

竹チップ炭の調湿性能（１）

竹チップ炭及び各種木竹炭の炭化温度別吸放湿性能及びB値

誌名	愛媛県林業研究センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Forestry Research Center
ISSN	13489534
著者名	松岡,真悟
発行元	愛媛県農林水産研究所林業研究センター
巻/号	27号
巻号補足	
掲載ページ	p. 14-19
発行年月	2009年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



〈資料〉

竹チップ炭の調湿性能 I

－竹チップ炭及び各種木竹炭の炭化温度別吸放湿性能及びB値－

松岡真悟

Shingo MATSUOKA

現在進められている竹林管理面の研究では、竹林伐採現場から竹材をチップ化して供給する方法が試行されている。その竹チップの利用方法の一つとして、過去に実施した（チップではない）小片状竹炭での試験に引き続き、調湿材利用を取り上げた。竹チップ炭の調湿性能を、吸放湿試験とB値測定の2つの方法で測った結果、吸放湿試験では、有効吸湿量は炭化温度と部位によって異なり、炭化温度では700℃炭化で最も大きく、部位では、枝葉付部よりも稈のみ部の方が高い傾向にあり、また竹チップ炭では小片状竹炭の3倍程度の有効吸湿量があった。一方で、B値については、炭化温度や試料の種類には左右されず、B値に影響する要因は、試料量と形状（チップか小片状か）のみであり（チップ3g/l：B値平均値 27×10^{-4} 、チップ1.2g/l：B値平均値 70×10^{-4} 、小片状試料1.2g/l：B値平均値 125×10^{-4} ）、チップ3g/lで最も高い性能を見せた。

キーワード － B値、吸放湿ヒステリシス、吸放湿性、竹チップ炭、竹炭

1. 緒言

竹資源の有効利用は、適正な竹林管理のために必要不可欠である。かつて竹林管理の伐採は竹材利用の伐採でもあり、その利用方法は多岐に渡っていた。しかしながら産業の発展と共に新たな材料にその活躍の場を奪われ、タケノコ生産の減少、竹林所有者の高齢化も重なった結果、竹林は、里山地域を中心に拡大をしはじめ、さらには造林地への侵入も目立ってきた。これに対処するためには適正な竹林管理を行う必要があり、同時に竹材を有効に利用する必要が生じた。現在、農林水産省高度化事業「タケ資源の持続的利用のための竹林管理・供給システムの開発」（H17～21）が、（独）森林総合研究所を中核として愛媛県林業研究センターを含めた共同研究で進められており、この中の一部には、竹材をチップ化して供給するシステムの開発が設定されている。一方で、松岡ら（2005）によって、調湿用竹炭の製造方法や選別方法に一定の知見が得られており、一部の木炭よ

りも竹炭の方が高い吸放湿性を持つことなども判明しているが、その形状によって竹チップ炭の調湿性能の向上が見込まれることに着目しているところである。本研究では、竹チップ炭とともに、松岡ら（2005）が使用した試験体の一部も供試し、新たな試験方法を取り入れた。なお本研究は、林野庁林業普及情報活動システム化事業「竹材の多面的利用研究」（平成18～20年度）のなかで行った。

2. 材料及び方法

2.1 供試材料

2.1.1 竹チップの採取

竹チップは、平成17年9月（以後、竹チップ1と称する）と12月（以後、竹チップ2と称する）に、松山市東川町の竹林で伐採され、上部の枝葉付き部と下部の稈のみ部に分けられて、それぞれチップパーでチップ化されたものをを用いた。これらはチップ化後すぐに持ち帰り、屋内にて5 cm厚さ

程度に広げて自然乾燥した。乾燥後は、枝葉付き部では3段階（目開き19mm以上、4.75mm以上19mm未満、4.75mm未満）に、稈のみ部では5段階（目開き19mm以上、9.5mm以上19mm未満、4.75mm以上9.5mm未満、2mm以上4.75mm未満、2mm未満）にふり分けてその粒度別割合を調査し、炭化時には、目開き19mm以上のものを除いたうえで、それ以外の粒度別比率を再構築して使用した。

2.1.2 炭化方法

炭化は、竹チップを磁性るつぼに入れ、(株)モトヤマ製温度制御機能付電気管状炉（ステンレス管内径103mm、加熱部長さ500mm）を用いて、昇温速度5℃/min、最高温度保持時間1時間後自然冷却にて、600、700、800、1000℃の最高温度別に炭化した。なお、炭化時の雰囲気は、炭化直前にステンレス管内を窒素で満たしておき、その後は、ステンレス管両端の直径3.5mmの穴口からの自然排気にまかせた。

