

(資料)

在来工法住宅の床下へ木炭を敷設した際の温湿度変動

谷内 博規, 鹿野 厚子*, 東野 正

Change of the temperature and humidity at the time of laying charcoal down to the floor of wooden construction framework housing.

HIRONORI TANIUCHI KOUKO KANO* TADASHI HIGASINO

要 旨

木炭を床下へ敷設し、調湿材として利用するため、木炭の吸放湿特性の評価、調湿能力の評価、床下の部材へ発生する微生物の水分活性の測定を行った。また、在来工法住宅の床下へ木炭を敷設した際の温湿度変動について調査を行い、変動要因の解析を行った。結果を以下に示す。

- (1) 吸放湿量は木材>木炭>コンクリートの間を示し、密閉空間であれば木炭は調湿能を有する。
- (2) 木炭の調湿能力は、木炭を調製する際の炭化温度や炭材の種類（樹種）の影響を受けない。
- (3) 木炭の調湿能力は温度変化の周期により大きく変化する。
- (4) 床下を調湿し、カビ類や腐朽菌の生育を抑制するためには床下の湿度を90%以下に抑制することが望ましい。
- (5) 床下の温湿度変動は外気の影響を強く受け、一日の中では昼間の温度の上昇、夜間の温度低下に追隨して湿度が変動し、年間では冬の低温低湿、夏の高湿高温により床下の温湿度が変動した。
- (6) コンクリート基礎で換気口を有し、防湿シートを張った床下工法において、木炭を床下に敷設しても、顕著な温湿度の変動は観察されず、春から秋にかけての湿度変動をわずかに緩和する傾向が観察されるのみであった。

目 次

1 はじめに	24	2.4.4 床下の温度、相対湿度の測定	25
2 試験方法	24	2.4.5 床下の木材含水率の変化	25
2.1 木炭の吸放湿性能の測定	24	3 結果	25
2.1.1 供試材料	24	3.1 木炭の吸脱湿能の測定	25
2.1.2 吸放湿試験	24	3.2 木炭の調湿能力の評価	25
2.2 木炭の調湿能力の評価	24	3.3 微生物の生育に及ぼす温度、水分の影響	26
2.2.1 供試材料	24	3.4 床下への木炭の施用による温度、	
2.2.2 B値の測定	24	相対湿度の変化の調査	26
2.3 微生物の生育に及ぼす温度、水分の影響	24	3.4.1 床下環境の温湿度の日変動	26
2.3.1 供試菌	24	3.4.2 床下環境の温湿度の年変動	27
2.3.2 培養条件	24	3.4.3 湿度の変動要因の解析	27
2.4 床下への木炭の施用による温度、		3.4.4 床下の木材の含水率の変化	29
相対湿度の変化の調査	24	4 まとめ	29
2.4.1 試験地	25	謝 辞	29
2.4.2 住宅の仕様	25	引用文献	29
2.4.3 木炭の敷設	25		

* 一関地方振興局農林部

1 はじめに

木造住宅の基礎・土台は構造上主要な部位であり、地震の多い日本では基礎構造を鉄筋コンクリートの布基礎により強固にすることが建築基準法施行令で定められている。現在、基礎には外気に対して湿気の解放を確保するために、床下換気口の設置が行われているが、全国的に進んでいる断熱強化のもとで、床下の結露による土台の腐朽などの被害が報告されている^{2,4)}。

結露は夏季に換気口から湿った空気が流入して生じる夏型結露、局所的な低温で生じる冬型結露が挙げられるが、その対策として床下の強制換気、基礎断熱、高気密高断熱工法などが行われている。これらの結露対策は新規に住宅を建築する際には有効な手段となるが、既に建築された住宅への導入は工法、コストの観点から問題が多い。

近年、木炭の吸放湿性能に期待し、床下に木炭を敷設し床下の湿度の増加を抑制する試みが全国各地で取り組まれているが^{1,3)}、効果の評価、適正な使用条件の確立に関してデータは十分ではない。

