

(資 料)

木炭を敷設した床下の温湿度変動

谷内 博規, 鹿野 厚子

Change of the temperature and humidity under the floor on which charcoal was placed

Hironori TANIUCHI, Kouko KANO

要 旨

木炭敷設による床下の高湿化抑制に関する研究として、床下空間の温度、湿度の変動要因の把握を目的に、在来工法、高気密高断熱工法のテストハウスをそれぞれ建築し、季節、工法の差異、および床下換気口の開閉が床下の温湿度変動へ与える影響について検討を行った。その結果、夏季から秋季にかけて外気の相対湿度が平均で7.6%変動する際、在来工法住宅の床下の相対湿度は、1.2~15.9%変動した。また、夏季において、床下換気口を開けることにより相対湿度の標準偏差は最大で3倍に増加し、3.8~6.3%の低湿効果が観察された。さらに、床下土間の防湿は地面からの水分供給を抑制し、夏季で0.7~3.2%、冬季で約15%の低湿効果が観察された。高気密高断熱工法住宅の床下は、在来工法に比べ、温湿度の変動が非常に少なく、相対湿度の標準偏差は1/3~1/5となった。

キーワード：木炭, 床下調湿, 在来工法, 高気密高断熱工法, 換気口

目 次

| | |
|--|----|
| 1 はじめに | 34 |
| 2 実験方法 | 34 |
| 2.1 供試床下の仕様 | 34 |
| 2.2 木炭の敷設 | 34 |
| 2.3 床下換気口の開閉および実験区分 | 35 |
| 2.4 居室の暖房 | 35 |
| 2.5 温湿度の測定 | 35 |
| 3 結 果 | 35 |
| 3.1 床下換気口を閉じた際、床下仕様が床下の温湿度へ与える影響 | 35 |
| 3.2 床下換気口を開けた際、床下仕様が床下の温湿度へ与える影響 | 36 |
| 3.3 高気密高断熱工法床下へ木炭を敷設した際の床下の温湿度分布 | 36 |
| 3.4 居室暖房が床下の温湿度へ与える影響 | 38 |
| 3.4.1 高気密高断熱工法の床下の温湿度分布 | 38 |
| 3.4.2 在来工法の床下の温湿度分布 | 38 |
| 4 おわりに | 38 |
| 引用文献 | 38 |

1 はじめに

近年、木炭の吸放湿能に着目し、床下に木炭を敷設し高湿化を抑制する試みが各地で取り組まれている^{1-8,10,11)}。その方法としては、住宅床下へ木炭を敷設し、温湿度センサーで温湿度変化を経時的に追跡するものが主である^{1-6,8)}。木炭の調湿効果に関しては、明確に効果を結論づけているもの^{3,5-7)}、ある季節に限定して効果を示しているもの⁸⁾、効果が不明なもの⁴⁾など様々である。このように試験の度に効果が異なるのは、その際の季節、住宅工法、床下換気口の開閉など、実験方法としての床下空間の温度、湿気の変動要因が十分に把握されないため、木炭の敷設とその効果の関係を明確に示すことの難しさが原因であると考える。

今回、木炭敷設による床下の調湿効果に関する基礎的な知見を得るため、住宅工法の異なる3種類の床下に木炭を敷設し、季節、工法の差異、床下換気口の開閉および居室での暖房が床下の温湿度へ与える影響について検討を行った。

2 実験方法

2.1 供試床下の仕様

本実験のため、住宅金融公庫の仕様に準拠し、在来工法、高気密高断熱工法（次世代基準）のテストハウスを2棟建築した（図1、表1）。各テストハウスとも、床面積17.4m²（6370×2730mm）とし、その内部は、床面積7.45m²（2730×2730mm）の2室（東西方向に配置）とし、間に2.48m²（910×2730mm）の緩衝室を設けた。また、各居室にはエアコンを設置した。

在来工法のテストハウス（2003～2004年に建築）床下は、外気と接する基礎面3箇所

に行い、床板（OSB 12mm）を施工した。なお、西側に位置する床下土間は防湿フィルムを敷き込み、乾燥砂（厚50mm）で押さえる仕様とし、東側の土間は土とした。居室の断熱、防湿は床下に用いたものと同様である。

