されている。

木質材料は，温度や湿度によって寸法が変化する。構成部材のなかでは，化粧単板と特殊 MDF の寸法変化が合板に比較して大きい。その化粧単板や特殊 MDF の応力に合板が対抗して床材全体としての反りを抑えている。

床材の反りには長辺方向と短辺方向の二つがある。短辺方向の反りは，長辺方向に比較してスパンが短いため目立ちやすく，施工時に矯正されにくいなどの問題がある。本稿では，とくにことわりのない限り反りは短辺方向の反りを意味する。

*　住建事業本部　内装建材事業部　Interior Furnishing Materials Division, Building Products Manufacturing Business Unit
**　住建事業本部　住建総合技術センター　General Technology Center, Building Products Manufacturing Business Unit

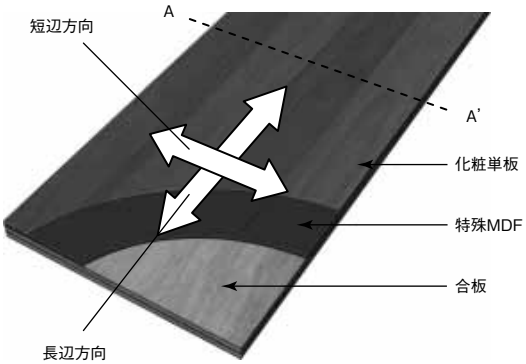

図1　従来品の床材構成

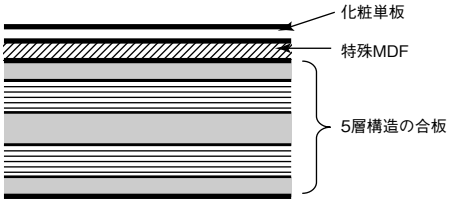

図2　図1のA－A'断面模式図

従来品では図3のような加工を施しているが，合板層が薄くなり剛性が低下するため，幾分反りやすくなるものの規格値の範囲内に収まっている。

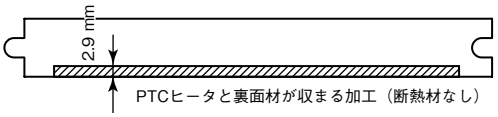

図3　従来品の加工断面模式図

反り量の規格値をa（製品種類により異なる），図4に示す実測した反り量をxとして反り指数sをs＝｜x／a｜と定義し，s≦1ならば合格，s＞1ならば不合格とする。従来品の場合，s＝0.33（平均値）で合格となる。

図4　床材加工後の反り状態

ところが，さらに真空断熱材も収めるためには，図5のように5.5 mm以上深く彫り込まなければならない。その結果，s＝1.43となり，不合格となる。

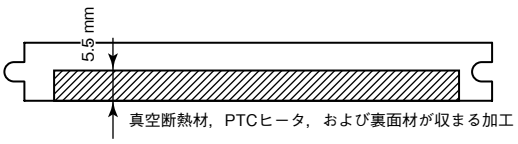

図5　開発品の加工断面模式図

3.　床材の反り抑制対策

3.1　合板の樹種と構造

深く彫り込んだ床材の反り対策として次の2案を検討する。

(1) 樹種を針葉樹から広葉樹へ変更

針葉樹に比べて広葉樹は剛性が高いため，化粧単板や特殊MDFの応力に対抗する力が強い。

(2) 合板の繊維方向を90度変更

木材の特徴として，繊維と直交方向の寸法変化は，繊維方向に比べて大きい。その比率は繊維方向：直交方向＝1：5以上といわれている[3)]。このことから，彫り込んだ床材の反りには特殊MDF直下の合板層の繊維方向が大きく影響していると考えられる。図6に示すように，従来品の特殊MDF直下の合板層の繊維方向は長辺方向であるから，これに直交する短辺方向の寸法変化は大きくなる傾向にある。したがって，繊維方向を従来品とは直交する方向に合板を積層すれば，短辺方向の反りは抑えられると期待できる。

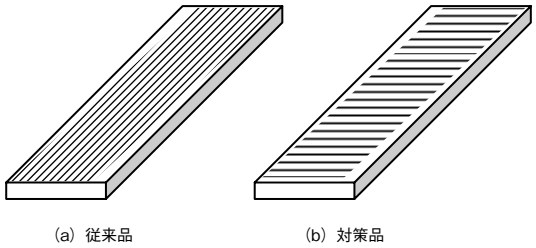

図6　特殊MDF直下の合板繊維方向

3.2　検討結果

前述の対策（1）および（2）を施した床材を作製し，深く彫り込んだ場合のsは次のような結果である。

対策（1）のみの場合はs＝1.07で不合格となるが，対策（1）と（2）を施した場合はs＝0.29で合格となる。なお対策（2）のみの場合は，繊維方向を90°変更した針葉樹合板が入手困難なことから除外している。以上の結果から，繊維方向を90°変更した広葉樹合板を用いることとする。

