

廃木材から製造した木炭の吸放湿特性に及ぼす気温の影響

北村 寿宏・石飛 裕司



【論 文】

廃木材から製造した木炭の吸放湿特性に及ぼす気温の影響

北村 寿宏*・石飛 裕司**

【要 旨】 廃木材の有効利用の一つとして、廃木材から製造した木炭の調湿材としての利用を目的に、廃木材を原料に適正な方法で製造した木炭が良好な調湿剤として利用できる吸放湿特性を有していることを明らかにしてきた。

木炭を調湿材として住宅の床下や室内で使用する場合には、数~35℃程度の気温下で使用されると想定されるため、廃木材から製造した木炭の吸放湿特性に及ぼす気温の影響を調査した。10、23、30℃のそれぞれの温度で湿度をステップ状に変化させ、木炭の質量変化として得られる吸放湿特性をステップ応答と仮定し、そのゲイン定数から吸湿性能と放湿性能を、また、時定数から吸湿あるいは放湿の速度を相対的に評価した。その結果、木炭の吸湿性能、放湿性能とも、同一試料では気温の影響を顕著に受けにくいことが明らかになった。また、同一試料では気温が高くなるほどステップ応答の時定数が小さくなり、吸湿・放湿の速度が相対的に速くなる傾向が見られた。

キーワード：廃木材利用、炭化、木炭、吸放湿性能、ステップ応答

1. 緒 言

既報では、木炭を調湿用の材料として利用することを念頭に置き、木炭の吸放湿特性を評価する方法について検討を行い、日本工業規格が調湿建材の性能を評価する方法として制定した「調湿建材の吸放湿特性試験方法 (JIS-A1470-1)」を木炭の吸放湿特性の評価に応用できることを明らかにした¹⁾。さらに、本評価方法を応用して、実用化プラントで建設系廃木材から製造した木炭の吸放湿特性を評価した結果、従来の木炭と同程度以上の吸放湿特性を有することを明らかにした¹⁾。

吸放湿に対して十分な性能を持つ木炭は、住宅の床下や室内環境で調湿材料として利用できる。調湿が必要な環境としては、梅雨期や日本海側の冬季などの多湿期の住宅の床下環境や密閉した室内住環境が考えられる。このような環境の気温は、数℃から 35℃程度まで変化する

ることが想定される。木炭を実際に床下や室内空間での調湿材料として使用するためには、木炭の吸放湿特性に及ぼす気温の影響を明らかにする必要がある。

これまで、特定の気温における木炭の吸放湿特性についての報告²⁻⁵⁾は多数あるが、木炭の吸放湿性能に及ぼす気温の影響については、ほとんど報告されていない。

本研究では、建設系廃木材を原料に木炭を製造し、木炭の吸放湿特性に及ぼす気温の影響について検討した。

2. 実 験

2.1 木炭の原料

木炭の原料は、既報¹⁾と同じ廃木材チップを用いた。炭化原料への防腐処理木材の混入を懸念し、一般に流通している廃木材ではなく、今回の実験用に農作業小屋や古民家など防腐処理木材が使用されていないと確認できた家屋の解体材や、防腐処理がされていない輸送用パレット材などで、防腐処理木材の混入がないと確認できた廃木材を収集したものである。これらの廃木材は、スギやマツなどの針葉樹系や南洋材系の木材が主であり、廃木材の受け入れ状況から、炭化原料は針葉樹系が約 40%、南洋材系が約 60%と推定される。塗装が施されている廃木材は、出雲土建(株)の分別・破砕担当者が粗破

原稿受付 2008.6.4 原稿受理 2009.3.2

* 島根大学産学連携センター

** 出雲土建(株)

連絡先：〒 690-0816 松江市北陵町 2 番地

島根大学産学連携センター 北村 寿宏

E-mail: kitamura@riko.shimane-u.ac.jp

砕の前処理時に目視で判別し、選別を行い、木炭の原料には供しないこととした。選別後の廃木材を油圧式圧碎機で粗破碎の前処理を行った後、ハンマークラッシャーでチップ化し、ふるいにかけて、1.7~8 mm のチップを炭化用の原料とした。