高気密高断熱工法のテストハウス（2004～2005年に建築）床下は、床下換気口を設けず、基礎外側にポリスチレンフォーム断熱材（3種、75mm）を施工し、樹脂モルタルで外側を仕上げ、基礎と土台の間には気密パッキンを用いた。根太間では断熱、防湿は行わず、床板（合板12mm）を施工した。なお、床下土間は東西の両側とも防湿フィルムを敷き込み、コンクリート（厚50mm）で仕上げた。居室の断熱にはグラスウール（16KHG、100mm）を用い、防湿フィルムで室内を被い、直径100mmの換気口を各部屋に2つ（吸気、排気用）設けた。しかし、今回は排気側の換気口を閉じて実験を行った。

なお、各床下の区分（表1）は、在来工法で床下土間に防湿フィルムを敷き、砂で押さえたものを「防湿+砂」、土間が土のものを「土」とした。また、高気密高断熱工法で床下に木炭を敷設したものを「木炭区」、敷設していないものを「無施用区」とした。

2.2 木炭の敷設

供試した木炭は、岩手県内の黒炭窯で燃料用として製炭、切断されたもので、樹種はコナラ主で、形状は円柱

表1 供試住宅の床下の状況

| 床下区分 | 工法 | 位置 | 布基礎断熱 | 床下土間 | 木炭敷設 |
|--------|--------|----|------------|---------------|-------|
| 「防湿+砂」 | 在来 | 西 | なし | 防湿フィルム+砂 | 144kg |
| 「土」 | 在来 | 東 | なし | 土 | 144kg |
| 「木炭区」 | 高気密高断熱 | 西 | ポリスチレンフォーム | 防湿フィルム+コンクリート | 144kg |
| 「無施用区」 | 高気密高断熱 | 東 | ポリスチレンフォーム | 防湿フィルム+コンクリート | なし |

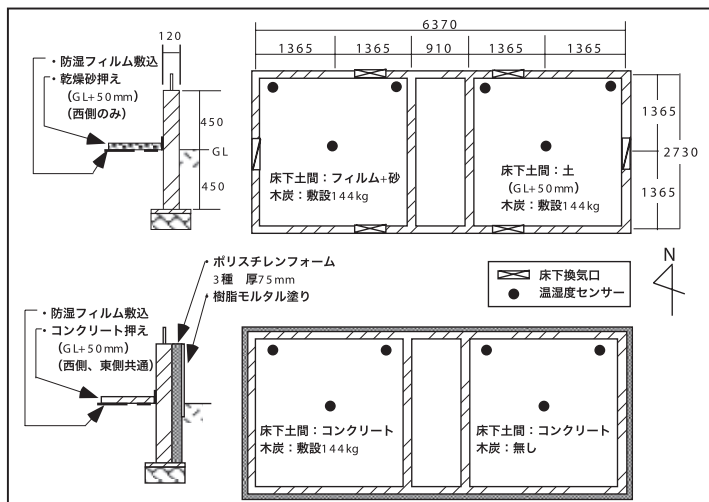


図1 テストハウス床下の概要（上：在来工法，下：高気密高断熱工法）

表2 実験時期の床下換気口の開閉、暖房の有無

| 時期区分 | 試験時期 | 床下の区分 | 換気口 | 暖房 |
|-------|------------|-----------------|-------|----------------------|
| 夏季1-1 | 7.1-7.31 | 「防湿+砂」 「土」 | close | なし |
| 夏季1-2 | 7.1-7.31 | 「木炭区」 「無施用区」 | — | なし |
| 夏季2 | 8.19-9.15 | 「防湿+砂」 「土」 | open | なし |
| 秋季1 | 9.26-10.26 | 「防湿+砂」 「土」 | close | なし |
| 秋季2-1 | 11.1-12.5 | 「防湿+砂」 「土」 | open | なし |
| 秋季2-2 | 11.1-12.5 | 「木炭区」 「無施用区」 | — | なし |
| 冬季 | 1.16-1.20 | 全ての床下 | close | 22°C, 10:00～22:00 |

状、半割、四割りが混合しているもの（長さ6cm、半径7cm程度）である。この木炭をポリエチレン製不織布の袋に約4kg入れ、在来工法では東西両側の床下、高気密高断熱工法では西側の床下に各36袋（一部屋床下当たり144kg）を敷設した。

