

(論文)

炭化材料の種類、炭化温度、形状が炭化物の調湿性能に及ぼす影響

鹿野 厚子

Effects of the kind of carbide, carbonization temperature, and form of carbide on humidity condition performance

Kouko KANO

要 旨

炭化温度の異なる木炭の調湿効果を密閉容器中で測定した。この測定系では、投入する炭化物の量、形状(粒度)及び測定時の温度変化の周期の長短がB値に及ぼす影響を検討した。その結果、木炭のB値は投入炭化物量とその形状(粒度)および測定時の温度変化の周期によって決定し、炭化温度と材料の種類による違いがないことが明らかとなった。これらのことから、木炭の調湿性能は微細な空隙構造に起因する細孔表面積の影響は受けず、単に木炭の表面積に依存することが明らかとなった。

Humidity condition of charcoal that carbonization temperature differed was measured in the airtight container. This measurement system considered the influence the merits and demerits of the quantity of the carbide to throw in, form (particle size) , and the cycle of the temperature change at the time of measurement affect B value. Consequently, the amount of injection carbide, its form (particle size) , and the cycle of the temperature change at the time of measurement determined B value of charcoal, and it is assumed that there is no difference arising from the kind of carbonization temperature and material.

From the above results, humidity condition performance of charcoal did not influence surface area originating in micro-pore structure, and it is assumed that the performance was only dependent on the surface area of charcoal.

キーワード：木炭、調湿、B値、空隙構造、表面積

目 次

緒 言 .....	8	2.2.1 炭化温度と試料量 .....	9
1 実験方法 .....	8	2.2.2 炭化材料の種類 .....	10
1.1 原料木炭の製造方法.....	8	2.2.3 形状(粒度)、試料量および温度変化周期 .....	10
1.2 比表面積・細孔径分布・細孔容積の算出 ..	8		
1.3 調湿効果の測定 .....	8	2.3 木炭と木材の調湿効果の比較 .....	10
2 結果と考察 .....	9	ま と め .....	10
2.1 調製した木炭の性状、空隙構造 .....	9	謝 辞 .....	11
2.2 木炭の調湿効果に影響を及ぼす諸条件 .....	9	引用文献 .....	11

## 緒 言

木炭は従来の用途である燃料以外に、床下調湿効果を期待した新用途開発が進められており、作用機構の解明のため、木炭の床下敷設試験が行われている<sup>1,2)</sup>。

調湿効果は、木炭に形成された孔隙の吸着作用によって大気中の水分を吸放湿するため<sup>3)</sup>に発現すると考えられているが、詳細なメカニズムを把握していないため、効果を証明するには至っていないのが現状である。

調湿効果とは環境の湿度変化を材料の吸放湿性により調節する作用と定義されている<sup>4)</sup>。則元ら<sup>5)</sup>は木材の調湿効果をB値により数値化している。B値とは相対湿度の対数と温度の関係を直線で近似したときの勾配であり、調湿効果が期待できない材料ではB値は-0.0255を示し、材料の吸放湿により空間の相対湿度が変動しない場合にはB値は0となる。

そこで木炭の調湿効果をB値によって評価し、炭化温度、試料量、炭化材料の種類、形状(粒度)、温度変化周期が調湿効果に及ぼす影響を検討した。また、木炭と木材のB値の比較も行った。

## 1 実験方法

### 1.1 原料木炭の製造方法

スギ (*Cryptomeria japonica*)、モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) の木粉 (16 ~ 42mesh) とモミガラを原料とした。

炭化には㈱チノー製2つ割型管状炉を使用し、るつぼに原料を入れ、所定の温度まで30分で昇温した後3時間保持し、そのまま放冷して木炭を取り出した。実験条件を表-1に示す。

実験後、炭化前試料の全乾重量 ( $W_0$ )、炭化後試料 ( $W_c$ ) の重量から収率 (%) ( $Y = W_c / W_0 \times 100$ ) を算出した。