試料の湿量基準の含水率を実験毎に測定した結果、11.2~11.6% の範囲であり、大きな変化はなかった。

2.2 炭化装置および条件

炭化装置⁶⁾の概略を Fig. 1 に示す。廃木材チップの炭化には、管状式電気炉に、外径 55 mm×内径 50 mm×長さ 700 mm の透明石英管を挿入し、両端にシリコンゴム栓を装着して外気を遮断し、石英管内に任意のガスを流通できる構造とした炭化装置を用いた。

石英管内にチップ約 60 g を充填し、外気と遮断し、窒素ガス 2.0 L/min を、または、窒素ガス 1.8 L/min と二酸化炭素ガス 0.2 L/min をあらかじめ混合したガスのいずれかを、石英管内に流通した。使用した窒素ガス、二酸化炭素ガスともに 99.99% 以上の純度を有する。

原料を充填し、ガスを流通した状態で、2 時間かけて所定の温度まで昇温し、所定時間保持した後、室温まで冷却し、木炭を製造した。炭化時の温度および保持時間の条件を Table 1 に示す。

2.3 木炭試料

木炭の製造において、炭化条件が異なると比表面積が

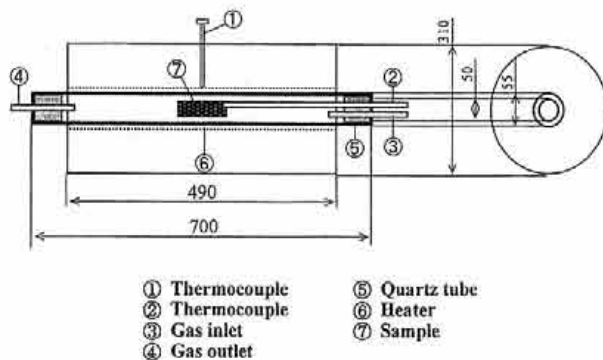


Fig. 1 Experimental apparatus for carbonizing

大きく異なることが明らかとなっている⁶⁻⁸⁾。そこで、比表面積が異なる 4 種類の木炭を製造し、吸放湿特性を評価する試料に供した。また、比較のため、同様の原料を既報¹⁾の商用の炭化プラントで、780℃で 1 時間炭化して製造した木炭を試料に供した。

炭化装置から取り出した直後に測定した木炭試料の質量： W_c (g)、木材チップ原料の質量： W_s (g)、木材チップの含水率(湿質量基準)： u (%)、から式(1)に従い木炭の収率 Y (%) を評価した。

$$Y = \frac{W_c}{W_s \cdot (1 - u/100)} \times 100 \quad (1)$$

また、比表面積および細孔容積は、木炭をカッターにて 3 mm 以下に粗粉碎した後、日本ベル社製 BELSORP-mini を用いて、液体窒素温度において窒素吸着を行い、相対圧範囲 0.01~0.15 の吸着結果から BET 法により比表面積を、また、全相対圧範囲の吸着結果から MP 法により細孔容積を評価した。

2.4 木炭の吸放湿特性試験

木炭の吸放湿特性の評価は、日本工業規格の「調湿建材の吸放湿特性試験方法 (JIS-A1470-1)」に準じて行った¹⁾。その概略を以下に示す。まず、十分に乾燥させた木炭の質量を測定し、所定の温度下で、試料を養生過程 (Preparing step) の相対湿度で恒量となるまで保持する。その後、吸湿過程 (Adsorption step) の相対湿度で 24 時間保持し、さらに、放湿過程 (Desorption step) の相対湿度に変化させ 24 時間保持し、その間の試料の質量変化を測定する。吸湿過程での 24 時間後の増加した質量を木炭の乾燥質量で除した値を吸湿量、また、放湿過程での 24 時間後の質量減少量を木炭の乾燥質量で除した値を放湿量として、それぞれ評価した¹⁾。