そこで今回、木炭の吸放湿特性、木材に発生する不完全菌類（カビ類）、腐朽菌の温度、湿度条件ごとの菌糸伸長速度を明らかにし、また、木炭の床下調湿の効果について、継続的な温湿度データの集積を目的とする調査を行い、床下への木炭の敷設が床下環境へ与える影響を検討した。

2 試験方法

2.1 木炭の吸放湿性能の測定

2.1.1 供試材料

岩手県産のナラ、スギ、アカマツ黒炭を試験に供した。対照としてアカマツ材、コンクリートを用いた。

2.1.2 吸放湿試験

各試料を20 gずつ秤量ビンに入れ10体調製し、105℃で24時間乾燥後に全乾重量を測定した。吸湿および放湿試験は20℃で相対湿度を調整した容器に入れ、1週間放置し重量を測定し、吸湿率および脱湿率を算出した。相対湿度は33, 43, 59, 75, 85, 98%とした。

2.2 木炭の調湿能力の評価

2.2.1 供試材料

岩手県産のナラ、アカマツ、カラマツ、スギ黒炭、市販竹炭、中国産のカシ白炭を試験に供した。

2.2.2 B値の測定

円筒状の鋼製密閉容器（半径12cm、高さ24cm）を

用い、温湿度センサー（株チノー製温湿度カードロガー MR6000シリーズ）を、センサユニットが容器内の中央上部に位置するように上蓋にシリコンで固定した。

容器、試料とも温度20℃、相対湿度65%で十分に調湿した後、容器に所定の量の試料を入れ封入した。これを恒温恒湿器に入れ、20℃で3時間保持した後、最低温度が15℃、最高温度が25℃となる温度変化パターンを2周期与え、2周期目の容器内における温湿度の経時変化を測定した。温度変化の周期は24時間、6時間及び3時間とした。なお繰り返しは3とした。

B値は、以下の直線近似式から算出した^{4,5)}。

$$\log h(T) = BT + C$$

B: B値

$h(T)$: T℃の時の相対湿度

T: 室温

C: 一次近似式のY切片

2.3 微生物の生育に及ぼす温度、水分の影響

2.3.1 供試菌

供試菌は日本木材保存協会規格第2号「木材用防カビ剤の防カビ効力試験」に用いる不完全菌類（カビ類）5種 *Aspergillus niger* (IFO 6341), *Penicillium funiculosum* (IFO 6345), *Rhizopus javanicus* (IFO 6354), *Aureobasidium pullulans* (IFO 6353), *Gliocladium virens* (IFO 6355) と日本工業規格木材防腐効力試験に用いられるオオウズラタケ (IFO 0507), カワラタケ (IFO 1030) を用いた。

2.3.2 培養条件

(1) 温度条件

温度の菌糸伸長への影響を明らかにするため、90mmプラスチックシャーレにPDA培地を調製し、その中央部に供試菌を接種して5℃ごとに0～40℃で2週間培養した。各温度条件で繰り返しは5とした。所定期間培養後、菌糸伸長半径 (R) を測定し、総培養時間 (T) から菌糸伸長速度 ($V = R / T$) を算出した。

(2) 水分条件

PDA培地にシヨ糖を1～65.5%添加し、平板培地を調製した。それぞれの培地について水分条件の指標である水分活性をシヨ糖の配合割合から算出した⁵⁾。水分活性は純水の飽和水蒸気圧に対する培地の水蒸気圧であるため、水分活性に100を乗じて相対湿度を算出した。これらの培地に供試菌を接種し、25℃で所定期間培養後、菌糸伸長速度を算出した。

2.4 床下への木炭の施用による温度、相対湿度の変化の調査

2.4.1 試験地

岩手県二戸地方振興局管内の九戸郡九戸村長興寺地内の村営住宅（北棟）を試験に供した。試験は1997年9月13日から2002年3月31日まで行った。

2.4.2 住宅の仕様

住宅は新築の在来工法木造平屋建て（床面積56.3m²）を用いた。住宅は東西に2軒の居住区が隣接する構造となっている。居住区のうち、和室と洋室の床下部を調査に用いた。