炭化後、スギ炭、モウソウチク炭は粒度22 ~ 30meshに調整し、モミガラ炭の粒度は成り行きとした。

さらに市販スギ木炭を2種類の大きさに粉砕 (1cm × 1cm × 2cm, 2cm × 3cm × 6cm 程度) し実験に供した。また、コントロールとしてスギ木粉 (22 ~ 30mesh)、スギ材 (1cm × 1cm × 1cm, 3cm × 3cm × 3cm) を調製した。

### 1.2 比表面積・細孔径分布・細孔容積の算出

製造した木炭の窒素吸着等温線の測定にはユアサイオニクス㈱製比表面積・細孔容積測定装置 NOVA-1200を使用した。得られた木炭試料を測定試

表-1 調製条件

Table 1 Experimental conditions

試料 Samples	炭化温度 (°C) Temperature
スギ <i>C. japonica</i>	400
	500
	600
	700
	800
	900
モウソウチク <i>P. pubescens</i>	600
モミガラ <i>husks</i>	600

料管に入れ、前処理として205°Cで4時間真空脱気した後、液体窒素温度における窒素ガスの吸着等温線を測定した。

得られた窒素吸着等温線から  $t$  法<sup>6,7)</sup> によって比表面積 ( $S_t$ ) を求めた。細孔容積 ( $V_p$ ) は窒素飽和蒸気圧下での吸着量を推定して求めた。細孔径分布は、細孔の形状を円筒形と仮定してMP-ML法<sup>8)</sup>により計算し、細孔半径10Å以下のマイクロポア容積 ( $V_{micro}$ ) を求めた。これらの値からマイクロポア容積率 ( $V_{micro} / V_t \times 100$ )、細孔半径10Å以上のマイクロポア容積 ( $V_p - V_{micro}$ ) を算出した。

### 1.3 調湿効果の測定

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 (㈱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°C、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°Cで3時間保持した後、最低温度が15°C、最高温度が25°C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<sup>4,5)</sup>。

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

B: B値

$h(T)$ : T °Cの時の相対湿度

T: 室温

C: 一次近似式のY切片

## 2 結果と考察

### 2.1 調製した木炭の性状、空隙構造

調製した木炭の収率、比表面積、細孔容積、マイクロポア容積を表-2に示す。

スギ木炭について、炭化温度が400、500、600、900℃と上昇するに伴い、収率は34.7、29.4、26.6、23.7%と減少した。空隙構造については、炭化温度500℃で比表面積=30m<sup>2</sup>/g、細孔容積=0.09ml/g、マイクロポア容積=0ml/gであったが、炭化温度600℃で空隙構造は変化し、炭化温度600～900℃では比表面積=395～491m<sup>2</sup>/g、細孔容積=0.17～0.19ml/g、マイクロポア容積=0.13～0.16ml/gとなった。マイクロポア容積率は、500℃で0%だったが600℃以上では急増し、800℃で最大値90%となった。半径10Å以上の細孔容積は炭化温度の上昇に伴い減少する傾向がみられた。

スギ炭、モウソウチク炭、モミガラ炭の比表面積、細孔容積を比較した場合、スギ炭>モミガラ炭>モウソウチク炭の順に大きい値となり、モウソウチク炭、モミガラ炭ではマイクロポア容積が0ml/gであった。

これらのことからスギ、モウソウチク、モミガラを炭化した場合、スギを600～900℃で炭化した試料が空隙構造において比表面積、細孔容積が大きくなっていることが明らかとなった。

### 2.2 木炭の調湿効果に影響を及ぼす諸条件

#### 2.2.1 炭化温度と試料量

炭化温度と試料量がB値に及ぼす影響を図-1に示す。なお温度変化周期は24時間である。炭化温度によるB値の差はほとんど無く、試料量が0.1、0.5、1.0、2.0と増加するとB値は-147～-126×10<sup>-4</sup>、-82～-69×10<sup>-4</sup>、-48～-43×10<sup>-4</sup>、-26～-23×10<sup>-4</sup>℃<sup>-1</sup>と増加した。

