

## 建築廃木材による床下調湿木炭開発の現状

出雲土建株式会社（島根） 石飛裕司

### 【廃木材のリサイクルもまずマテリアルリサイクルが優先】

近年、大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会経済活動の仕組みを根本から見直す循環型社会の形成が推進されている。2000年5月に建設資材リサイクル法が公布され、建設系廃棄物であるコンクリート、アスファルト、木材の再利用、再資源化が強く望まれてきた。木材に関しては1995年度の調査によると、建設系廃木材の発生量は約632万トンで再利用率は約40%であり、残りの6割は焼却、もしくは埋め立て処分されていた。また、建設資材リサイクル法施行後の2002年度の調査では廃木材の発生量は約464万トンで再利用率は約61%と、全国的に見てもコンクリートやアスファルトはほぼ100%リサイクルされている中で、発生量（容積）が最も多い木材の再利用が進んでいないことが大きな問題となっている（図1）。さらに、間伐材や輸送用木質パレットなど建設系以外の廃木材の発生量も多く、廃木材の有効利用は解決すべき社会的課題の一つといえる。

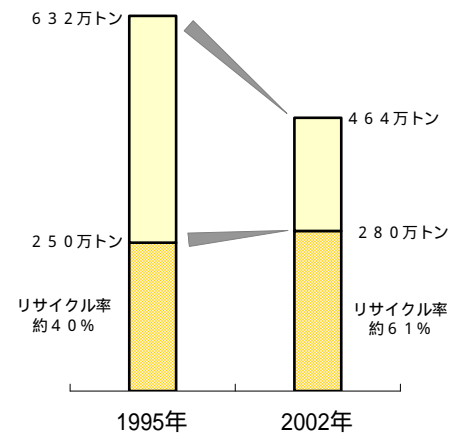


図1 木材リサイクル量とリサイクル率

従来、廃木材の有効利用方法としてはチップ化してパーティクルボード・製紙の原料や敷きわらの代用品などとして利用されてきた。また炭化して木炭としても農業用土壌改良材や、住宅用の調湿材として利用されてきた。しかし、近年においてはそのようなマテリアル（物質）リサイクルから、サーマル（熱）リサイクルに移行する傾向がみられ、全国各地において大規模な木質バイオマス発電工場が建設されている。リサイクルにおいてはサーマルリサイクルよりもマテリアルリサイクルが優先、上位に位置づけされており、資源の有効利用、CO<sub>2</sub>削減による地球温暖化防止の観点から見ても、マテリアルリサイクルの重要性をもう一度見直す必要があると思われる。

### 【地域からでたものを地域で消費する地域完結型リサイクルの実現へ】

出雲土建株式会社は廃木材を有償で引き取りチップ化し、そのチップ全量を子会社の出雲カーボン有限会社が住宅用の調湿木炭として炭化、製造している。（2002年1月操業開始）

島根県では年間約6万トンの廃木材が発生し、出雲土建がその約10%にあたる約5.5千トンのリサイクルしている（2005年度）。

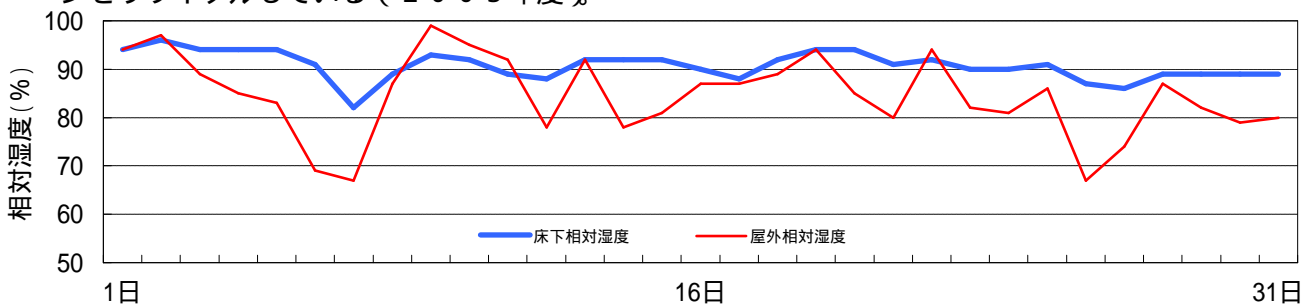


図2 布基礎工法における床下相対湿度推移（2002年7月；島根県出雲市における調査）

建築基準法施行令の改正<sup>2)</sup>などにより、1971年頃よりコンクリート布基礎工法で家屋が建築されるようになった。このような家屋は床下の通気が悪くコンクリート量も多いため、図2に示すように、床下相対湿度は屋外の場合に比べて高湿であり、結露も発生しやすい。高湿環境ではカビ・ダニの発生、木材の腐朽、シロアリによる木材の食害など、家屋を支える床下部分や外壁内部などに様々な悪影響を及ぼしている。