壁体の断熱材はグラスウール16K（厚100mm）、天井の断熱材はグラスウール16K（厚150mm）、床の断熱材は合成樹脂発泡材（厚50mm）を用いた。

床下はコンクリート布基礎で基礎断熱は行っておらず、地上から床までの高さは520mmであった。防湿措置として土間はビニールシート（厚0.15mm）で覆われ、シートの上に砂を敷設（厚50mm）した。床下換気は換気口による自然換気で4月から11月は解放し、12月から3月は閉鎖した。居室の冷暖房に関しての仕様は不明である。

2.4.3 木炭の敷設

木炭は岩手県九戸村産ナラ黒炭を用い、木炭を破碎して、縦500mm×横700mmの不織布の袋に4kgずつ詰め、東側一軒の床下全面に60kg/坪の木炭を敷設し木炭区とし、西側一軒を無施用区とした。

2.4.4 床下の温度、相対湿度の測定

温度、相対湿度の測定はヴァイサラ株式会社製温度湿度センサーHM35を用いて、1時間ごとに行った。センサーは木炭区、無施用区の各和室、洋室の床下面中央部で地面と床面の中間に設置した。

得られたデータは、各場所で1ヶ月ごとに各時間の

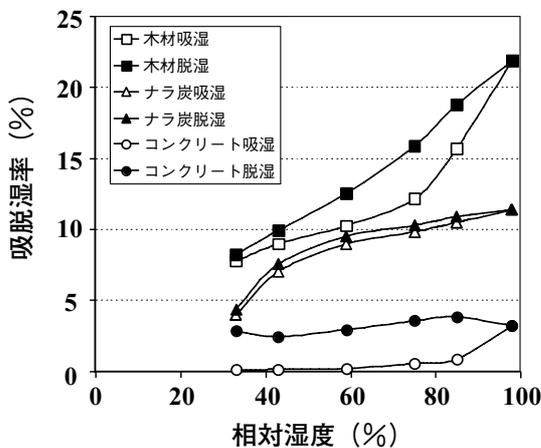


図-1 各材料の相対湿度と吸脱湿率の関係

平均温湿度を算出し、月別の温湿度の日変動をプロットして解析に用いた。

2.4.5 床下の木材含水率の変化

床下にアカマツ辺材試片(L)130×(R)30×(T)40mm（気乾比重0.50）を入れ、含水率の変化を1ヶ月ごとに測定した。

3 結果

3.1 木炭の吸脱湿能の測定

図-1に木炭、木材、コンクリートの相対湿度と吸脱湿率の関係を示す。

木炭は相対湿度33~98%で吸湿率3~12%となり、木材（最大吸湿率は約22%）とコンクリート（最大吸湿率は約4%）の中間に位置した。このことから、坪当たり60kgの木炭を床下へ敷設すると、変動する水分量は坪当たり2.5~7.2kgが期待される。

3.2 木炭の調湿能力の評価

図-2に木炭の粒径別、温度変化周期別の木炭量と調湿能力（B値）の関係を示す。

木炭量が多いほど、形状が細くなるほど、温度変化周期が長くなるほど調湿能力は向上した。換言すれば、表面積が大きく、木炭と空気の接触時間が長いほど密閉空間内の湿度は変化し難くなるといえる。このことから調湿能力の変化は空間の湿度変化に伴う木炭表面の吸放湿能が大きく影響していることが明らかとなった。

