

やってみませんか

平成 16 年 2 月



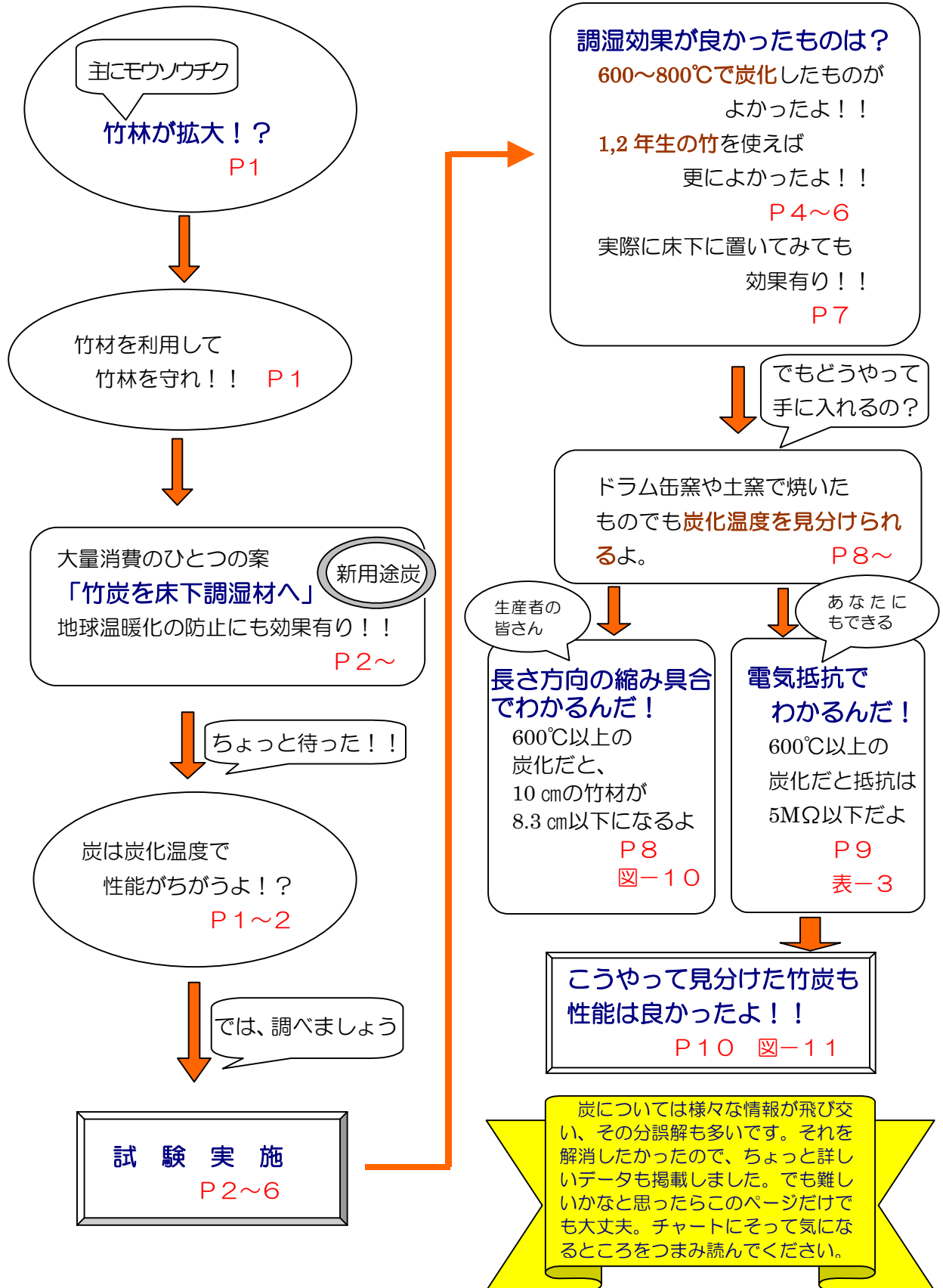
林業一日体験学習での炭焼きの様子

No. 9 竹炭を床下調湿材に使ってみませんか

[目次]