木炭の吸放湿特性に及ぼす気温の影響を検討する目的から、吸放湿特性を評価する温度(気温)は、10℃、23℃、30℃とした。また、各温度での相対湿度は、中湿度域では養生過程を 53%、吸湿過程を 75%、放湿過程を 53% とし、高湿度域では養生過程を 75%、吸湿過程を

Table 1 Carbonizing conditions and specific surface area, pore volume and yield of charcoals

Sample No.	Temperature (°C)	Gas composition	Holding time (hr.)	Specific surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Yield (%)
N-4	400	N ₂	2	177	0.08	29
N-9	900	N ₂	2	418	0.18	24
C-4	400	N ₂ +CO ₂ : 10%	2	135	0.06	29
C-9	900	N ₂ +CO ₂ : 10%	2	920	0.41	14
Pl-1*	780	Air	1	296	0.13	—

*produced by commercial plant¹⁾

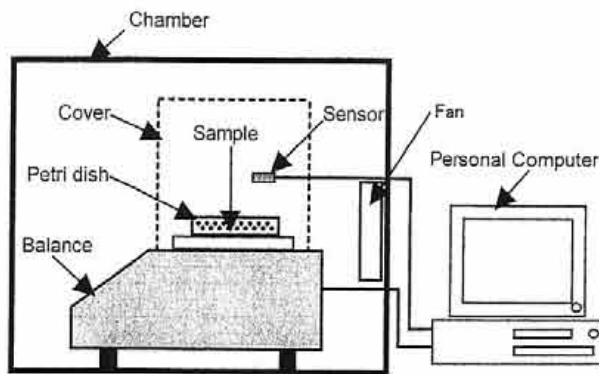


Fig. 2 Experimental apparatus for adsorption and desorption test

93%、放湿過程を75%とした。

木炭の吸放湿特性の評価に用いた装置の概略⁷⁾を Fig. 2 に示す。

木炭約5gをガラス製シャーレ(直径10cm)に入れ、105℃で6時間乾燥した後、質量を測定し木炭の絶乾の質量を求めた。

乾燥後のサンプルをシャーレに入れたままの状態、いすゞ社製恒温恒湿槽内に設置したメトラ社製電子上皿天秤(精度0.1mg)上に置き、5分毎に質量変化を計測した。恒温恒湿槽内は、所定の温度に保持され、24時間毎に所定の相対湿度に変化させた。また、試料近傍の温度と相対湿度はティアンドデイ社製の電子式温湿度計により5分毎に計測した。

恒温恒湿槽内では、温度は所定の温度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以内に、湿度は所定の湿度 $\pm 1\%$ (湿度変更期間を除く)に保たれていることを確認した。

質量の測定については、恒温恒湿槽内のファンによる風の影響を受け細かな変動が認められた。質量が安定する期間における質量の変動幅は $\pm 2\text{mg}$ 、変動係数は0.2%以下であった。

3. 結果と考察

3.1 木炭の比表面積

Table 1 に、木炭試料の比表面積および細孔容積を示す。

既報^{6,7)}で明らかにしたように、二酸化炭素を含む雰囲気下で、炭化温度 900°C で炭化した木炭の比表面積が $920\text{m}^2/\text{g}$ と他の条件で製造した木炭の比表面積より大きいことがわかる。また、 400°C での炭化では、細孔容積が小さく細孔が十分発達しておらず、比表面積が小さいことがわかる。これは炭化を行った温度が低く、十分に炭化が進んでいないことが原因と考えられる⁷⁾。

3.2 木炭の吸放湿特性の評価

吸放湿特性試験における試料木炭1gに対する木炭の質量の経時変化の一例を Fig. 3 に示す。

測定時の湿度をステップ状に変化させていることから、Fig. 3 に示す木炭の質量の経時変化をステップ応答⁸⁾と仮定し、解析を試みた。

時定数 T 、およびゲイン定数 R とすると、ステップ応答 $h(t)$ は、一般に式(2)で表すことができる。

$$h(t) = R(1 - e^{-t/T}) \quad (2)$$

養生、吸湿、放湿の各過程をステップ応答と仮定し、木炭の質量変化を模式的に Fig. 4 に示した。養生、吸湿、放湿の各過程の時定数、ゲイン定数をそれぞれ $T1$, $R1$, $T2$, $R2$, $T3$, $R3$ として評価する。