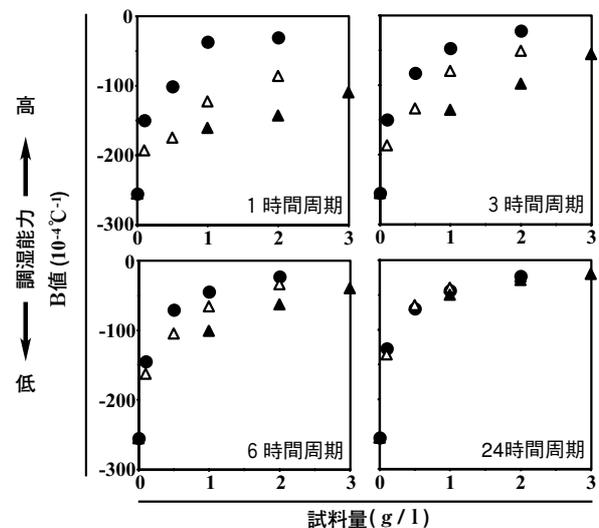


図-2 木炭形状（粒度）と温度変化周期がB値に及ぼす影響

- スギ木炭（粉）：22-30mesh
- △スギ木炭（小）：10×10×20mm
- ▲スギ木炭（大）：20×30×60mm

図-3に様々な木炭の調湿能力を測定した結果を示す。

ナラ黒炭を100%としたとき、アカマツ黒炭、カラマツ黒炭、スギ黒炭、竹炭およびカシ白炭の調湿能力は108, 110, 111, 103および96%となり、種類による調湿性能の差異は明らかではなかった。

これらのことから、密閉空間であれば木炭は調湿機能を有し、木炭の種類は調湿機能に影響しないことが明らかとなった。

3.3 微生物の生育に及ぼす温度、水分の影響

図-4, 5にカビ類、腐朽菌の温度と菌糸伸長の関係を示す。菌の種類により菌糸成長速度に差異はあるが、5~40℃で菌糸が生育することが確認された。このことは、水分条件が満たされれば床下内でカビ類、腐朽菌などが増殖、展開することを示す。

図-6, 7にカビ類、腐朽菌の相対湿度と菌糸伸長の関係を示す。カビ類は相対湿度90%以上の高湿状態で生育が促進し、相対湿度98~99%で菌糸伸長速度は最大となった。また、腐朽菌は相対湿度95%以上で生育が促進し、相対湿度98~100%で菌糸伸長速度が最大となることが明らかとなった。

今回、用いた相対湿度は培地基質の水蒸気圧と容器内の水蒸気圧の比であるが、培地より木材は明らかに水分量が少ないため、木材に発生する菌類の相対湿度は高くなることが考えられる。安全側に考えても、床下の環境は相対湿度90%以下に保持することが望ましいといえる。