2.3 床下換気口の開閉および実験区分

在来工法テストハウスの床下換気口は2005年7.1-7.31, 9.26-10.26では閉じ、8.19-9.15, 11.1-12.5では開けて実験を行った。なお、時期の区分（表2）は、在来工法で7.1-7.31に行った実験を「夏季1-1」、8.19-9.15を「夏季2」、9.26-10.26を「秋季1」、11.1-12.5を「秋季2-1」とした。また、高気密高断熱工法では7.1-7.31に行った実験を「夏季1-2」、11.1-12.5を「秋季2-2」とした。

2.4 居室の暖房

居室暖房下での試験は在来工法、高気密高断熱工法テストハウスの4室を用い、2006年1.16~20（「冬季」）に5日間行った。その際、室内のエアコンを暖房で運転し、設定温度は22℃、運転時間は10時から22時の12時間とした。なお、在来工法床下の換気口は閉じて試験を行った。

2.5 温湿度の測定

温湿度測定は、エスベック社製RS-12を用い、各部屋について、室内、床下中央、床下北東、床下北西に温湿度計を設置し、20分ごとに行った。また、外気についても直射日光、風雨が当たらない箇所にセンサーを設置し、同様に測定を行った。各場所について、相対湿度（%）、温度（℃）の平均値、標準偏差を算出した。また、温度から、Tetens (1930)の式⁹⁾を用いて、近似的に飽和水蒸気圧を算出し、算出した飽和水蒸気量と測定した相対湿度から、水蒸気の状態方程式を用いて、絶対湿度（g/m³）を算出した。なお、本報告では、床下の温湿度については床下中央の値のみを用いた。

3 結果

3.1 床下換気口を閉じた際、床下仕様が床下の温湿度へ与える影響

図2に夏季1-1、図3に秋季1の在来工法床下について、換気口を閉めた際、床下土間の仕様が温湿度分布に与える影響を示す。夏季1-1の際、床下土間の仕様が「防湿+砂」と「土」の場合を比較すると、「防湿+砂」では相対湿度69~90%（平均値（A.V）：84%、標準偏差（S.D）：3.4）、温度17~25℃（A.V：20℃、S.D：1.9）、「土」では相対湿度83~93%（A.V：88%、S.D：1.7）、

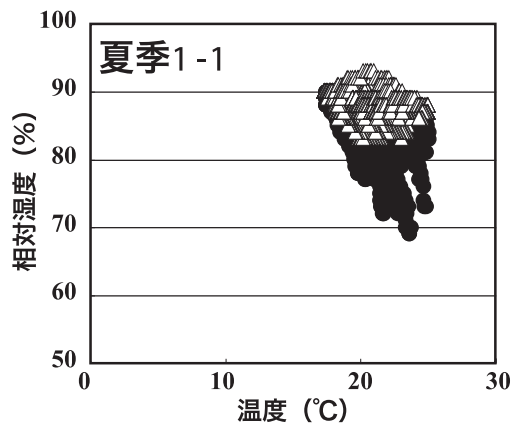


図2 在来工法床下の温湿度分布
2005.7.1-7.31 換気口：閉
●：土間-防湿+砂、△：土間-土

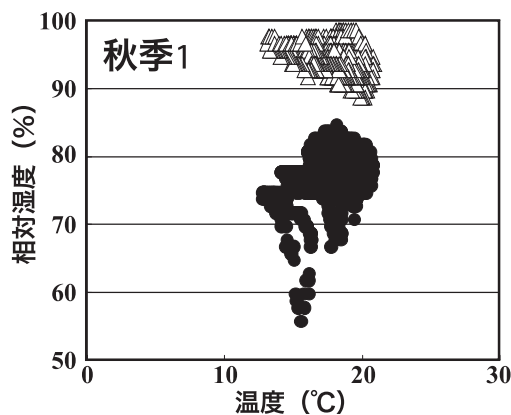


図3 在来工法床下の温湿度分布
2005.9.26-10.26 換気口：閉
●：土間-防湿+砂、△：土間-土

温度17~25℃（A.V：21℃、S.D：1.8）となり、温度、湿度の分布域は重なるが、「土」の床下では、湿度の分布が高湿側に偏っていた。

一方、秋季1の際は「防湿+砂」では相対湿度56~85%（A.V：78%、S.D：3.1）、温度13~21℃（A.V：17℃、S.D：1.5）、「土」では相対湿度89~99%（A.V：94%、S.D：1.7）、温度13~21℃（A.V：18℃、S.D：1.4）となり、「土」の床下は、夏季と同様に、明らかに高湿状態であった。