2.1.3 比較対照材

比較対照材には、無炭化の乾燥竹チップとともに、松岡ら（2005）が過去の研究で用いた試験体の一部（竹炭Aのうち、1年生及び6年生の炭化温度400、600、800、1000℃の竹炭及び竹炭Bのうち、1、2年生及び3～5年生の炭化温度600、800、1000℃の竹炭）及び、ドラム缶窯製竹炭（電気抵抗別に、高低の2種類用意）、間伐材木チップ（無炭化）、間伐材木チップ炭、剪定屑炭、雑炭及び木竹材（無炭化）を用意した。なお、B値測定には市販の竹炭も加えた。

2.2 調湿性能試験

2.2.1 吸放湿試験

飽和塩で湿度環境を調整したデシケータ内に乾量で約1gの試料を置き、温度環境20℃にて、重量の経時変化を恒量となるまで測定した。恒量の時点飽和吸湿をとらえ、飽和となるたびに次の順序でデシケータ間を移動させた。

段階1：相対湿度43%飽和(①)

段階2：相対湿度93%飽和(②)

段階3：相対湿度43%飽和(③)

なお、吸湿の単位はg/g（吸着量/全乾重量）で表し、ここで、

$$\text{有効吸湿量} = \text{②} - \text{①}$$

$$\text{吸放湿ヒステリシス} = \text{③} - \text{①} \quad \text{とした。}$$

2.2.2 B値の測定による試験

木材居住環境ハンドブック（2001）によると、2.2.1吸放湿試験で示したような、一定の温度における相対湿度と材料の平衡吸湿量の関係を示したものの評価は、実際の居住環境などかなりずれることも考えられるとしている。そこで、もうひとつの評価方法として、木材居住環境ハンドブック（2001）が示すB値に準拠することとした。これは、密閉空間に試料を置き、温度変化を与えることで相対湿度に変化を与え、その湿度変化の少なさを調湿性能として評価する方法である。本研究では、20℃相対湿度65%中で所定量の試料を恒量にしたうえで、これを同環境内で密閉空間（スチール缶：容量1.65リットル）に封入し、そこに180分を1周期とした次の温度変化を与えた。

0分 20℃→45分 25℃→90分 20℃→

135分 15℃→180分 20℃

この時の温湿度を温湿度計で計測し、温度Tとそのときの相対湿度H(T)から、次式を導いた。

$$\text{Log } H(T) = B T + C \quad C \text{はy切片}$$

この時のBがB値であり、調湿効果が皆無の場合は、B値=-0.0255となる。今回、密閉容器に用いたスチール缶のみの測定では、実測値でB値=-0.023～-0.022程度を示しており、スチール缶には、ほとんど調湿性が無いことを確認している。

なお、容積当たりの試料量は、全乾重量で1リットル当たり1.2gとし、竹チップ炭及び竹チップのチップ試料群についてのみ1リットル当たり3.0gも採用した。

3. 結果と考察

3.1 竹チップ及び竹チップ炭について

竹チップの粒度別発生比率を表-1に、炭化温度別の乾重量ベース収率を表-2に示す。

竹チップ1と竹チップ2の間での粒度分布の違

表-1 竹チップ粒度別発生比率

部	目開き	9.5mm以上	4.75mm以上	2mm以上	
	19mm以上	19mm未満	9.5mm未満	4.75mm未満	2mm未満
稈のみ部					
竹チップ1	1.4	5.0	45.4	34.2	14.0
竹チップ2	2.7	2.7	33.2	42.0	19.4
枝葉付き部					
竹チップ1	1.7	38.5	59.9		
竹チップ2	2.7	34.1	63.2		

表-2 炭化温度別乾重量ベース収率

炭化温度 [°C]	竹チップ1		竹チップ2	
	枝葉付部分	稈のみ部分	枝葉付部分	稈のみ部分
600	30.1	29.5	29.8	30.0
700	28.7	26.2	28.0	27.1
800	26.5	26.5	26.4	25.9
1000	24.8	24.7	24.7	24.1

いは、主にチップのの違いに由来するものと思われる。これらは、目開き19mm以上のものを除いたうえで、それ以外の粒度別比率を再構築して炭化したため、炭化後の竹チップ炭においても、両者間の粒度分布の違いは若干存在する。