3.4 床下への木炭の施用による温度、相対湿度の変化の調査

3.4.1 床下環境の温湿度の日変動

2001年に測定した九戸試験地北棟の床下（和室）について外気と無施用区と木炭区の温度、相対湿度の日

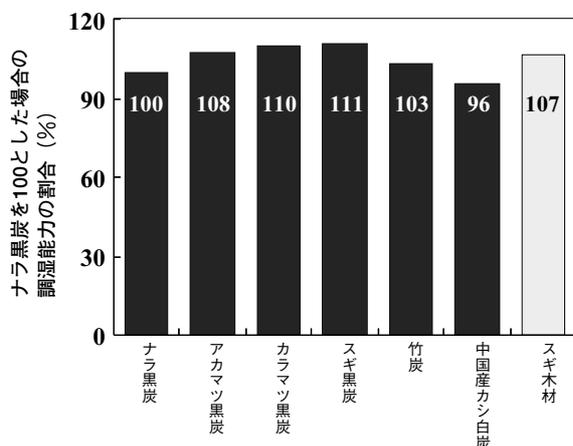


図-3 木炭の調湿能力

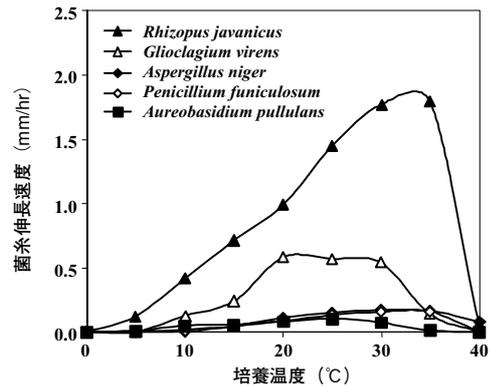


図-4 不完全菌類（カビ類）の培養温度と菌糸伸長の関係

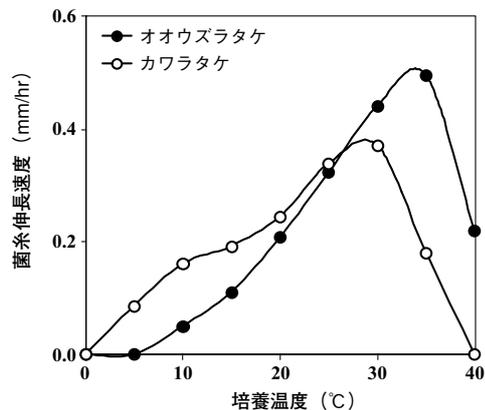


図-5 腐朽菌の培養温度と菌糸伸長の関係

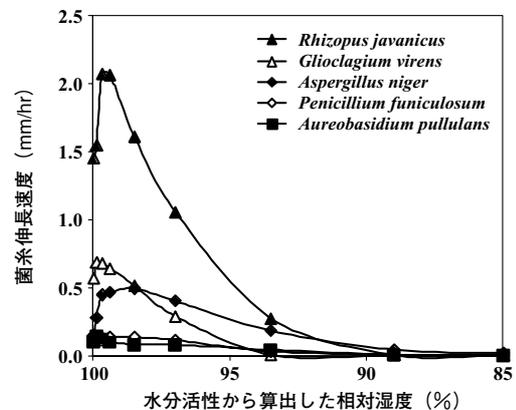


図-6 不完全菌類（カビ類）の相対湿度と菌糸伸長の関係

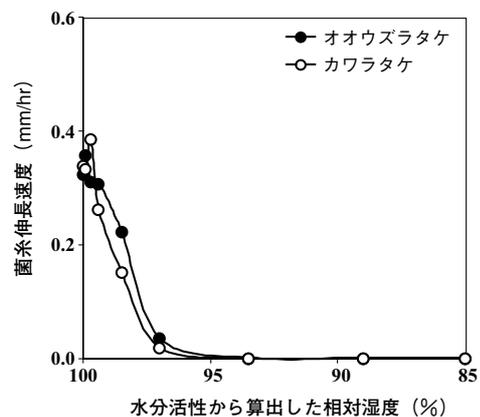


図-7 腐朽菌の相対湿度と菌糸伸長の関係

変動（4, 8, 12月）を図-8に示す。

外気に比べ、床下の温湿度変動はきわめて少ないが、外気の温度変化の影響を受け、外気が最高気温を示した後に約3時間遅れて床下の温度上昇のピークを示し、それに対応して湿度減少のピークを示した。一見すると床下の温湿度変化は外気の影響を強く受け、木炭施用の影響は明らかでなかった。

3.4.2 床下環境の温湿度の年変動

2000年10月から2001年9月にかけて測定した九戸試験地北棟の床下（和室、洋室）について無施用区と木炭区の温度、相対湿度の日変動を月ごとに図-9に示す。

外気の温度、相対湿度の日変動は、温度の上昇とともに湿度は低下する傾向を示すが、年変動は季節に由来する温度、湿度の変化により、温度の上昇とともに湿度も増加した。

床下の温度、相対湿度の日変動幅は外気に比べ小さく、年変動幅は外気の影響を強く受け、温度の上昇に伴い湿度が増加する傾向を示した。

和室、洋室の床下の温度、相対湿度の関係について、木炭敷設の影響をみると、和室では温度、相対湿度が分散したため差異が顕著でなかったが、洋室の木炭を施用した床下では無施用区に比べ、月ごとの湿度変動のうち5, 6月は低湿側へ、9, 10月は高湿側へシフト

している傾向が観察された。

このことについて一見すると若干湿度変動が緩和されているように見えるが、木炭敷設の効果なのか、場所による差異なのかは不明である。

3.4.3 湿度の変動要因の解析

場所による温度変化と相対湿度の変動具合を分離して解析するため、各床下の温度と絶対湿度の対数の関係を図-10に示す。年間の外気の温度と絶対湿度の対数の関係は直線関係で示され、季節変化に伴う温湿度の増減が変動の主要因であることが示された。また、各月の昼夜の日平均温度変化が要因となり点が分散する傾向となった。