このような床下に調湿木炭を敷設することにより、床下湿度を低下させカビ・ダニ・シロアリ等の住みにくい環境を提供できることがわかってきた。地域の古くなった家屋から出た廃木材が、木炭に姿を変えて地域の家屋の床下に敷設されるという地域完結型リサイクルを実現するに至った。また、調湿木炭の敷設により床下の木材を中心に乾燥し、木造住宅の長寿命化が図れ<sup>3)</sup>、廃木材の発生自体を抑制することにもつながる。(リデュース)

【目的は廃棄物処理ではなくマテリアルの製造であり調湿建材(工業品)としての確立をめざす】

従来、床下調湿木炭の製造にはコストがかかるため単価が高く、また調湿効果も不明なことから一般消費者に敬遠されていたのが実情であった。また、大量生産できる施設が少なく小ロットで生産されており、炭化温度などの製造条件が異なるため、調湿効果のある木炭の品質<sup>4)</sup>を一定にすることが課題であった。

このことに着目し、大型連続炭化装置を導入し24時間連続して操業を行うことにより、大量生産が可能となり、従来品の約半額程度の価格で提供できるようになった。また、島根大学と木炭の製造条件について共同研究<sup>5)6)</sup>をし、調湿能力の優れた木炭の開発に成功した。操業当初より「廃棄物処理」が目的ではなく「製造業」を目指しており、このような課題解決により、一定の品質に保たれた工業品として製品化できた。

また、従来の床下調湿木炭は包装した袋から大量の炭の粉が漏出し、敷設時に作業性が悪かったことに加え、販売ルートがホームセンターでの販売、個人への直接販売であったために販売数が伸び悩んでいた。この課題解決策として、調湿木炭を粉が出にくい不織布に入れる方法を開発し(2002年9月特許出願:床下調湿材)<sup>7)</sup>、作業性を改善した。そして建材店ルートにより調湿建材として販売することで、新築・リフォームなどの建築工事中に利用できるようになった。

【産学官共同研究により調湿木炭の効果を実証する】

布基礎木造住宅(図3:島根県出雲市)の床下A~F区域の内、A、Fは2002年6月に、B、C、D、Eは2004年11月に調湿木炭を敷設し、床下相対湿度の推移を検討した。図4、5、6に示す通り、調湿木炭を敷設したA、F区域は屋外に比して1~4%相対湿度が低く、隣接するB、E区域についても同等の結果が得られた。C、D区域については屋外よりも1~5%高かった。これに対し、図7に示す通り、A~F区域全面に敷設した場合には、屋外に比して7~10%床下の相対湿度が低下することがわかってきた。なお、図4~7に示す屋外相対湿度は床下と同じ高さでの数値である。

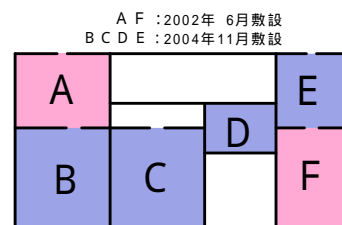


図3 調湿木炭敷設平面図

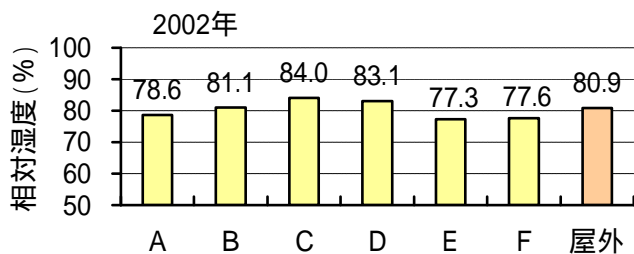


図4 調湿木炭敷設による相対湿度の変化  
(2002年平均)

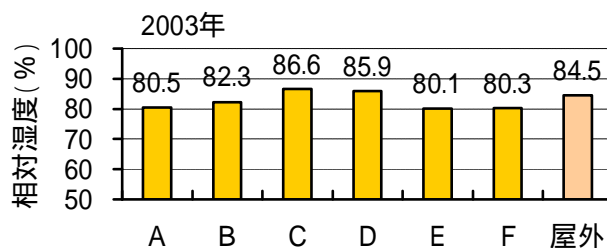


図5 調湿木炭敷設による相対湿度の変化  
(2003年平均)