3.2 調湿性能試験結果

3.2.1 吸放湿試験結果

吸放湿試験結果である有効吸湿量と吸放湿ヒステリシスを図-1及び図-2に示す。

図-1は、竹チップをメインとしたチップ試料群（炭化チップ試料+対照無炭化チップ試料）であり、図-2は、2.1.3で示した比較対照材のうちチップ状試料を除いた対照小片状試料群である。

まず、図-1において、本報告の主眼である竹チップ炭の有効吸湿量と吸放湿ヒステリシスについて見ると、同材料異炭化温度の中においては700℃炭化物が、有効吸湿量の高さと吸放湿ヒステリシスの低さを観点とした総合評価において最良と思われる、松岡ら（2005）の報告にあった600℃～800℃での炭化が最良であるとの傾向が、竹チップ炭にも当てはまる結果となった。次に、枝葉付き部と稈のみ部を比較すると、全体的に稈のみ部のほうで有効吸湿量が高いことが見て取れる。最後に、炭化物と無炭化物との比較では、竹チップ及び間伐材チップともに、無炭化材料のほうで有効吸湿量が全体的に高い傾向にある。この傾向は、

後述の対照小片状試料群のモウソウチクやスギ、ヒノキの無炭化材にも言えることであるが、しかしながら、これらの無炭化材では、一様に吸放湿ヒステリシスも高く、また、高湿度中においてカビが発生するなどの、調湿材としての致命的な欠陥が確認されている。

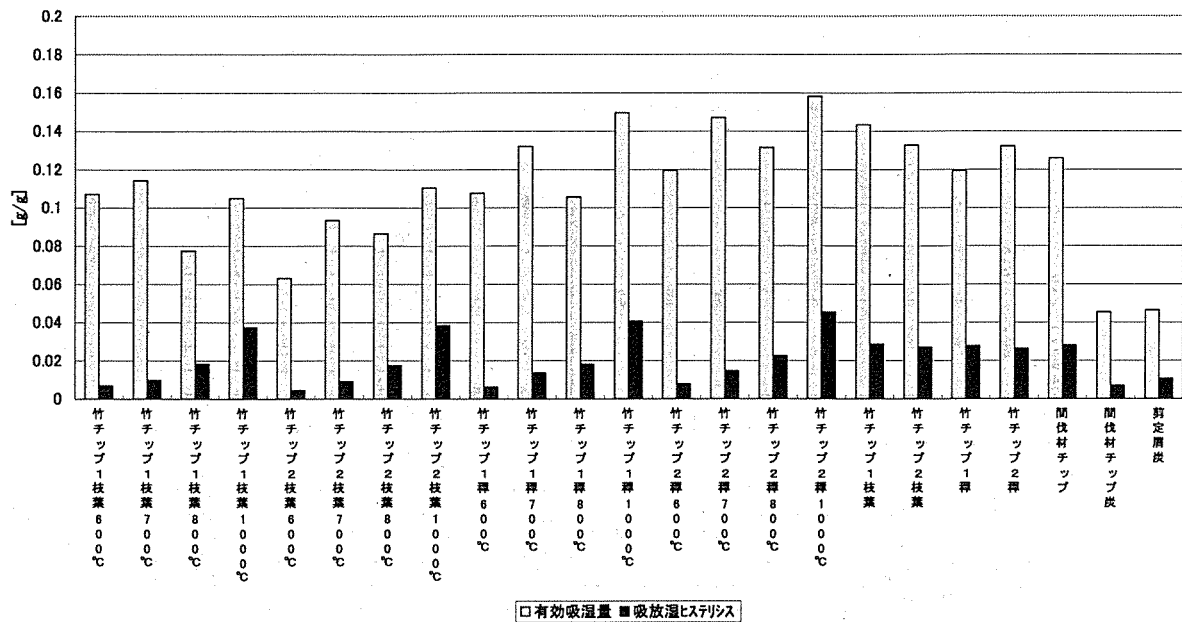
次に図-2の対照小片状試料群についてであるが、松岡ら（2005）が過去の研究で用いた試験体の一部である竹炭A及びBについては、前回と同様に600～800℃の炭化で有効吸湿量が高く吸放湿ヒステリシスが小さいことが確認された。この傾向は、先述のとおり、竹チップ炭においても同じであったが、竹炭A及びBにおいては、竹チップ炭よりもかなり有効吸湿量が小さい。なお、竹チップ炭と竹炭A及びBのうち、両者に共通する炭化温度である600℃、800℃、1000℃炭化物の有効吸湿量の平均値を比較すると、竹チップ炭〔有効吸湿量0.110g/g 吸放湿ヒステリシス0.021g/g〕に対し、竹炭A及びB〔有効吸湿量0.033g/g 吸放湿ヒステリシス0.006g/g〕であり、有効吸湿量では竹チップ炭が3倍以上の性能を示している。また、竹炭A及びBを、無炭化のモウソウチク材やスギ、ヒノキ材と比較すると、ここでもかなりの差が見られるが、竹チップと同様に無炭化材では吸放湿ヒステリシスが大きく、高湿度中でカビが発生することが問題である。