床下の変動を見ると、各季節で点が集合していることが示され、和室の木炭区、無施用区では湿度変動に比べ温度変動が大きくなる傾向が観察された。これは、単に外気の影響を受け温度が変動していると考えられる。このことから和室の木炭区、無施用区の相対湿度の分散は外気の影響による温度変化が要因であると推測される。また、木炭区は無施用区に比べ回帰直線へ収束する傾向を強く示し、相対湿度を用いた解析では、分散が大きく傾向が顕著でなかった和室床下の温湿度変化の関係も洋室と同様の傾向を示していることが明らかとなった。このことから床下への木炭の敷設は5, 6月, 9, 10月の温湿度格差を緩和する働きがあると推

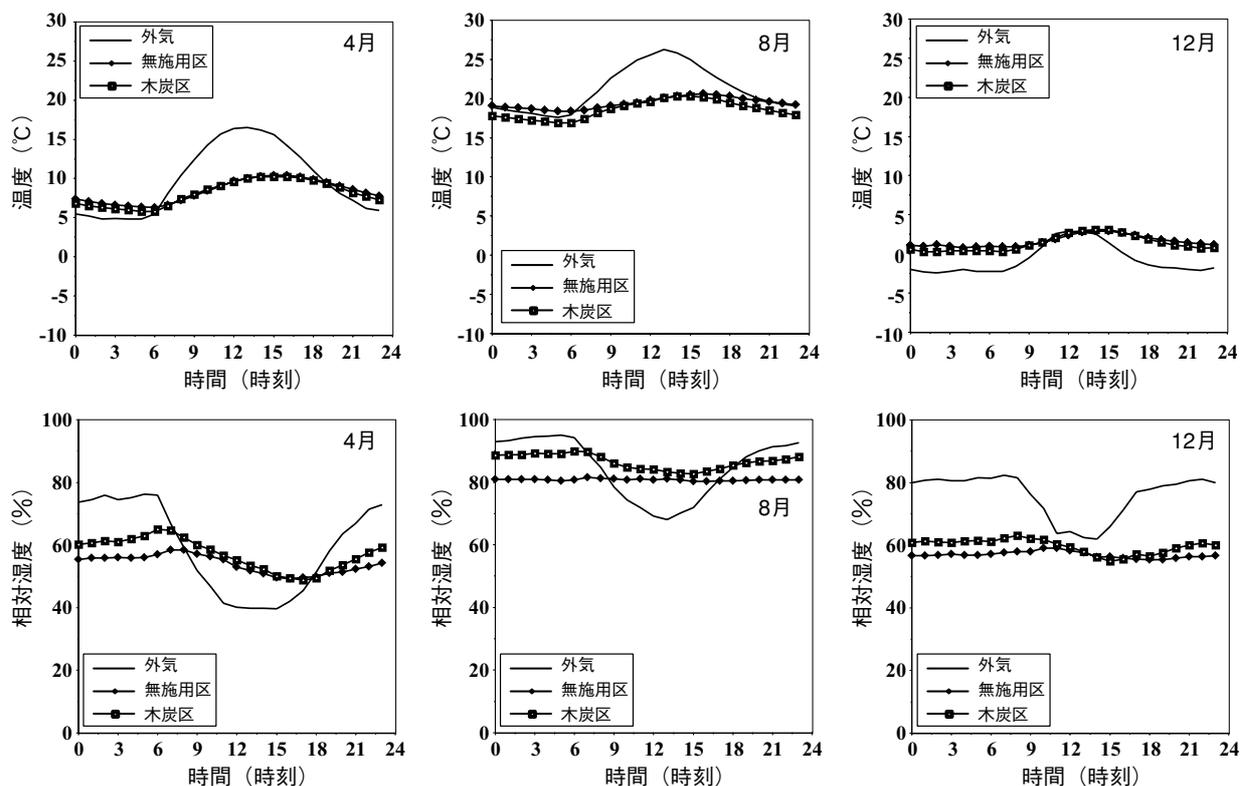


図-8 九戸試験地北棟の床下の季節ごとの温湿度変動（2001）

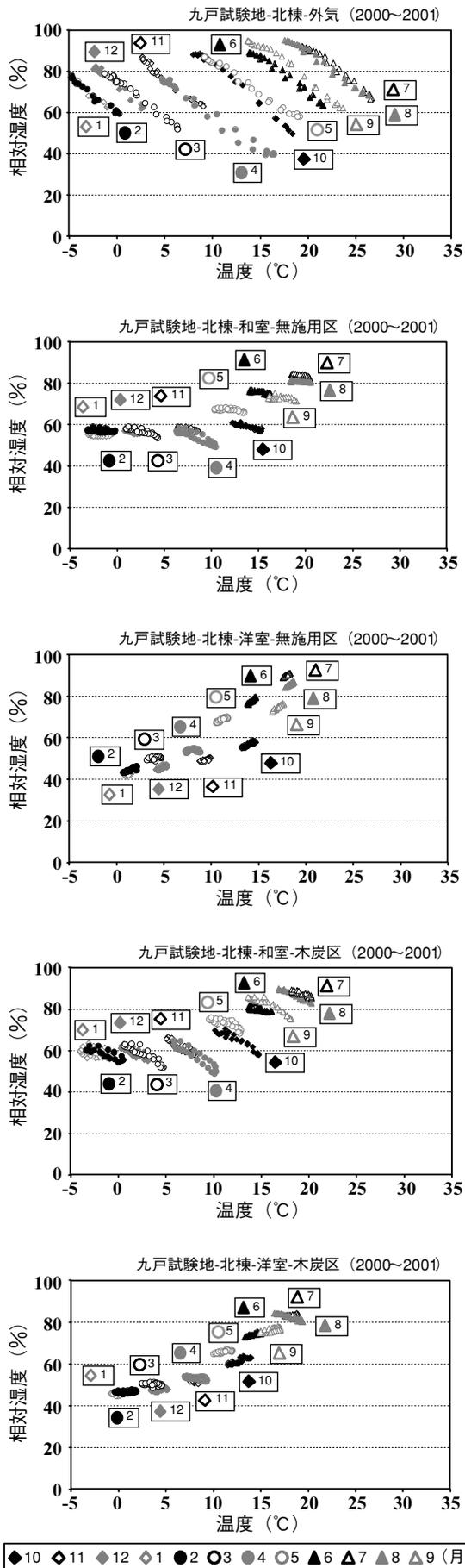


図-9 九戸試験地北棟の各区の床下の温度、相対湿度の年間変動の年変化

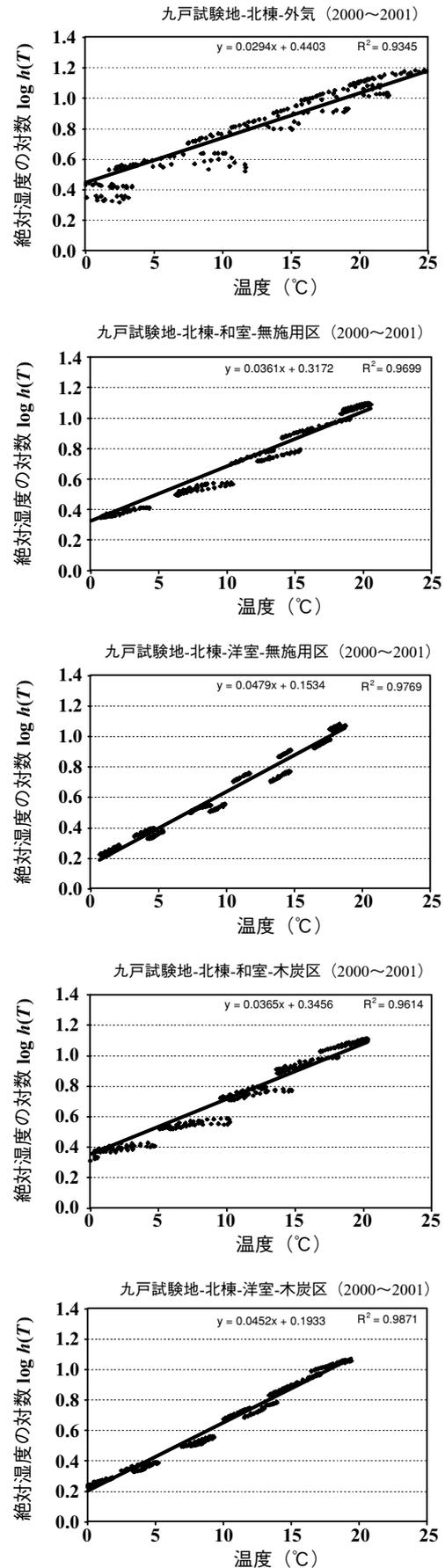


図-10 九戸試験地北棟各区の年間の床下の温度、絶対湿度対数の関係

測される。

これらのことから、床下への木炭敷設は、水分の絶対量を増減させる効果は少なく、湿度の季節的変動のうち春、秋の湿度格差をわずかに緩和するだけであった。