表-2から炭化温度が500から600℃にかけてマイクロポアが形成され、空隙構造が著しく変化しているが、このときのB値を比較すると、試料量0.1g/lでは炭化温度600℃の木炭のB値が若干高くなっているが、空間に占める木炭量の増加に伴い、炭化温度によるB値の差異は無くなっていくことがわかる。このことから木炭の空隙構造はB値には影響しないことが明らかとなった。

また、B値と空間の相対湿度の変動幅について大釜<sup>9)</sup>は、相対湿度65%、日気温較差10℃の時、密閉空間においてB値が-30×10<sup>-4</sup>℃<sup>-1</sup>であれば相対湿度の変動幅は4.5%であると報告している。従って、密閉空間であれば木炭の量が2.0g/lあれば、日気温較差10℃の時、相対湿度の変化を±4.5%以内に抑制できることが推測

表-2 木炭の性状

Table 2. The characteristic of charcoal

試料 Samples	スギ <i>C. japonica</i>					モウソウチク <i>P. pubescens</i>	モミガラ <i>husks</i>
炭化温度 (°C) Temperature	400	500	600	700	800	900	600
収率 Yield (%)	34.7	29.4	26.6	25.3	24.3	23.7	24.9
比表面積(t法) St (m <sup>2</sup> /g)		30	395	348	475	491	39
細孔容積 Vp (ml/g)		0.09	0.17	0.16	0.18	0.19	0.06
マイクロポア容積 Vmicro (ml/g) (r<10Å)		0.00	0.13	0.11	0.16	0.16	0.00

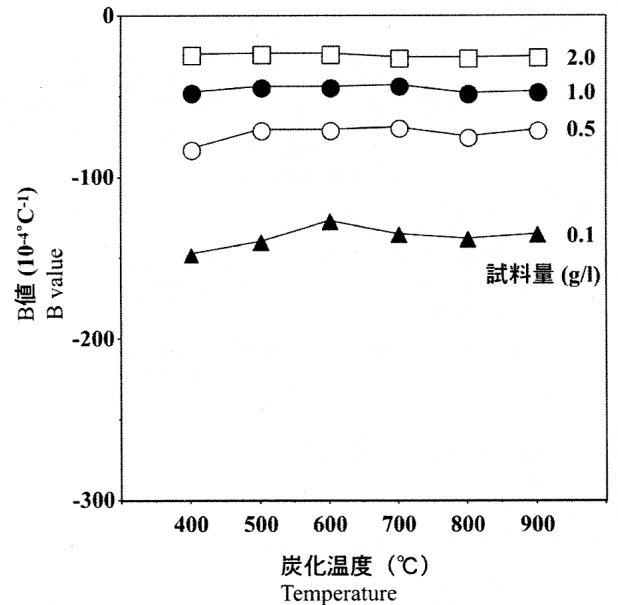


図-1 炭化温度と試料量がB値に及ぼす影響 (温度変化周期：24時間)

Fig.1 Effect of heat-treatment temperature of sugi wood on the B values for 24h cycle. The numbers in figure indicate the weight per unit volume (g/l).

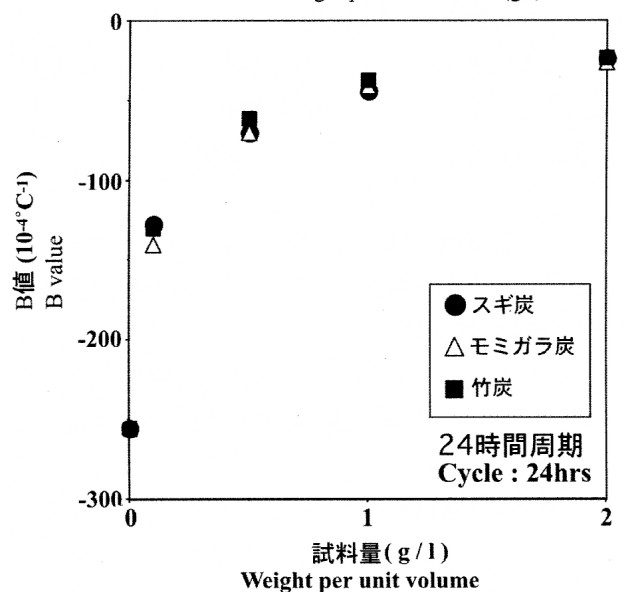


図-2 スギ、モミガラ、竹の炭化物の試料量とB値の関係

Fig.2 Relationships between weight per unit volume and B value at charcoal of sugi wood (●), momigara (△) and bamboo (■).