木炭の質量変化の測定値と式(2)で算出される値との差の自乗が最小になるように時定数 T とゲイン定数 R を求めた。Fig. 3 に、求めた時定数とゲイン定数を用いて式(2)に従い木炭の質量変化を算出し、実線で示した。プロットした実測値と比較すると、非常に良く一致することがわかる。いずれの試料や条件での吸放湿過程にお

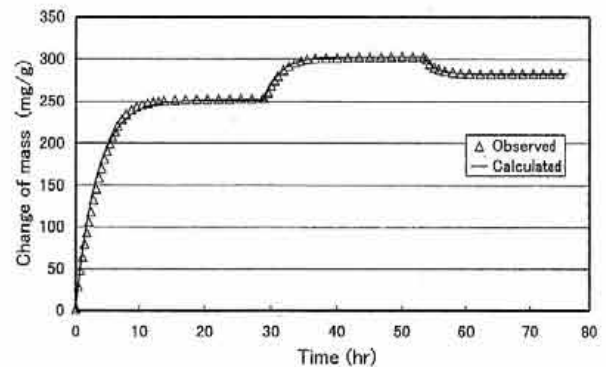


Fig. 3 Change of mass in processing duration at the high humidity range (Sample No. C-9)

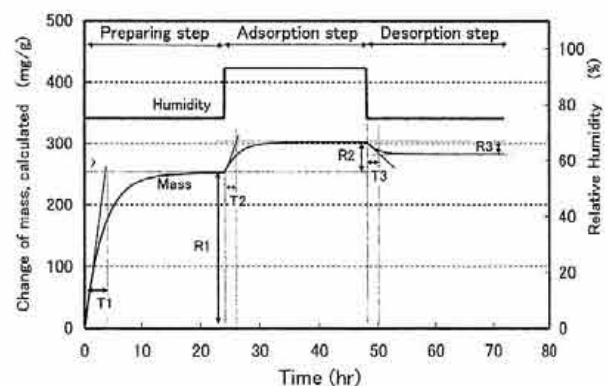


Fig. 4 Definition of Time constant (T) and Gain (R) of the step response during the adsorption and desorption test

Table 2 Time constant and Gain constant of the step response for adsorption and desorption step at the medium humidity range

Sample No.	Temperature (°C)	Time constant (hr)			Gain constant (mg/g)		
		T1	T2	T3	R1	R2	R3
N-4	10	2.25	1.86	3.21	68.4	17.9	-15.5
	23	1.00	0.98	2.28	75.0	17.6	-16.2
	30	0.74	0.96	0.80	73.6	20.8	-15.0
N-9	10	5.36	1.83	7.70	95.3	35.5	-27.3
	23	2.57	0.47	1.86	106.5	24.0	-19.1
	30	1.75	0.33	1.23	108.2	20.8	-18.8
C-4	10	2.40	1.85	4.00	70.0	18.0	-16.0
	23	1.10	0.90	1.35	72.8	18.8	-15.6
	30	0.70	0.58	0.94	74.0	18.7	-15.4
C-9	10	11.90	5.20	6.50	185.0	95.0	-43.0
	23	6.31	2.41	4.30	184.5	77.0	-52.6
	30	4.70	1.78	4.00	172.0	79.4	-60.4
PL-1	10	8.30	3.42	6.05	96.0	34.2	-17.3
	23	4.71	1.85	3.88	81.2	40.1	-28.0
	30	3.50	1.20	2.20	95.0	33.0	-22.0

いても、ステップ応答として計算した結果が、実測結果と良く一致することが明らかとなった。このことから、本実験での各条件における養生、吸湿、放湿の各過程における木炭の質量変化は、ステップ応答と見なすことができる。