○ ひと目でわかる今回のやってみませんか	
1. はじめに	1
2. 竹炭の調湿材への適応試験	2
3. 実証試験で確認	7
4. ドラム缶窯などの中山間地域的炭焼きへの応用	8
5. おわりに	10
6. 参考文献・参考書籍等、用語説明	11

ひと目でわかる！？今回のやってみませんか



竹炭を床下調湿材に使ってみませんか

1. はじめに

最近、炭がブームになっていますね。これは皆さんが、炭の燃料としての利用以外の面に興味を持ち、また実際に体験したからでしょう。この燃料用以外の新たな効能を期待されて用いられる炭を“新用途炭”といいます。

中国からの白炭の輸入がストップしましたが、このことで、9割を輸入に頼っていた、うなぎ蒲焼や焼き鳥用の白炭をどうするか。国産の炭は売れるようになるのか。こんな問題も起こりつつ、いま“炭”は熱いときを迎えています。

それはさておき、皆さんも炭の効能にはいろいろあることはもうご存知でしょう。でも、それを過信しすぎて、炭を「魔法のアイテム」のように思っていないですか。**炭の性能は、その炭化温度の違いによって大きく変わり、それによって適正な用途も生まれてきます。**

ここでは、炭の吸着性能に期待し、湿気を吸ったり吐いたりして生活環境を守ってくれる「調湿材」としての利用を考えます。

竹林の拡大で厄介者の危機！？

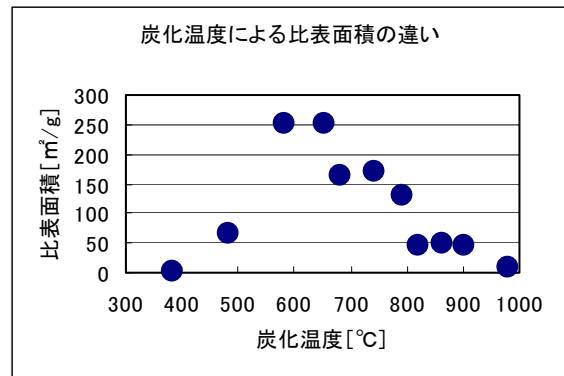
ところで、県内でも竹林（主としてモウソウチク）が拡大傾向にあり、造林地への侵入などが危惧されているのはご存知ですか。このままでは竹が厄介者にされてしまいます。適正な管理をしてやれば、竹は非常に有用なものです。その適正な管理には竹材の利用が欠かせません。

そこで、今回は竹材の大量消費をねらって、竹炭で調湿材を仕立ててみました。

炭化温度の違いで構造が異なる

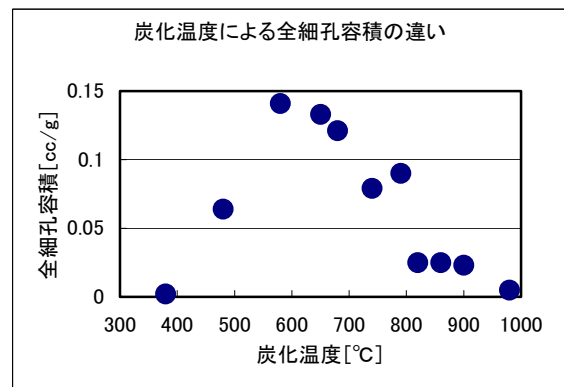
その前にここで、炭化温度の違いによる炭の構造の違いを見ておきましょう。

炭化温度の違いで、炭の構造は大きく異なります。それは「炭の孔」の違いです。



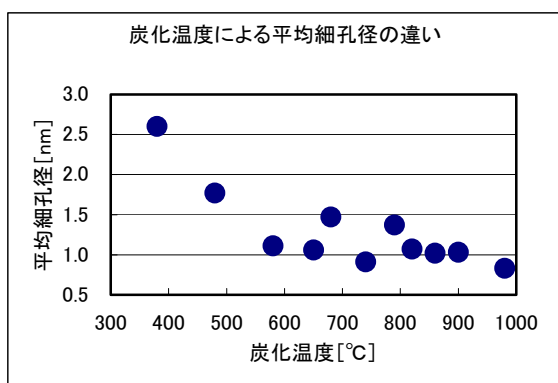
比表面積というのは、単位質量当たりの孔の表面積のことで、よく畳何枚分などの表現で言われるものです。