これらを総合的に考察すると、高い吸放湿性能が期待される調湿材としての利用には、700℃炭化竹チップ炭が最も適当と思われる。

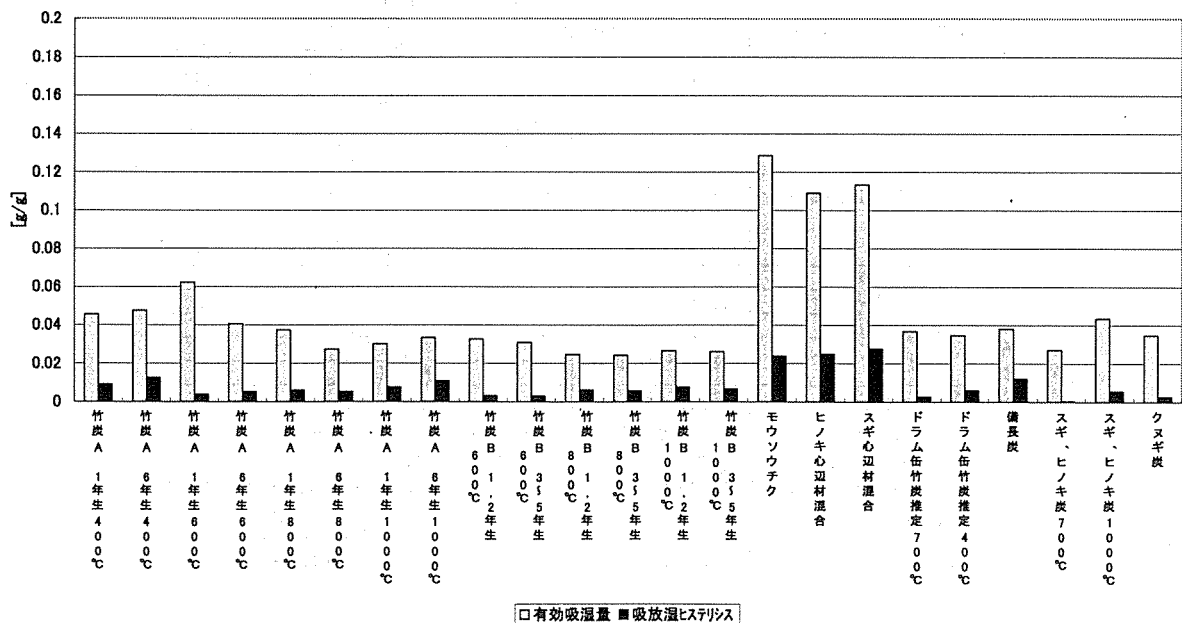
2.2.2 B値の測定による試験

市販の竹炭を含めた各材料のB値を表-3に示す。

表中に示すB値欄の数字が小さいほど調湿性能が高いことを意味するが、チップ試料群と対照小片状試料群のそれぞれの内において、材料の違いによるB値の差異に特に目立つ傾向は無く、また、B値と吸放湿試験結果との間には相関も見られなかった。例えば、対照小片状試料群のなかで、有効吸湿量において際だった結果を見せた暖竹炭の



図－1 有効吸湿量と吸放湿ヒステリシス
－チップ試料群（炭化チップ試料＋対照無炭化チップ試料）－



図－2 有効吸湿量と吸放湿ヒステリシス
－対照小片状試料群－

B値 (94×10^{-4}) については、他の市販モウソウチク炭のB値 ($154 \times 10^{-4} \sim 112 \times 10^{-4}$) と比べてB値が低い結果となつてはいるものの、この差の程度は有効吸湿量の差の程度に及ばない。さらに、有効吸湿量では全体の中で最も高かった