各条件における養生、吸湿、放湿の各過程における時定数 T およびゲイン定数 R を Table 2 に示した。

3.2.1 木炭の吸湿量、放湿量に及ぼす気温の影響

Fig. 4 に示すように、吸湿過程におけるゲイン定数 $R2$ は吸湿量に、また、放湿過程におけるゲイン定数 $R3$ の絶対値は放湿量に相当することから、得られたゲイン定数 $R2, R3$ をそれぞれ吸湿量と放湿量とした。

中湿度域および高湿度域における吸湿量と放湿量を、Figs. 5~8 にそれぞれ示した。

Fig. 5 に示す中湿度域における吸湿量と、Fig. 6 に示す高湿度域における吸湿量を比較すると、同一試料では、中湿度域での吸湿量が高湿度域での吸湿量より大きくなる傾向が見られる。同一試料では気温が異なることによる吸湿量の大きな違いは見られず、また、気温とともに吸湿量が増大する試料、逆に放湿量が減少する試料があり、吸湿量に及ぼす気温の明確な影響が見られないことがわかる。

Fig. 7 に示す中湿度域での放湿量と Fig. 8 に示す高湿度域での放湿量を比較すると、同一試料では、中湿度域における放湿量が大きい傾向が見られる。同一試料では気温が異なることによる放湿量の大きな違いは見られず、また、気温とともに放湿量が増大する試料、逆に放湿量が減少する試料があり、放湿量に及ぼす気温の明確な影

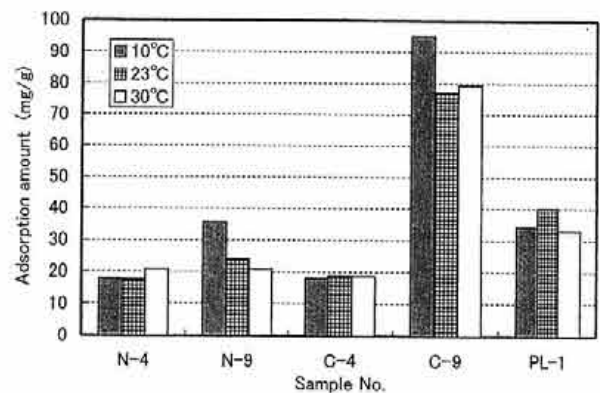


Fig. 5 Adsorption amount of charcoals on the adsorption step in each temperature (medium humidity range : 53 → 75%)

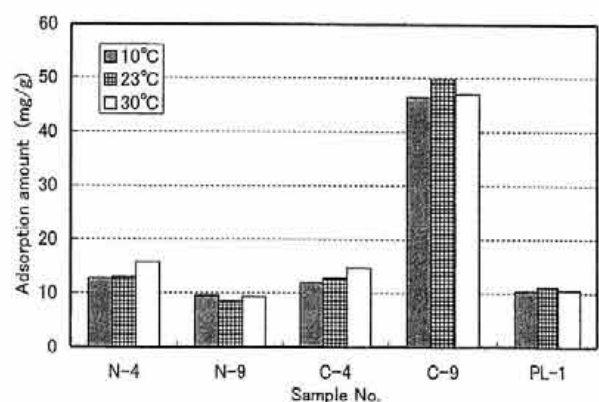


Fig. 6 Adsorption amount of charcoals on the adsorption step in each temperature (high humidity range : 75 → 93%)

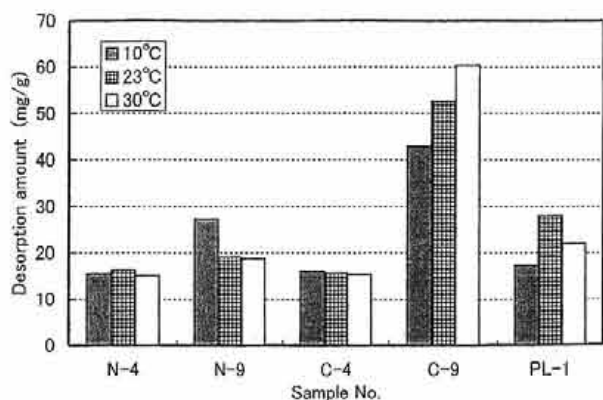


Fig. 7 Desorption amount of charcoals on the desorption step in each temperature (medium humidity range: 75 → 53%)