多いものでは、炭1gあたり畳150枚分



細孔容積とは、炭の孔の容積のことで、エンジンのピストンでいえば、排気量のことです。

この勘定でいくと、多いものでは1リットルの水も7kg弱の炭に全部おさまる計算になります。

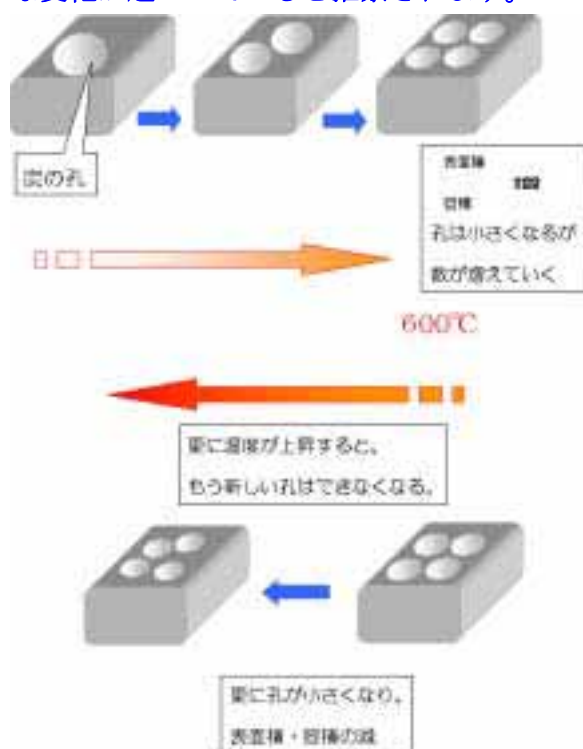


炭の孔の直径です。

一番小さいものでは、**1mm の 100 万分の 1 よりも小さいです。**

以上、これらのデータは、鹿児島県工業技術センターの試験研究結果を引用したもので、松永一彦ら（1999）モウソウチクの炭化生成物と竹酢液の物性について「鹿児島県工業技術センター研究報告」No. 13 p28 表 7 のデータをグラフ化したものであり、5 年生の竹を昇温速度 2°C/min、保持時間 3 時間、窒素ガス 100ml/min 流入雰囲気中で炭化したものです。

まとめると温度の上昇とともに次のような変化が起こっていると推察されます。



2. 竹炭の調湿材への適応試験

調湿材は主に床下への利用が挙げられますが、これは炭の新用途のひとつであります。

ここに竹材を用いることで、竹林管理の活性化を図ろうとするものですが、竹の成分や材質というものはその齢によって異なります。また、竹林管理にはどうしても竹齢というものがついてきますので、ここでは、炭化温度の違いとともに、使用竹材の竹齢についても加味しました。

さて、ここからは、林業技術センターで行った試験の結果についてお話しますが、まず炭化装置について、皆さんは土窯とかドラム缶窯を想像するでしょうが、今回は「電気炉」という、電熱線で熱を与え炭化し、さらに温度制御ができる機械を使用しました。

炭化した竹材の竹齢は

竹材は、県内の竹齢管理された 2 箇所のモウソウチク林から採取しました。

A 竹林からは、**1, 2, 3, 4, 6 年生**

B 竹林からは、**1, 2, 3~7, 8, 9, 10, 11 年生**

のモウソウチクを 2 本ずつ採取しました。

炭化温度は

最高温度 **400, 600, 800, 1000, 1200°C** の 5 段階で炭化した（昇温速度 15°C/min、最高温度保持時間 1 時間後自然冷却、B 竹林分は、500ml/min で窒素ガスを流入）。

調湿性能を調べるには

調湿とは湿度を調節するということですが、重要な因子は主に、

- i 吸う水分の量 (吸湿量[有効吸湿量])
 - ii 水分を吸ったり吐いたりする速さ (湿度変化への反応性)
 - iii 吸放湿繰り返しへの再現性 (吸放湿ヒステリシス)
- の3つです。