これらのことについて、床下の絶対湿度を外気と比較すると、夏季1-1は「防湿+砂」13.0~13.1 g/m³、「土」12.7~13.4 g/m³、外気13.1 g/m³となり、床下の仕様や場所による絶対湿度には顕著な差異が無いのに対し、秋季1は「防湿+砂」9.9~10.0 g/m³、「土」11.3~12.0 g/m³、外気8.2 g/m³となり、明らかに「土」の絶対湿度は高くなった。このことから、夏季の床下は、外気の高湿な環境の影響を受けることが明らかとなり、秋季は床下が「土」の場合は地面から水分が供給されることが高湿化

の要因として挙げられ、防湿施工の有無が床下の湿度変動に影響を与えることが明らかとなった。

3.2 床下換気口を開けた際、床下仕様が床下の温湿度へ与える影響

図4に夏季2の在来工法床下について、換気口を開けた際、土間の仕様が温湿度分布に与える影響を示す。床下土間の仕様が「防湿+砂」と「土」の場合を比較すると、「防湿+砂」では相対湿度51~95% (A.V:81%, S.D:6.1), 温度19~28°C (A.V:23°C, S.D:1.6), 「土」では相対湿度60~96% (A.V:81%, S.D:5.3), 温度19~27°C (A.V:23°C, S.D:1.6) となり、温度、湿度の分布は重なったが、換気口を閉じた夏季1-1の場合に比べ標準偏差は大きくなった。このことについて、外気環境の差異をみると、夏季1-1, 夏季2の外気相対湿度(最小-最大)は42-99% (S.D:14.0), 40-99% (S.D:14.8) となり、顕著な差異が観察されない。従って、標準偏差が大きくなった理由は、換気口を開けた状態にすることにより、床下内へ外気が流入したためであることが示唆される。このことから、夏季において、床下の湿度変動の要因は、「換気口の開閉>床下の仕様」であることが明らかとなった。

図5に秋季2-1の在来工法床下について、換気口を開けた際、土間の仕様が温湿度分布に与える影響を示す。床下土間の仕様が「防湿+砂」では相対湿度47~92% (A.V:66%, S.D:7.8), 温度1~16°C (A.V:8°C, S.D:3.2), 「土」では相対湿度60~93% (A.V:82%, S.D:6.4), 温度2~15°C (A.V:8°C, S.D:3.2) となり、床下土間の仕様が「土」の場合は、「防湿+砂」に比べ、明らかに高湿状態であった。このことについて、秋季1の結果と比較すると、秋季2-1の相対湿度の標準偏差は大きくなり、床下換気口を開けることによる湿度分散効果が観察されるが、秋季1, 2-1において、床下土間の仕様の差異が温湿度分布へ影響していることは明らかである。これは夏季1-1, 2の結果とは異なり、床下の湿度変動の要因は、「床下の仕様>換気口の開閉」となると考える。この理由として、気温が低いため空气中に分散する水分の容量が小さくなり、見かけ上の換気口から排出される水分量が、床下土間から供給される水分量に対して少ないことが推測される。

3.3 高気密高断熱工法床下へ木炭を敷設した際の床下の温湿度分布

図6に夏季1-2の高気密高断熱工法床下についての温湿度分布を「木炭区」「無施用区」別に示す。夏季1-2の際、「木炭区」では相対湿度82~87% (A.V:85%, S.D:1.2), 温度17~24°C (A.V:20°C, S.D:1.5), 「無施用