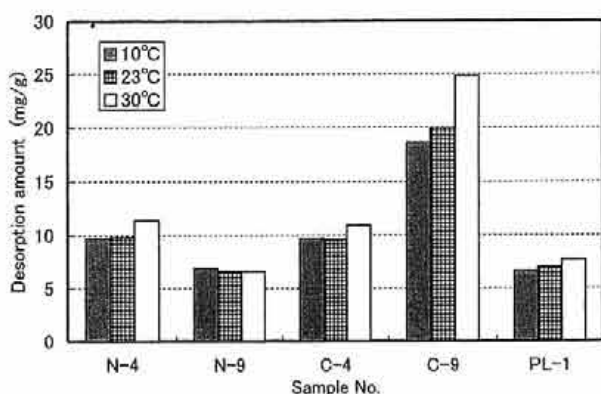


Fig. 8 Desorption amount of charcoals on the desorption step in each temperature (high humidity range: 93 → 75%)

響が見られないことがわかる。

以上のことから、本実験の範囲内では、木炭の吸湿量や放湿量に及ぼす気温の顕著な影響は見られないと考えられる。また、木炭の吸湿量や放湿量は、絶対湿度ではなく相対湿度に大きく影響されると考えられる。

各試料の吸湿量や放湿量を比較すると、比表面積（あるいは細孔容積）が他の試料に比べて大きい試料 C-9 の吸湿量と放湿量がともに大きいことがわかる。この吸湿量と放湿量は、既報¹⁾で明らかにした廃木材を原料として炭化プラントで製造した木炭や試料 PL-1 の吸湿量や放湿量と比較しても大きいことがわかる。この原因は、湿分（空気中の水蒸気）を吸着するサイトが木炭の細孔であると考えられ、細孔が発達し比表面積の大きな試料 C-9 は、湿分の吸着サイトが多く存在し、吸湿量や放湿量が大きくなったと考えられる。試料 C-9 の条件で製造した木炭は、水質浄化剤としての吸着性能も高いことが明らかとなっており⁹⁾、廃木材を原料に吸着や吸放湿特性に優れた木炭の製造が可能であることを示唆してい

る。

また、吸湿量や放湿量を比較すると、商用プラントで製造した試料 PL-1 は、実験室で製造した試料 N-4, N-9, C-4 と同程度、あるいはそれ以上の吸放湿特性を有していることがわかる。

木炭の吸放湿や水蒸気の吸着特性については、比表面積や細孔構造などの物理的な因子に加え、細孔表面の親水性・疎水性の強度も影響することが報告^{5,10)}されている。試料 N-4, N-9, C-4, PL-1 間で、吸湿量と放湿量が比表面積と明確な相関関係が見られないのは、炭化条件により細孔表面の親水性・疎水性の強度が変化し、吸湿量や放湿量に影響を与えていることも考えられ、詳細な検討は今後の課題である。

3.2.2 木炭の吸放湿速度に及ぼす気温の影響

ステップ応答の時定数 T は、応答速度を表す指標のひとつである。そこで、各測定条件におけるステップ応答の時定数を比較することで、吸湿速度、放湿速度に及ぼす気温の影響を検討した。

Table 2 に中湿度域での吸放湿特性の測定における時定数を、Table 3 に高湿度域での吸放湿特性の測定における時定数をそれぞれ示した。

試料 C-9 の各時定数が他の試料の時定数よりも大きい傾向が見られる。これは、試料 C-9 は比表面積が大きく、ゲイン定数、すなわち、吸湿量や放湿量の飽和値が他の試料に比較して極めて大きいため、「最終値に到達するまでに長い時間を要するため」と考えられる。