吸湿量及び吸放湿ヒステリシス (試験Ⅰ)

特に梅雨時期には、床下の湿度は100%近くになり、木材に悪影響を及ぼす可能性が高くなります。

そこで、低湿から高湿状態までを把握するために、試験的に**湿度 45%及び100%**の環境で、吸放湿試験をしました。

用いた試験体 (写真-1) は、全乾重で約1gの竹炭を、

試験Aでは200体 (1,2,3,4,6年生のモウソウチクを2本ずつ伐採し、1本の竹から、温度別5段階×採取節間別に4個=20個採取)

試験Bでは90体(1,2,3~7,8,9,10,11年生のモウソウチクを2本ずつ伐採し、温度別に5段階分採取※試験Aの結果から、採取節間での明確な差が無かったためにここでは省略しました。)

また、B試験の3~7年生については、目視により新~中~古を判別し、それぞれ3.5, 5, 6.5年生としました。これらの試験体を、

全乾状態 (水分無し)

①

湿度 45%中にて飽和状態

②

③

湿度 100%中にて飽和状態

のように各湿度条件の中で移動させ、水分を吸収 (①②) あるいは放出 (③) できるだけ吸放湿させました。

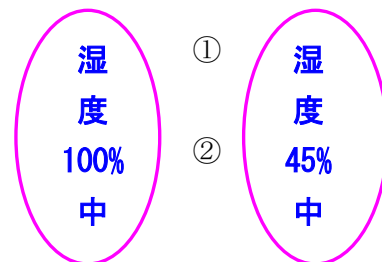
この試験で、先述の、

「i 吸う水分の量 (吸湿量[有効吸湿量]) 及びiii 吸放湿繰り返しの再現性 (吸放湿ヒステリシス)」がわかります。

吸放湿反応性 (試験Ⅱ)

今度は、先述の「ii 水分を吸ったり吐いたりする速さ (湿度変化への反応性)」を次のように調べました。

湿度 75%中にて飽和状態の竹炭を



のように1日 (24時間) ごとに入れ替え、その増減の幅の大きさを測りました。

(「湿度100%時含水率-湿度45%時含水率」=吸放湿差とした。)



写真-1 竹炭試験体

試験に用いたモウソウチク炭です。水分の無い状態で、約1gに統一しました。

竹炭の材質調査 (試験Ⅲ)

また、これらについて全乾密度測定も行いました。

炭化温度の違いによる吸湿量とヒステリシス（試験 I 結果）

ヒステリシスは、吸湿後に放湿させたときに、どの程度吸湿前の状態にもどるかということで、繰り返し使用することへの再現性のために重要です。

さて、有効吸湿力が高かったのは何度で焼いた竹炭だったのでしょうか。また、ヒステリシスが小さかったのは何度で炭化したものだったのでしょうか。図-1, 2を見てください。図の見方は次の図のとおりです。また、有効吸湿量とは、床下の年間の湿度変化を考えて、湿度45%から湿度100%までの間で吸収する水分の幅のことです。

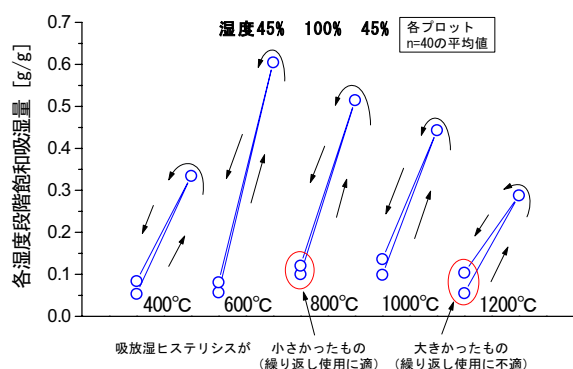
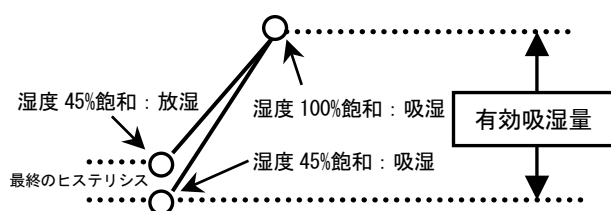