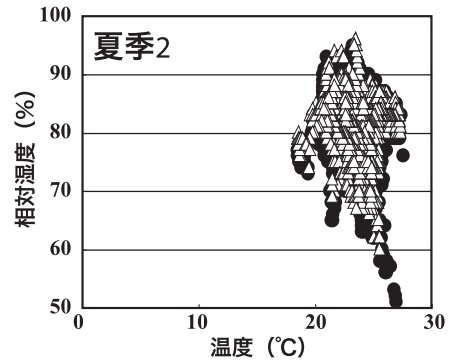


図4 在来工法床下の温湿度分布
2005.8.21-9.26 換気口：開

●：土間-防湿+砂、△：土間-土

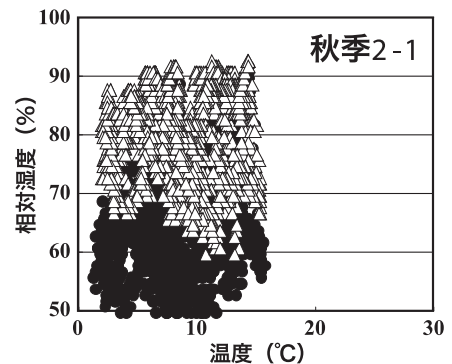


図5 在来工法床下の温湿度分布
2005.11.1-12.5 換気口：開

●：土間-防湿+砂、△：土間-土

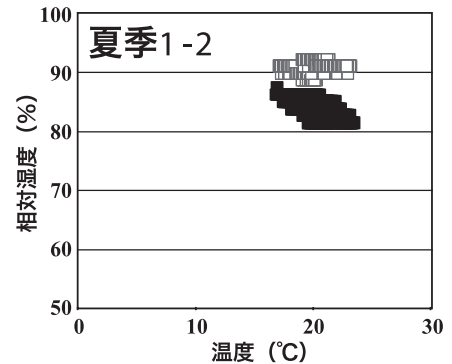


図6 高気密高断熱工法床下の温湿度分布
2005.7.1-7.31

■：木炭区、□：無施用区

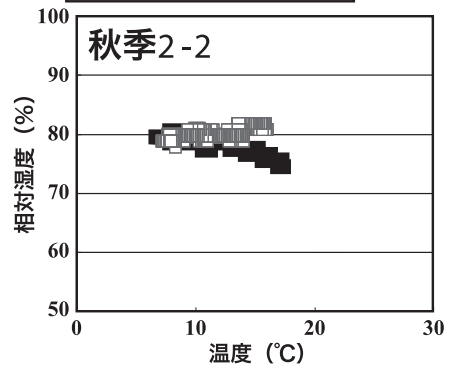


図7 高気密高断熱工法床下の温湿度分布
2005.11.1-12.5

■：木炭区、□：無施用区

区」では相対湿度89~92% (A.V: 91%, S.D: 0.6), 温度18~23°C (A.V: 20°C, S.D: 1.2) となり, 木炭区において, 相対湿度が約5%低い傾向が観察された。相対湿度は絶対湿度と温度で決定されるため, 木炭区, 無施用区の温度, 絶対湿度を詳細に検討すると, 温度の差異は約0.5°C, 絶対湿度の差異は約0.3g/m³であった。このことに関して木炭の敷設の有無が影響していると仮定すると, 木炭の水分吸着能力, 木炭の蓄熱, 断熱などの熱的效果が期待できるが, 今回は, 木炭の重量変動を測定していないため, 詳細は明らかでない。また, 各床下の立地的条件も影響していることが推測されるため, 今後, 追試が必要と考える。

図7に秋季2-2の高気密高断熱工法床下についての温湿度分布を「木炭区」, 「無施用区」別に示す。秋季2-2

の際, 「木炭区」では相対湿度75~81% (A.V: 79%, S.D: 1.4), 温度6~17°C (A.V: 11°C, S.D: 2.9), 「無施用区」では相対湿度78~82% (A.V: 80%, S.D: 1.1), 温度6.7~15.6°C (A.V: 11°C, S.D: 2.4) となり, 夏季1-2と同様に「木炭区」では高湿化が抑制されて見えるが, 詳細は明らかでない。

高気密高断熱工法 (夏季1-2, 秋季2-2 (図6, 7)) と在来工法 (夏季1-1, 2, 秋季1, 2-1 (図2~5)) の床下を比較すると, 高気密高断熱工法の床下の温湿度分布の範囲が, 特に湿度変動範囲が著しく小さい結果となっている。このことは外気の影響による温湿度変動を気密化, 断熱化などの工法で抑制した結果であるが, 逆に, 在来工法床下へ木炭を敷設した際は, 外気の影響で温湿度変動が大きくなるため, その効果の検出を困難に