同一試料における吸湿過程あるいは放湿過程における時定数 T_2 , T_3 を比較すると、気温が上昇するほど時定数が小さくなっている傾向が見られる。この傾向は、中湿度域と高湿度域の両方で一致している。これは、気温が高くなるほど、吸湿あるいは放湿の応答速度が速くなり、吸湿量や放湿量の飽和値まで短時間で到達することを意味する。すなわち、吸湿速度あるいは放湿速度が気温の上昇とともに増大すると考えられる。

吸湿あるいは放湿の素過程は、大別すると、①雰囲気から木炭までの物質移動、②木炭の細孔内の物質移動（拡散）、③木炭表面での水蒸気分子群の吸着あるいは脱着、の3つのステップから成り立っていると考えられる。一般に、多孔質成形体での吸着速度は、細孔内や境界膜での拡散が律速といわれている¹¹⁾。今回の測定条件では、質量の測定に悪影響を及ぼさない程度に恒温恒湿槽内の空気をファンで攪拌していることから、①の過程における境界膜での物質移動が律速段階になる可能性は低いと考えられる。したがって、②の細孔内の物質移動、特に、拡散が律速段階と考えられる。一般に、気体中の拡散速度は温度が高くなるほど増大することから、気温が高く

Table 3 Time constant and Gain constant of the step response for adsorption and desorption step at the high humidity range

Sample No.	Temperature (°C)	Time constant (hr)			Gain constant (mg/g)		
		T1	T2	T3	R1	R2	R3
N-4	10	2.03	2.34	1.47	92.1	12.7	-9.7
	23	1.05	1.61	0.86	94.5	12.9	-9.8
	30	0.71	1.55	0.84	99.0	15.8	-11.4
N-9	10	2.87	1.00	0.75	131.1	9.5	-6.9
	23	1.21	0.53	0.54	129.2	8.5	-6.6
	30	0.80	0.48	0.41	130.2	9.3	-6.6
C-4	10	1.97	1.76	1.30	90.0	11.9	-9.7
	23	0.86	1.41	0.88	93.2	12.8	-9.6
	30	0.67	1.31	0.74	94.1	14.6	-10.9
C-9	10	6.70	4.12	2.30	263.0	46.4	-18.6
	23	3.46	2.54	1.70	254.2	49.8	-19.9
	30	2.25	1.64	1.46	255.4	47.0	-24.8
PL-1	10	5.18	1.94	1.40	130.5	10.3	-6.6
	23	2.53	1.33	0.80	126.2	11.1	-7.0
	30	1.80	0.75	0.55	126.4	10.5	-7.7

なるほど、吸湿あるいは放湿の速度が増大するという今回の実験結果とも一致する。しかし、木炭の吸湿や放湿の速度やその律速段階を明確にするためには、木炭の細孔内の物質移動や木炭表面での水蒸気の吸脱着の観点から、今後詳細に検討する必要がある。

4. 結 言

近年、廃木材の有効利用の観点から、廃木材を原料に木炭を製造し、床下などの調湿材料としての利用が進められている。木炭を住宅床下や室内環境で調湿剤として利用するためには、木炭の吸放湿特性、特に吸湿量や放湿量あるいは吸湿速度や放湿速度、に及ぼす気温の影響を明確にする必要がある。

これまでの研究で、木炭の吸放湿性能を評価するには、日本工業規格の「調湿建材の吸放湿特性試験方法 (JIS-A1470-1)」を応用することが有効であることを明らかにしてきた。そこで、廃木材を原料に比表面積の異なる木炭を製造し、この方法に準じて、気温 10℃、23℃、30℃のそれぞれの温度で湿度をステップ状に変化させ、木炭の質量変化として吸放湿特性を評価した。吸放湿特性に及ぼす気温の影響を検討し、以下に示す結果を得た。

- 1) 実験条件の範囲内では、木炭の吸湿、放湿過程はステップ応答と見なせ、ステップ応答のゲイン定数から吸湿量と放湿量を、また、時定数から吸湿と放湿過程における応答速度を評価できた。
- 2) 同一の木炭試料において、吸湿量と放湿量の双方