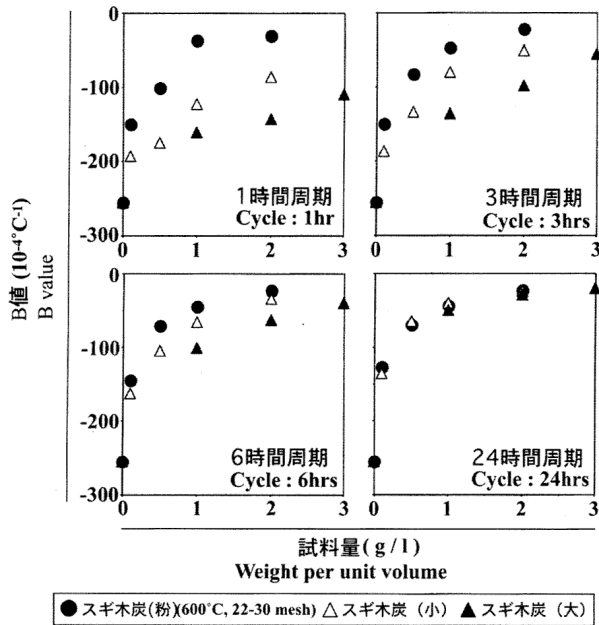


図-3 木炭形状(粒度)と温度変化周期がB値に及ぼす影響  
Fig.3 Effect of B value on charcoal form and temperature change cycles.

Legends: Charcoal form are ●: sugi wood carbonized at 600°C, 22-30 mesh, △: charcoal of sugi (small), ▲: charcoal of sugi (large).

され、十分な調湿効果が期待できる。

2.2.2 炭化材料の種類

図-2にスギ、モウソウチクおよびモミガラ炭化物別の試料量とB値の関係(温度変化周期は24時間)を示す。スギ、モウソウチクおよびモミガラ炭はすべて同様の傾向を示し、試料量が0、0.1、0.5、1、2g/lと増加するとB値は $-255 \times 10^{-4}$ 、 $-167 \times 10^{-4}$ 、 $-114 \times 10^{-4}$ 、 $-78 \times 10^{-4}$ 、 $-45 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$ と増加した。

このことは上記の結果と同様であり、B値の増加は試料量のみが影響しており、単に試料表面積に依存していると推測される。

2.2.3 形状(粒度)、試料量および温度変化周期

形状(粒度)、試料量および温度変化周期が調湿効果に及ぼす影響を図-3に示す。同一試料量におけるB値は試料の形状がスギ木炭(大)、スギ木炭(小)、スギ木炭(粉)と細くなるにつれ0に近似し、その傾向は温度変化周期が24、6、3、1時間と短くなるに従って強くなった。

この結果は、試料量が多いほど、形状が細くなるほど、温度変化周期が長くなるほどB値は0に近づくことを示す。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B値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。