4.　5層合板への加工条件

4.1　加工深さの検討

合板各層の厚みを詳細に設定したうえで，加工深さを変えて反りに及ぼす影響を調べる。加工深さは，床強度および収容する部品の厚み寸法から上下限が決定される。図7に示すように，加工深さによってsは変化し，とくに想定される加工深さの範囲では大きく変動する。その想定される加工深さは，図8に示すように合板2層目から3層目に掛る範囲である。

図7に示すように，加工深さの違いによりsが合格となる領域は二つ存在し，それぞれ領域P，領域Qと定義する。合板3層目の残し厚みの観点からは，ほとんど0のPか，多めに残すQが良く，その間では合格とならない。

合板3層目の繊維方向は短辺方向である。ここをさらに深く加工を施す場合，残し厚みが薄くなるに従って短辺反りに対抗する繊維方向の量が減るため，反りが大きくなる。しかしある加工深さに達すると，床材の残し厚みが小さくなり，床材全体の剛性もなくなることから逆に反りが小さくなると考える。

その結果s≦1を得るためには，合板3層目の残し厚みを考慮し，加工深さをPまたはQに設定する必要がある。

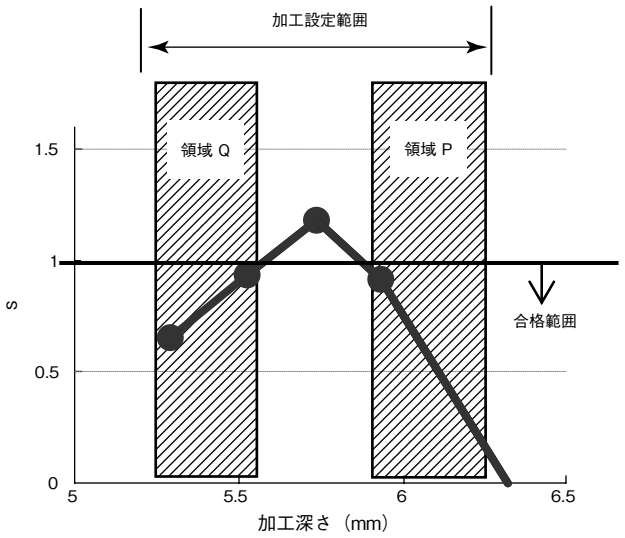

図7　加工深さとsの関係

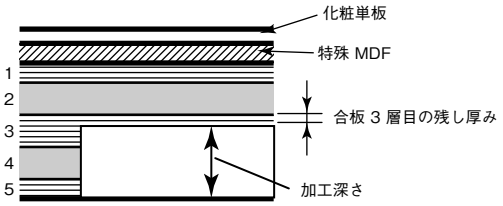

図8　加工深さと合板3層目残し厚み

4.2　温度の影響

PとQのいずれを採用するべきかを見極めるため，季節変動を考慮して温度の影響を調べる。その結果，Qのほうが温度によるsの変動量が少ないことが図9に示されている。

床材表面側の塗装部や特殊MDFは樹脂で構成されているため，温度による寸法変化率が木材に比べて大きい。床材に加工を施す場合，残し厚みのなかで塗装部と特殊MDFが占める比率はQのほうがPよりも小さいため，温度による寸法変化が小さくなる。そこでQ内で加工深さを設定する。

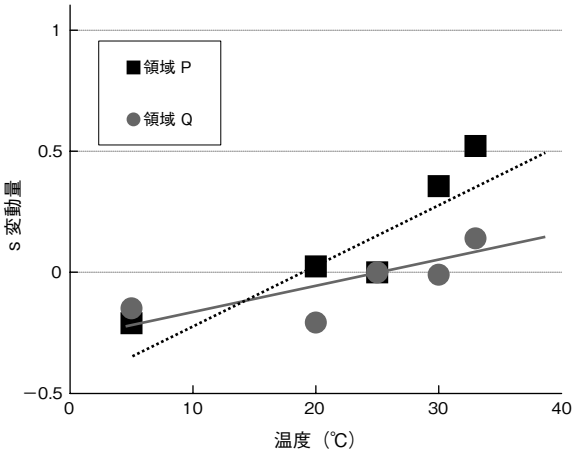

図9　温度とs変動量の関係

5. 性 能 と 特 徴

図10に示すように，前述の床材に加工を施し，真空断熱材とPTCヒータを組み込んで裏面材を張り付け，床暖房パネルを作製する（以下，開発品と記す）。この開発品について，PTCヒータのみを収めた従来品と性能比較の試験を行う。試験は図11に示す一般的な木造住宅の床構造にて行う。