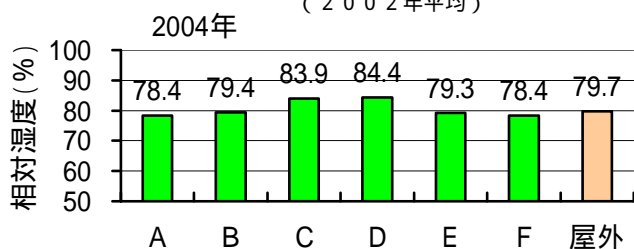


図6 調湿木炭敷設による相対湿度の変化  
(2004年平均)

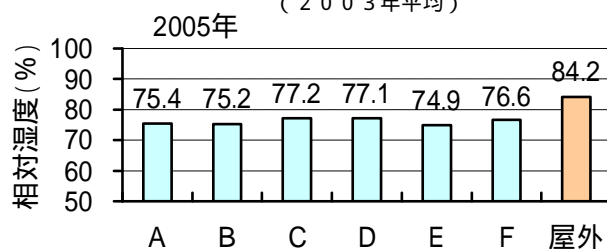


図7 調湿木炭敷設による相対湿度の変化  
(2005年平均)

2003年の気象庁のデータによると、島根県は日本国内において湿度順位が高く1月平均で全国9位の75%、7月平均で10位の72%、年平均で9位の74%である。この数値は気象台における地上面から1.5mの高さでの数値であり、床下の湿度はさらに10~15%高いのが実情である。

布基礎工法では床下の風通しが悪く、図8および図9に示すように、現代型住宅の布基礎工法は伝統型の束石工法に比べて、屋外の湿度が低下しても床下湿度は下がりにくい状態にある。布基礎工法住宅では一度床下湿度が上昇してしまうと、低下するのに長い時間が必要となる。事実、梅雨時期に床下の相対湿度が1日中100%になることは日常茶飯事である。

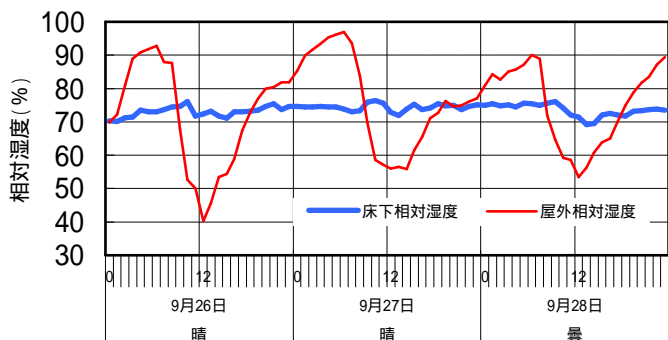


図8 布基礎工法における床下相対湿度の推移：A区域  
(2005年9月；島根県出雲市における調査)

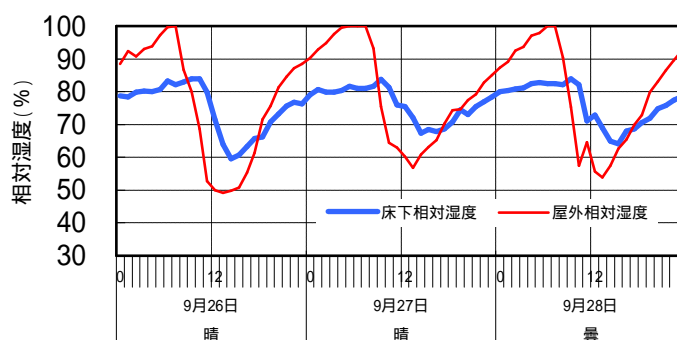


図9 束石工法における床下相対湿度の推移  
(2005年9月；島根県出雲市における調査)

図3の住宅床下A~F区域の大引き，束に木材含水率測定用ビスを計20箇所取り付け、1時間毎の数値を測定・記録した。図10はA区域における年平均木材含水率の推移を示している。

調湿木炭を敷設してから毎年下がり続け、4年目で調査開始時から、約4%減少している。この数値はまだ減少途中のものであると予想される。木材含水率が20%を超えると、カビ、木材腐朽菌やシロアリなどが発生しやすいと思われ、木材強度も低下すると言われている。屋外に比して高湿になりやすい布基礎工法では、木材含水率も高くなっているのが一般的である。