しかし、今回、調査に用いた床下の仕様はコンクリート基礎で換気口を有し、防湿シートを張った工法のみであり、床下へ木炭を敷設した際の湿度変動の把握のためには、その他の工法に関しても調査を行う必要があると考える。

3.4.4 床下の木材の含水率の変化

図-11に九戸試験地の床下に設置した木材片について、含水率の変化を月ごとに示す。

床下の木片は木炭の施用の有無によらず、夏季を除いては含水率12~18%を示し、夏季になると含水率18~22%と増加した。

また、木炭区に比べ、無施用区で木材片表面に糸状菌の発生が多く観察される傾向があったが、木炭の有無なのか工法による外気の温湿度変動の抑制なのかは不明である。

4 まとめ

- (1) 木炭の吸放湿量は木材とコンクリートの間に位置し、密閉空間であれば木炭は調湿能を有する。
- (2) 木炭の調湿能力は、木炭を調製する際の炭化温度や炭材の種類（樹種）の影響を受けない。
- (3) 木炭の調湿能力は温度変化の周期により大きく変化する。
- (4) 床下を調湿し、カビ類や腐朽菌の生育を抑制するためには床下の湿度を90%以下に抑制することが望ましい。
- (5) 床下の温湿度変動は外気の影響を強く受け、一日の中では昼間の温度の上昇、夜間の温度低下に追従して湿度が変動し、年間では冬の低温低湿、夏の高湿高湿により床下の温湿度が変動することが明らかとなった。