図-1 A試験の吸湿量及びヒステリシス

図-1のA試験の結果では、有効吸湿量は、600°C及び800°Cで良好でした。1000°Cでも良い結果でしたが、特に、600°Cと800°Cでは、ヒステリシスも小さく、調湿能が高いといえます。

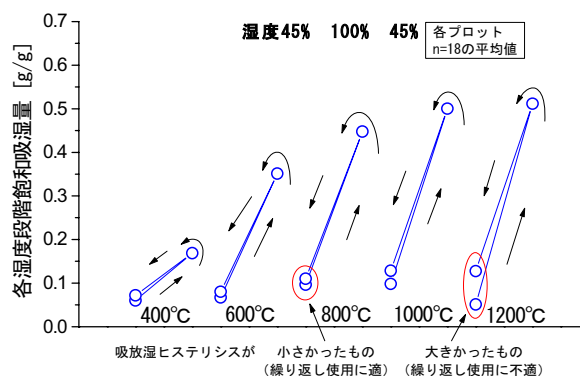


図-2 B試験の吸湿量及びヒステリシス

図中縦軸の単位[g/g]は、全乾重量1g当りの竹炭が持っている水分の量[g]のことであり、含水率とも置き換えられます。

図-2のB試験の結果では、有効吸湿量は800~1200°Cで良好でした。ただ、ヒステリシスが小さかったのはやはり600°Cと800°Cであり、総合して、**600~800°Cで炭化したもので調湿能が高い**のではないかと判断しました。

A試験とB試験の有効吸湿量では600°Cと1200°Cがまるで逆ですね。これについては、試験中の観察結果から次のことを考えました。

A試験の600°Cでは、非常に密度の低い、若竹の竹炭で、吸湿を乗り越えて“吸水のような状態”になっていたものがありました。B試験の1200°Cでは、100%吸湿中に、表面に（ケイ酸分と思われる）白い粉の噴出しがあり、この物自体が吸湿していた可能性があります。そのため、放湿しても元の状態には戻りにくかったのではないかと考えます。

それだけ600°Cと1200°Cでは安定性に欠けるといえるでしょう。しかしながら、600°Cでは、先に紹介した「構造の違い」においても性能が良かったこともあり、期待できると考えられます。

吸放湿反応性（試験Ⅱ結果）

では、もう一つの要素である、湿度変化に対する反応性について見てみましょう。さて、600～800℃で炭化したものは反応性が良かったでしょうか。表－1，2を見てください。

表－1 A試験反応性結果

炭化温度	95%-45%吸放湿差平均[g/g]		
	全体	1,2年生	3,4,6年生
400	0.049	0.084	0.025
600	0.093	0.146	0.058
800	0.075	0.114	0.049
1000	0.042	0.046	0.040
1200	0.040	0.044	0.037

表－2 B試験反応性結果

炭化温度	95%-45%吸放湿差平均[g/g]			
	全体	1,2年生	3,5,5年生	6,5-年生
400	0.030	0.038	0.029	0.028
600	0.058	0.077	0.050	0.053
800	0.054	0.085	0.043	0.047
1000	0.050	0.065	0.050	0.044
1200	0.044	0.055	0.040	0.041

注) 6.5-は、6.5年生以上の全部

反応性でもA試験、B試験ともに600℃と800℃が良好でした。やはり700℃付近で炭化した竹炭が、調湿能が高く調湿材として適当といえます。

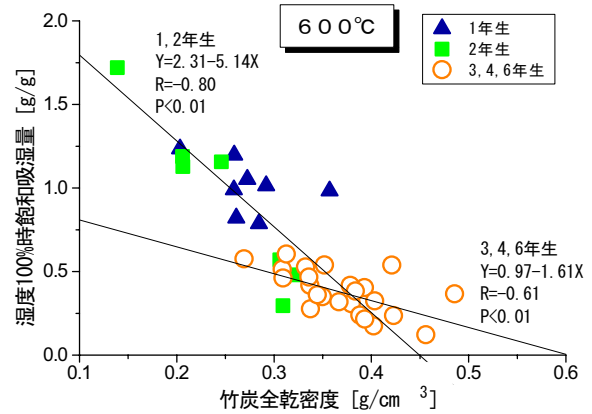
炭化温度以外で性能に影響を与えるもの (試験Ⅲ結果)