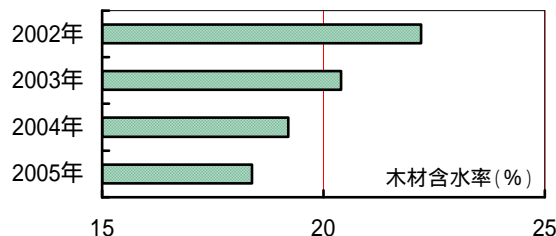


図10 調湿木炭敷設による木材含水率の変化  
A区域

これらのデータは森林総合研究所、島根大学産学連携センター、島根大学総合理工学部との産学官共同研究であり、これまでに第53回日本木材学会福岡大会<sup>8)9)</sup>、第16回日本木材学会中国・四国大会<sup>10)11)</sup>、第55回日本木材学会京都大会<sup>12)13)</sup>日本建築学会大会(関東)<sup>14)15)</sup>で発表されている。

### 【医学分野における調湿木炭の効果を産学共同で研究】

床下調湿木炭を販売する前に336人に8畳1部屋敷設モニターになっていただき、1年後にアンケート調査を行ったところ、回答総数152人中でアトピー性皮膚炎の症状が軽くなったという回答を14人、ぜん息の咳が少なくなったという回答を13人から得ることができた。

これらを医学的に解明するためにまずアトピー性皮膚炎について島根大学医学部皮膚科との共同研究を開始した。アトピー性皮膚炎はダニ、カビ、ハウスダスト、食物、ストレスなど様々な悪化要因があることが知られているが、特に成人のアトピー性皮膚炎ではそのほとんどがダニ・カビをアレルゲンとしており、室内環境の改善が重要視されている。

共同研究ではダニ、カビをアレルゲンとするアトピー性皮膚炎患者6名宅に調湿木炭を敷設し、皮膚症状と血液中のダニ、カビに反応するIgE値の推移を検討した。10ヶ月の観察で6名中5名で顕著な皮膚症状の改善がみられ、血液中のIgE値も減少した。これらのことから調湿木炭の

敷設はアトピー性皮膚炎や環境抗原アレルギーの改善に有用である可能性があると、第35回日本皮膚アレルギー学会<sup>16) 17)</sup>にて発表された。

アトピー性皮膚炎の共同研究に続いて、島根大学医学部小児科と小児気管支ぜん息について共同研究を行った。小児気管支ぜん息はアトピー性皮膚炎と密接な関係にあり、アトピー性皮膚炎を発症して小児気管支ぜん息になるというケースも多いとされている。小児気管支ぜん息はカビ、ダニ、ハウスダスト等を吸引することで気管支の粘膜が破壊され、症状が悪化されている。小児気管支ぜん息患者宅の天井や床下に調湿木炭を敷設し、症状、呼吸機能、血液検査、家屋におけるダニ、カビ数の推移を検討した。2年間の観察で調湿木炭による室内のカビ孢子数の減少と(図11)<sup>18)</sup>、7名中6名において学校を休む回数や咳・ぜい鳴、治療点数(自覚症状等を点数化したもの)の低下がみられ、その時期がちょうど重なることから小児気管支ぜん息において調湿木炭が有効である可能性が示唆されるとして第18回日本アレルギー学会春季臨床大会<sup>19) 20)</sup>にて発表された。

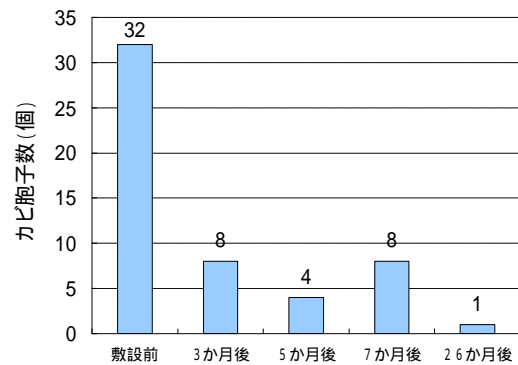


図11 調湿木炭敷設によるカビ孢子数の推移 (10歳男児寝室内)

アトピー性皮膚炎や小児気管支ぜん息にとどまらず、アレルギー性疾患の症状改善には、カビ、ダニ、ハウスダストなどの環境アレルゲンを減少させることが重要だと言われている。近年、住宅が高気密・高断熱化され室内における水分量が増加しているため、高湿度を好むダニやカビの絶対量も必然的に増加している。このような室内環境の悪化により、毎年アレルギー性疾患患者が増加しているものと思われる。