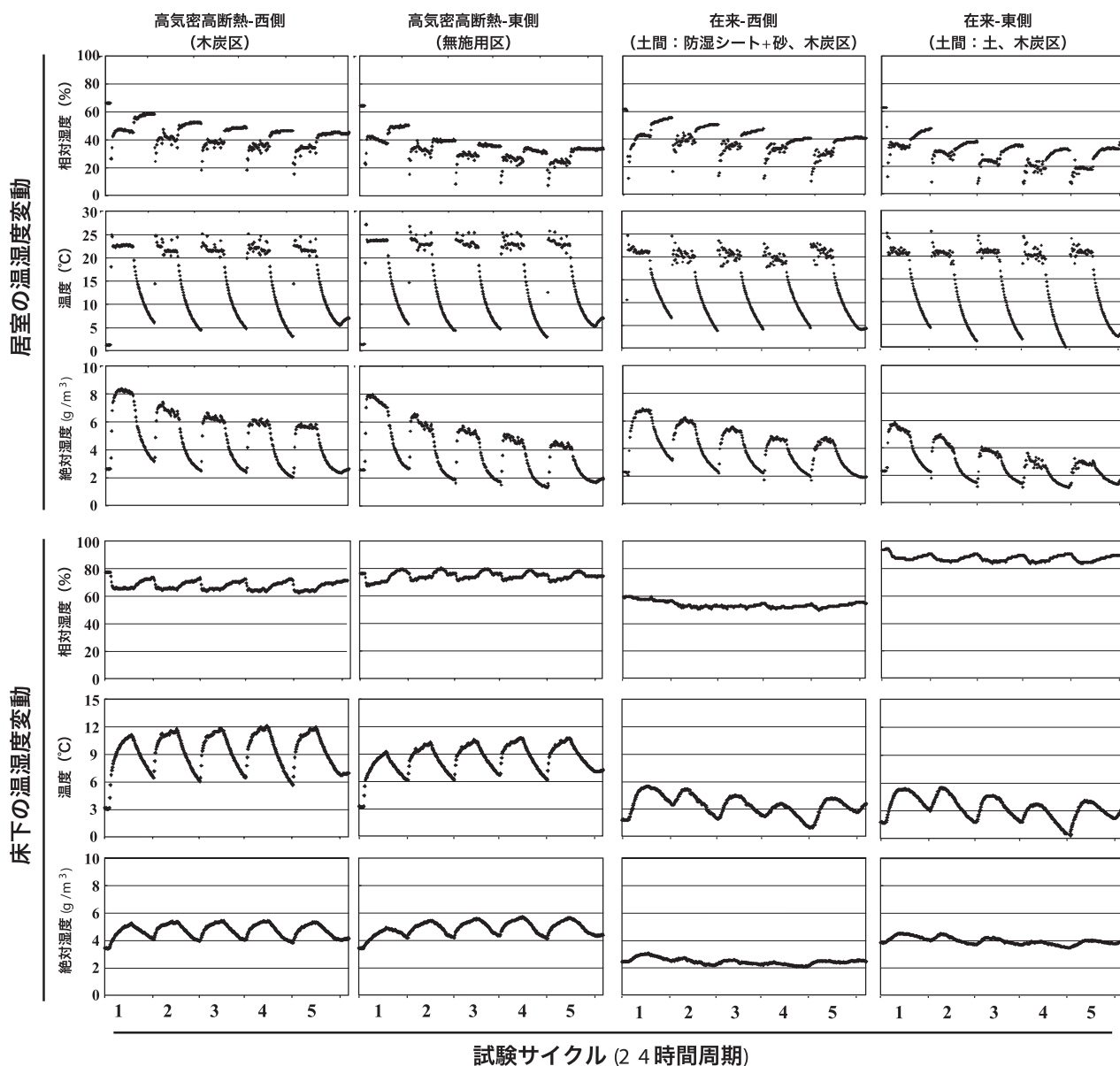


図8 居室に暖房を行った際の床下の温湿度変動 (冬季)

しているともいえる。

3.4 居室暖房が床下の温湿度へ与える影響

3.4.1 高気密高断熱工法の床下の温湿度分布

図8に居室に暖房を行った際の居室、床下の温湿度変動を条件ごとに示す。間欠運転で暖房を行うことにより、木炭区の床下の相対湿度は63~72%となり、無施用区の72~80%と比較して、約9%低い値を示した。しかし、絶対湿度の変動は各床下とも3.8~5.5g/m³に分布し、特に大きな差異は観察されなかった。