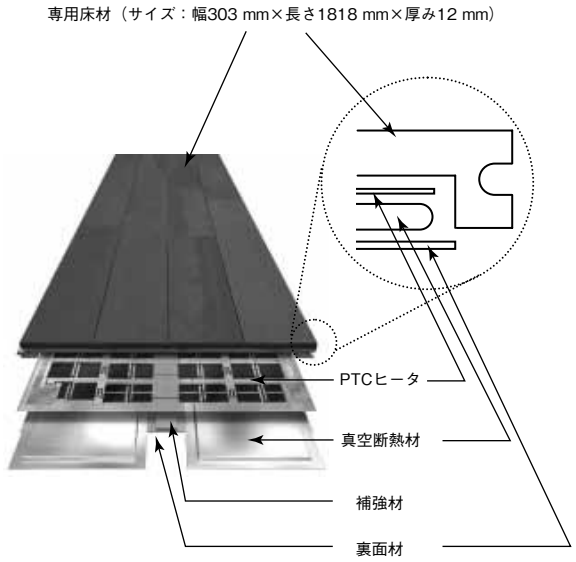

図10　開発品の構成

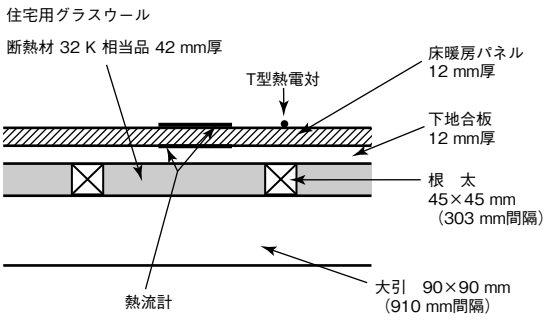

図11　試験時の床断面構造

5.1　床上面放熱率

室温を 20 ℃に設定し，床表面温度設定を 30 ℃として制御運転を行い，床暖房パネルの表面側と裏面側の熱流量について熱流計（英弘精機製，MF-200）を用いて測定を行う。床下断熱材は住宅用グラスウール断熱材 32 K 相当品 42 mm 厚を使用する。結果は**表 1** に示すように，床上面放熱効率が従来品の 87 %に比べて開発品は 94 %と 7 %向上し，省エネルギー面で優れている。

表 1　放熱率測定結果

試験体	放熱率測定結果
従来品	床上側：87 % 床下側：13 %
開発品	床上側：94 % 床下側：6 %

5.2　昇温時間

図 11 の床構造において室温を 15 ℃に設定し，連続通電状態で床表面温度を測定する。結果を**図 12** に示す。電源を入れてから床表面温度が 27 ℃に到達するまでの時間は，従来品が 28 分，開発品が 11 分であり，17 分短縮している。

床暖房運転開始時に，従来品ではヒータと床下断熱材との間にある裏面材と下地合板にも熱が伝わるが，開発品ではヒータの直下に真空断熱材が収められているため裏面材や下地合板へ熱が伝わりにくい。また，開発品は従来品より床材の加工が深いためヒータを床表面に近い位置に配置できる。

以上のことから，開発品においては昇温時間が短縮できたと考えられる。

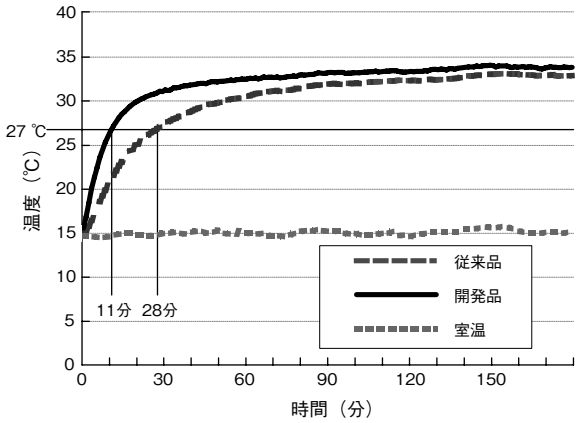

図 12　昇温速度比較結果

6. あ と が き

床暖房パネルにおいて，広葉樹合板の採用と特殊 MDF 直下の合板繊維方向を短辺方向と平行に配置することによって，床材裏側から広範囲に深く加工を施した際の床材反りを大幅に削減するとともに，床材内に薄型で高性能な真空断熱材と電極を薄型化した印刷型 PTC ヒータを収めることで，厚み 12 mm の床材一体型電気式床暖房を実現した。

これにより，従来品と比較して床下側への熱損失を半減でき，室内側への放熱量を発熱量の 94 %に高めることが可能となり，エネルギー利用効率を向上している。

この開発品「真空断熱 You ほっと」は，リフォーム時の床断熱材追加工事を省くことができ，省エネルギーと併せて省資源にも寄与している。

●注

＊1）PTC：Positive Temperature Coefficient の略で，正（プラス）温度係数を示す。

＊参考文献

1）Yamada M.：Development on New Vacuum Insulation Panel，" Chip-Vacua "，7 th International Vacuum Insulation Symposium 2005, p. 181-182（2005）

2）遠田 正和，前田 太，川田 宗一郎，田村 俊樹，村田 英孝，堀田 敏郎：自己温度制御性ヒータを用いた床暖房システム，松下電工技報，Vol. 53, No. 3, p. 65-71（2005）

3）改訂 3 版　木材工業ハンドブック，林業試験場監修，丸善株式会社，p. 109（1982）

◆執筆者紹介

柴田　健一郎
内装建材事業部

黒山　勝彦
内装建材事業部

堀田　敏郎
内装建材事業部

前田　太
住建総合技術センター

遠田　正和
住建総合技術センター