### 【木炭を利用して地域の気象に沿った人の体に最も優しい住居環境づくりの追求】

これらの共同研究から、写真1と写真2に示すように調湿木炭を敷設することで室内空気の湿度が下がり、カビやダニの増殖を抑制する働きがあることがわかってきた。木炭という自然素材を利用し、地域の気象に沿った人の身体に最も優しい住居環境づくりを追求するために、今後さらに研究を深めていきたいと考えている。



写真1 天井用調湿木炭敷設例



写真2 床下用調湿木炭敷設例

### 謝辞

本事業について、石崎炭素技術研究所(滋賀) 石崎信男代表に事業開始よりご指導をいただきました。また元信州大学農学部教授 中野達夫氏をはじめ多くの方々のご指導により研究成果を上げることができましたことをここに記して謝意を表します。



## 参考文献

- 1) 国土交通省リサイクルホームページ；平成7年度建設副産物実態調査、平成14年度建設副産物実態調査。
- 2) 建築基準法施行令 第38条 第3項(建設省,1971)。
- 3) 長寿命木造住宅整備指針(国土交通省,2002)。
- 4) J I S - A 1470 - 1 (2002): 調湿建材の吸放湿性試験方法。
- 5) 北村 寿宏, 田中 貴之, 片山 裕之, 石飛 裕司: 廃木材から製造した木炭の吸放湿特性評価, 廃棄物学会論文誌 Vol.16 No.6, 501-507 (2005)。
- 6) 北村 寿宏, 丹生 晃隆, 石飛 裕司, 出川 通 「大学と企業との共同研究から事業化までの解析 - MOT の視点から - 」 産学連携学会第4回大会講演予稿集, 0616P08, 2006.06.15,16, コラボ産学官(東京)北村寿宏(島根大学産学連携センター); 産学連携学会発表(2006.6)。
- 7) 特許番号第3768498号(出雲土建(株),2006)。
- 8) 末吉修三、外崎真理雄(独立行政法人森林総合研究所) 出雲土建(株)共同研究; 「木炭敷設による床下調湿機能の解析, 高機能床下調湿木炭の最適製造条件の確定」(2002~2003)。
- 9) 森川岳、末吉修三、恒次祐子、石飛裕司、小谷修、安食裕子: 床下調湿木炭の現場敷設試験、第53回日本木材学会大会研究発表要旨集、602(2003)。
- 10) 大谷忠、清野俊介、金森豊(島根大学総合理工学部) 出雲土建(株)共同研究; 「住宅における吸音・遮音・温湿度に及ぼす調湿木炭の効果」(2003~2004)。
- 11) 金森豊、大谷忠、田中千秋、石飛裕司、小谷修、山根祐美: 木炭敷設による住宅床下への効果、第16回日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集、80-81(2004)。
- 12) 大谷忠、清野俊介、金森豊(島根大学総合理工学部) 田中千秋(鹿児島大学農学部) 出雲土建(株)共同研究; 「住宅における吸音・遮音・温湿度に及ぼす調湿木炭の効果」(2004~2005)。
- 13) 清野俊介、金森豊、大谷忠、田中千秋、石飛裕司、小谷 修、山根祐美: 木炭の床下敷設による環境変化の調査、第55回日本木材学会大会研究発表要旨集、192(2005)。
- 14) 中井毅尚(島根大学総合理工学部) 出雲土建(株)共同研究; 「住宅における温湿度に及ぼす調湿木炭敷設の効果」(2006~2007)。
- 15) 中井毅尚、大谷忠、石飛裕司、松岡康二: 山陰地域における束石工法ならびに布基礎工法の住宅床下の木炭敷設による環境変化の実測、日本建築学会大会(関東) 学術講演梗概集 環境工学 P393(2006)。
- 16) 森田栄伸、松尾裕彰(島根大学医学部皮膚科) 中村守彦(島根大学産学連携センター) 出雲土建(株)共同研究; 「環境抗原アレルギーに及ぼす調湿木炭敷設の効果」(2003~2004)。
- 17) 森田栄伸、松尾裕彰、中村守彦、石飛裕司、小谷修、安食裕子: 第35回日本皮膚アレルギー学会抄録集 P115(2005)。
- 18) 高鳥浩介(国立医薬品食品衛生研究所) 測定(2003~2005)。
- 19) 竹谷健、(島根大学医学部小児科) 中村守彦、堀江修二(島根大学産学連携センター) 出雲土建(株)共同研究; 「環境抗原アレルギーに及ぼす調湿木炭敷設の効果」(2003~2004)。
- 20) 竹谷健、葛西武司、山口清次、根宜由美、中村守彦、堀江修二: 第18回日本アレルギー学会春季臨床大会 アレルギー第55巻第3・4号 P467.(2006)