さらに、温度について解析すると、木炭区は5.7~12.1°Cに分布しているのに比べ、無施用区では6.2~10.7°Cとなり、木炭区は無施用区より温度分布の幅が大きく、最高温度が1.4°C高い値を示した。このことから、木炭区の相対湿度が無施用区より低いことは、木炭区の温度が無施用区より高いことで説明できる。すなわち、木炭区の相対湿度が低いのは、木炭が蓄熱、断熱材として作用し、暖房が停止した後の床下の温度低下が抑制され、木炭区の床下の温度が、無施用区よりも高かったためと考えられる。

3.4.2 在来工法の床下の温湿度分布

床下の工法が「防湿+砂」の相対湿度は50~60%となり、床下の工法が「土」の84~94%と比較して、34%低い値を示した(図8)。このとき温度変動は、両床下とも、0.4~5.4°Cに分布し、同様の傾向を示した。さらに、絶対湿度を比較すると、「防湿+砂」が2.1~2.9g/m³となるのに比べ、「土」は3.5~4.5g/m³に分布した。「土」での相対湿度が高かったのは、地面から水分が供給され、絶対湿度が「防湿+砂」の約1.6倍であったことが理由であると考えられる。なお、木炭敷設の効果については、木炭無施用区を設定していないため、その詳細は明らかでなく、今後、追試が必要になる。

4 おわりに

工法の異なる3種類の床下に木炭を敷設し、季節、工法の差異、および床下換気口の開閉が床下の温湿度へ与える影響について検討を行った。その結果、床下の温湿度は季節(外気)の影響を強く受けた。また、工法の差異が湿度変動へ与える影響をみると、床下土間の防湿は地面からの水分供給の抑制の効果が観察され、高気密高断熱工法の床下は温度変動の抑制による湿度の安定化が観察された。さらに、床下換気口の開口は温湿度変動幅を拡大させ、高湿化を抑制する効果が観察された。

密閉空間では木炭は調湿効果が確認されているといわれるが、実際の床下へ木炭を敷設した場合、外気、工法

などが要因となり、温湿度が大きく変動するため、今後、実験系、解析方法の開発が必要になると考える。また、木炭が床下環境へ与える影響の指標として相対湿度を測定しているが、相対湿度は水分量と温度で変動し、木炭敷設は温度変動にも影響を与えている可能性があるため、今後、検討が必要になると考える。

引用文献

- 1) 葛西英夫, 西川 忠, 南 慎一, 川治正則, 林 勝朗, 高島正秀 (1987) 床下環境の改善に関する実験的研究. 北海道立寒地建築研究所 調査研究報告集, 171-175.
- 2) 葛西英夫, 西川 忠, 十河哲也, 高島正秀 (1988) 床下環境の改善に関する実験的研究その2. 北海道立寒地建築研究所 調査研究報告集, 147-155.
- 3) 財団法人日本住宅・木材技術センター編 (1994) 木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書(3). 149-189pp, 東京.
- 4) 社団法人岩手県木炭協会編 (2000) 木炭による湿度調節機能実証事業に係る床下調湿用木炭の設置及び温湿度調査分析報告書. 1-14pp, 岩手.
- 5) 社団法人全国燃料協会編 (中野達夫, 葉石猛夫) (1993) 木炭による木造住宅床下の湿度及び木材の含水率状態の改善. 環境に優しい木炭の新たな利用を定着促進する事業報告書, 30-39pp, 東京.
- 6) 末吉修三, 森川 岳 (2003) 木炭敷設による床下の温度, 相対湿度及び絶対湿度の日変動. 森林総合研究所研究報告 2(4), 267-270.
- 7) 滝本裕美, 中野達夫, 武田孝志, 徳本守彦 (2000) 木炭による木造住宅床下の湿度及び部材の含水率の改善-4種類の木炭の吸湿性及び吸水性に及ぼす粒度の影響-. 木材工業55(1), 14-17.
- 8) 谷内 博規, 鹿野 厚子, 東野正 (2005) 在来工法住宅の床下へ木炭を敷設した際の温湿度変動. 岩手県林業技術センター研究報告 13, 23-29.
- 9) 二宮洗三 (2005) 気象解析の基礎. p.53, オーム社.
- 10) 外崎真理雄, 鈴木養樹, 松岡真悟 (2001) 床下調湿用廃材木炭の吸放湿特性. 木材工業56(10), 464-467.
- 11) 外崎真理雄, 鈴木養樹 (2003) 床下調湿用廃材木炭の吸放湿特性 (2). 木材工業58(3), 119-121.