暖竹炭よりもB値が小さいものも存在する。しかしながら、チップ試料群の3g/l (B値平均値： 27×10^{-4}) とチップ試料群の1.2g/l (B値平均値： 70×10^{-4}) 及び対照小片状試料群 (B値平均値： 125×10^{-4}) の間には明らかな差があり、

表-3 B値測定結果

	試料	竹チップ	炭・材別	炭化	部位	炭化温度	B値[×-10 ⁻⁴]		
						[°C]	3g/l	1.2g/l	
チップ試料群	竹チップ炭	竹チップ1	炭	電気炉製	枝葉付き部	600	21	50	
						700	31	86	
		竹チップ2				稈のみ部	800	25	54
							1000	38	89
							600	37	69
							700	30	68
		竹チップ1					800	22	62
							1000	39	83
					竹チップ2		600	26	55
							700	22	56
		800				21	71		
		1000				21	84		
	竹チップ炭	600	15	93					
		700	21	45					
		800	24	79					
		1000	33	56					
竹チップ	竹チップ1	材	電気炉製	枝葉付き部	—	30	87		
	竹チップ2				—	33	74		
	竹チップ1			稈のみ部	—	18	65		
	竹チップ2				—	25	63		
その他	間伐材チップ	材	—	—	—	28	66		
	間伐材チップ炭	炭	自燃式窯	—	—	27	75		
	剪定屑炭	炭	自燃式窯	—	—	37	91		

	試料	材料等	炭・材別	炭化	竹齢	炭化温度	B値[×-10 ⁻⁴]	
					[年生]	[°C]	3g/l	1.2g/l
対照小片状試料群	竹炭A	過去に用いた試験体	炭	電気炉製	1	400	—	100
					6		—	96
					1	600	—	101
					6		—	122
					1	800	—	128
					6		—	112
					1	1000	—	109
					6		—	145
	竹炭B	過去に用いた試験体	炭	電気炉製	1,2	600	—	116
					3~5		—	133
					1,2	800	—	112
					3~5		—	133
					1,2	1000	—	129
					3~5		—	150
	その他	モウソウチク	材	—	—	—	—	172
		ヒノキ心辺材混合		—	—	—	—	124
スギ心辺材混合		—		—	—	—	117	
ドラム缶窯モウソウチク炭		炭	ドラム缶窯	—	推定700	—	146	
備長(1.67g/l)		炭	白炭窯	—	推定400	—	142	
スギ、ヒノキ炭		炭	電気炉製	—	700	—	87	
クヌギ炭		炭	土窯	—	1000	—	104	
—		—	—	推定600	—	98		

	試料	材料等	炭・材別	炭化	竹齢	木炭精錬計による精錬度	B値[×-10 ⁻⁴]	
					[年生]		3g/l	1.2g/l
市販竹炭	モウソウチク炭	炭	自燃式窯	—	10	—	154	
				—	3.9	—	129	
				—	7.4	—	144	
				—	6.6	—	130	
				—	1.6	—	131	
				—	6.4	—	112	
				—	7.4	—	140	
				—	5.9	—	94	
暖竹炭	炭	自燃式窯	—	—	—	—		

B値は試料の性状よりも、試料の量及び形状（大きさ）に左右されることが判明した。このことは、炭材等のB値を調査した栗本（2002）や鹿野（2004）の報告とも一致する。

いずれにしても、チップ形状であることは、その表面積の大きさから、吸放湿性能及びB値が示す調湿性能を向上させる。さらに、吸放湿ヒステリシスの低さ（すなわち繰り返し吸放湿性能の高さ）やカビ発生の防止の観点を考慮すると、今回試行した材料の中では、700℃炭化の竹チップ炭が調湿材としての利用には最適であると思われる。

参考文献

- 鹿野厚子(2004) 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. 岩手県林業技術センター研究報告12:7-11.
- 栗本康司・鹿野厚子・高妻洋成・則元京・澤辺攻(2002) 木炭の調湿能力. 木材工業57:392-397.
- 松岡真悟・豊田信行・得居輝(2005) 調湿材としての竹炭の製造方法と性能. 愛媛県林業技術センター研究報告23:1-10.
- 木材居住環境ハンドブック(2001) 温熱・湿気環境編(岡野健ら編集), pp.66-77. 朝倉書店, 東京.