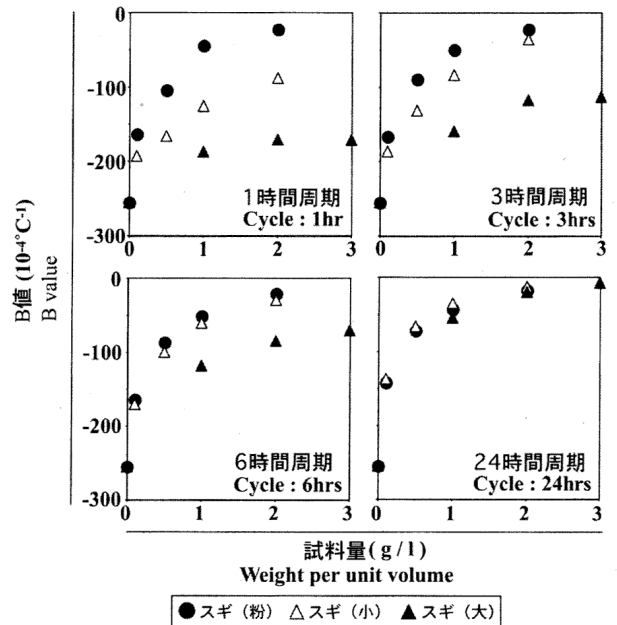


図-4 スギ材形状(粒度)と温度変化周期がB値に及ぼす影響  
Fig. 4 Effect of B value on sugi wood form and temperature change cycles.

Legends: Forms of sugi woods are ●: powder 22-30 mesh, △: small block, ▲: large block.

2.3 木炭と木材の調湿効果の比較

木炭の調湿資材としての性能を評価するために木材との調湿効果の比較を行った。大きさの異なるスギ(粉)(22-30mesh)、スギ(小)( $1 \times 1 \times 1 \text{cm}^3$ )、スギ(大)( $3 \times 3 \times 3 \text{cm}^3$ )におけるB値を温度変化周期別に図-4に示す。

スギ(大)の1時間周期、3時間周期のB値は試料量が増加しても木炭に比べ低い値となった。しかし、温度変化周期、試料量の増加に従いB値は木炭の場合と同様の傾向を示した。同一条件における木粉と木炭のB値を比較したとき、試料が粗い場合には木炭が木材よりも若干0に近い値を示したが、形状が細かい場合には木粉と木材のB値に大きな差はみられなかった。

以上のことから、温度変化周期が短く、形状(粒度)が大きいとき木炭の調湿効果は木材に比べ優れているが、温度周期が長く、形状(粒度)小さいとき木炭は木材と同等の調湿効果を有することがわかった。

まとめ

木炭の調湿効果を測定するため、B値を用い、炭化温度、試料量、炭化材料の種類、形状(粒度)、温度変化周期が調湿効果に及ぼす影響を評価・検討した。結果を以下に示す。

1) 調湿効果には炭化温度、炭化材料の種類は影響せず、調湿効果は試料量、形状(粒度)、温度変化周期に大

きく依存する。

- 2) 調湿材料として木炭を使用する場合、密閉空間であれば木炭量が2～3g/lあれば調湿効果が期待できる。
- 3) 木炭は木材と同等、条件によってはそれ以上の調湿効果を示した。

これらのことから、空間の湿度変化には木炭表面の吸放湿性能が主として影響していることが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、試料調製、空隙構造解析、B値測定に関してご指導いただいた秋田県立大学木材高度加工研究所 栗本康司助教授、岩手大学農学部 澤辺攻教授に厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 中野達夫・葉石猛夫・水野徹哉・武田孝志・徳本守彦 (1996) 木炭による木造住宅床下の湿度及び部材の含水状態の改善-木炭の吸湿性, 吸水性及び熱伝導率-, 木材工業51 (5) : p198 ~ 202
- 2) 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.
- 3) 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状態の改善-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) : p14 ~ 17.
- 4) 大釜敏正・則元京・小原二郎 (1992) 内装材料の調湿効果. 木材研究資料28 : p48 ~ 58.
- 5) 則元京・大釜敏正・山田正 (1990) 木材の湿度調節. 木材学会誌36 (5) : p341 ~ 346.
- 6) De Boer JH・Linsen BG・Van der Plas T・Zondervan GJ (1965) Studies on Pore Systems in Catalysis VII. Description of the Pore Dimensions of Carbon Blacks by the t Methodt. *J. Catal.*4 : 649 ~ 653.
- 7) 鷺尾一裕 (1991) ガス吸着法による比表面積 / 細孔分布測定. 島津評論 Vol.48 No.1 : 35 ~ 49.
- 8) 近藤連一・大門正機 (1974) ML法- MP法による細孔径分布の算出. 表面12 : 377 ~ 386.
- 9) 大釜敏正 (2000) 調湿性能を異にする複数の材料で内装された空間の調湿効果. 木材工業技術短信18(2) : p1 ~ 10.