ところで、表－1，2をもう一度よくみてください。特に600℃と800℃において1,2年生の若い竹のほうが、その他よりも高い値が出ていますね。

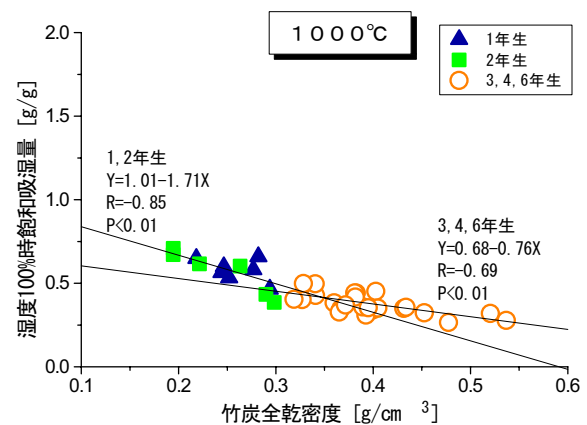
実は、吸湿量においても若い竹で良好なのは同じ傾向でありまして、では、炭の何の違いと関係があるのかというところで、「密度との関係が高い」ことがわかりました。

密度は、物性の基本であり、また炭化温度が高い炭ほど密度も高くなります。

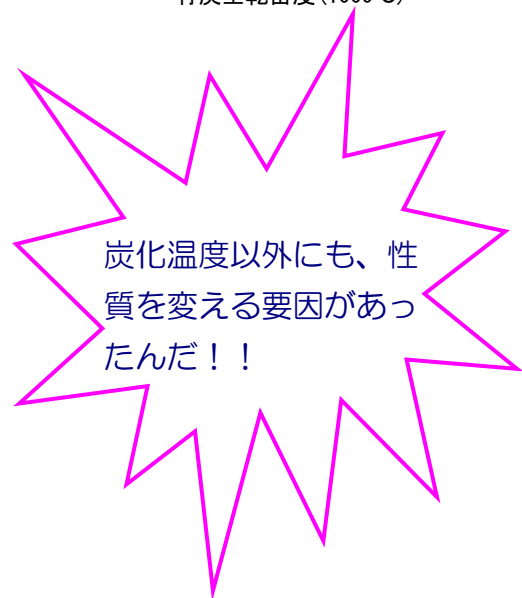
なんと、同じ炭化温度のグループの中では、「密度が低いほど湿度100%中での吸湿力が高い。」という傾向が強く出ました。次の図－3～6で確認しましょう。



図－3 A試験 100%時飽和量と竹炭全乾密度 (600℃)



図－4 A試験 100%時飽和量と竹炭全乾密度 (1000℃)



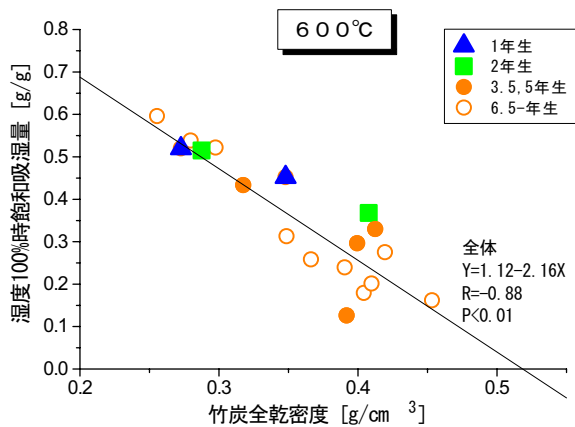


図-5 B試験 100%時飽和量と竹炭全乾密度(600°C)