- (6) コンクリート基礎で換気口を有し、防湿シートを張った床下工法において、木炭を床下に敷設しても、顕著な温湿度の変動は観察されず、春から秋にかけての月ごとの湿度の変動をわずかに緩和する傾向が観察されるのみであった。

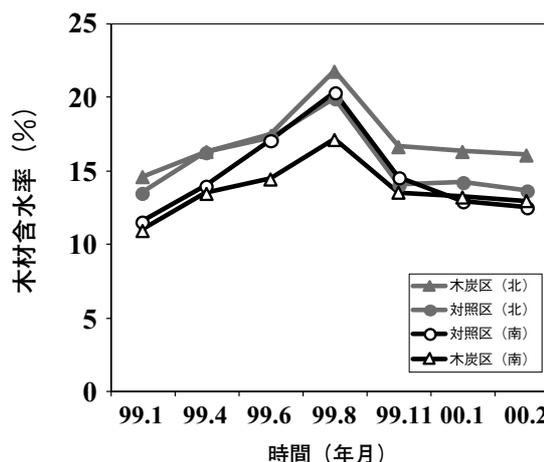


図-11 九戸試験地北棟床下に設置した木材片の含水率変動

謝 辞

本研究を行うにあたり、床下への木炭の敷設、温湿度データの測定に関してご協力いただいた九戸村御当局、社団法人岩手県木炭協会、二戸地方振興局に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 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.
- 2) 田中俊成・鈴木憲太郎 (1982) 自動車研究所宿舍の木質部材の含水率と腐朽、蟻害. 木材保存22: 32-45.
- 3) 藤田晋輔・服部芳明・橘田紘洋・葉石猛夫・中野達夫・元木英生 (1993) 木造住宅床下の気象環境改善 (1) - 5地区の床下気象環境の実態 -. 第43回日本木材学会大会研究発表要旨集: p543.
- 4) 本間義規 (2001) 基礎を断熱した床下空間の熱湿気性状に関する研究. 博士論文: 1-12.
- 5) 好井久雄・金子安之・山口和夫 (1972) 食品微生物学. 70-80pp, 技報堂出版株式会社, 東京.