とも気温の影響を大きく受けず、木炭の吸湿量や放湿量に及ぼす気温の顕著な影響は見られなかった。

- 3) 同一の木炭試料において、気温が高くなるほど時定数が小さくなり、吸湿あるいは放湿過程での応答速度は気温が高くなるほど速くなる傾向が見られた。

参 考 文 献

- 1) 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, 第 16 巻, 第 6 号, pp. 501-507 (2005)
- 2) 滝本裕美, 中野達夫, 武田孝志, 徳本守彦: 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, 第 55 巻, 第 1 号, pp. 14-17 (2000)
- 3) I. Abe, M. Hitomi, N. Ikuta, I. Kawafume, K. Noda and Y. Kera: Humidity-Control Capacity of Microporous Carbon, Journal of Urban Living and Health Association, Vol. 39, No. 6, pp. 333-336 (1995)
- 4) 外崎真理雄, 鈴木養樹, 松岡真悟: 床下調湿用木炭の吸放湿特性, 木材工業, 第 56 巻, 第 10 号, pp. 464-467 (2001)
- 5) 藤原 敏, 嶋 一徹, 千葉喬三: 竹炭の基本的特性と調湿能, 木材学会誌, 第 49 巻, 第 5 号, pp. 333-341 (2003)
- 6) 北村寿宏, 大島久満, 佐藤利夫, 石飛裕司: 廃木材から製造した木炭の比表面積に及ぼす炭化条件の影響, 廃棄物学会論文誌, 第 18 巻, 第 3 号, pp. 205-210 (2007)
- 7) 北村寿宏, 田口 剛, 片山裕之, スギ材から製造した木炭の比表面積に及ぼす二酸化炭素の影響, 木材学会誌,

- 第48巻, 第4号, pp. 272-279 (2002)
- 8) 北村寿宏, 松本寿生, 片山裕之, スギ材からの吸着用木炭の製造に及ぼす製炭条件の影響, 木材学会誌, 第45巻, 第2号, pp. 171-177 (1999)
- 8) 増淵正美: 改訂自動制御基礎理論, コロナ社, pp. 18-29 (1980)
- 9) 大鳥久満, 北村寿宏, 佐藤利夫, 石飛裕司, 長野和秀: 廃木材から製造した木炭の水質浄化剤としての吸着性能, 廃棄物学会論文誌, 第18巻, 第3号, pp. 211-217 (2007)
- 10) 安部郁夫, 岩崎 訓, 丸山 純, 大江 猛, 福原知子: 竹炭の水蒸気吸着特性, 科学と工業, 第75巻, 第7号, pp. 331-333 (2001)
- 11) 吉田弘之監修: 多孔質吸着材ハンドブック, フジテクノシステム, p. 182 (2005)

Effect of Temperature on Moisture Adsorption and Desorption Characteristics of Charcoal from Waste Wood

Toshihiro Kitamura* and Yuji Ishitobi**

* Collaboration Center, Shimane University

** Izumo Doken Corporation

† Correspondence should be addressed to Toshihiro Kitamura:
Collaboration Center, Shimane University
(2 Hokuryou-cho, Matsue 690-0816 Japan)

Abstract

The effect of temperature in practical use on moisture adsorption and desorption characteristics of waste wood charcoal was studied in order to increase the utilization of charcoal from waste wood as a humidity control material.

The mass changes of charcoal samples were measured by changing the humidity stepwise at 10, 23 and 30 °C. The mass change of the charcoal corresponding to each change in humidity is considered to be the step response. The gain constant of the step response corresponds to adsorption and desorption moisture amounts, respectively. These gain constants for each charcoal sample are not widely different at each experimental temperature. The effect of temperature on the adsorption and desorption amounts is therefore small. Comparing the time constants of the step response for each charcoal sample, the time constants decreased as the temperature increased from 10 to 30°C. Adsorption and desorption rates increased as the temperature increased.

Key words: charcoal, wood waste, carbonization, humidity control, step response