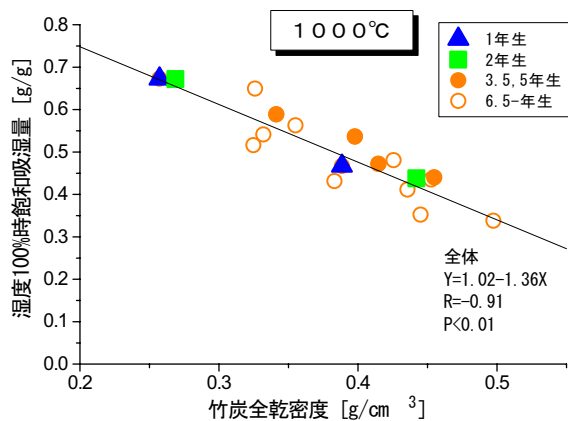


図-6 B試験 100%時飽和量と竹炭全乾密度(1000°C)

全体をとおして、1，2年生の若い竹の竹炭では、密度が軽くて（スカスカ）、よく水分を吸っていることがわかります。特にA試験（図-3，4）ではその傾向が強く、1，2年生のものと、3～6年生のものとは全く違う様子がうかがえます。また、B試験（図-5，6）の結果でわかるように、竹齢が6年生を超えると、性質にバラツキがあり、傾向はつかめませんでした。

これらのことから、「竹炭は、密度が軽いほうが吸湿力が強く、1，2年生の若い竹が有利である。」といえます。

ただし、図中の直線を見ていただくと、600°Cよりも1000°Cのほうがその傾きが小さいですが、これは、炭化温度が高いほど密

度の影響を受けることが少なく、より一定で安定した吸湿力を得られるということになります。

600°Cと800°Cでは、竹齢と竹炭の密度に大きく影響を受け、1000°C、1200°Cの高温では、この影響も小さくなっていったようです。

これらの結果をまとめると

- 700°C（600～800°C）で炭化した竹炭は、i 吸湿量 ii 湿度変化への反応性 iii 繰り返し利用への再現性が高く、つまり調湿性に優れており、特に1，2年生のモウソウチクを炭化したものが有効であった。
- 900°C（800～1000°C）で炭化した竹炭でも、ある程度の調湿性を持ったうえで、その調湿性は、あまり材質（竹齢、密度）に関係なく比較的安定したものであった。



一つの考え方としては、最高温度が800°C程度といわれるドラム缶窯など、中山間地域の炭焼きでは、1，2年生のモウソウチクを選び炭化。製品の大量生産・性能安定性が求められる工業的炭化では、雑多なモウソウチクを900°Cで炭化。が良いのではないのでしょうか？

※若い竹の竹炭は、密度が軽い分“かさ”が増すけれど、炭の価格が重量で決まる場合は、重量当りの吸湿量が多いほうが有利！？

3. 実証試験で確認

今までの結果を踏まえ、竹炭を入れたポリ容器をコンクリート基礎1階建て住宅の床下に置き、そのポリ容器内の湿度変化を、竹炭を入れない空容器の湿度変化と比べてみました。

竹炭は、1, 2年生モウソウチクの700°C炭化のものを用いました。その結果を図-7～9に示します。

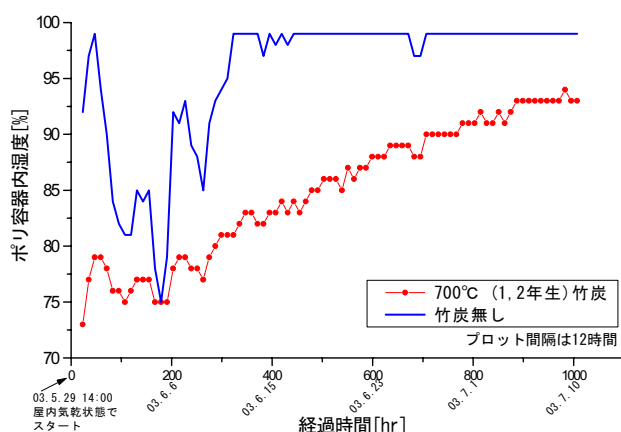


図-7 湿度変化の比較 (初期)

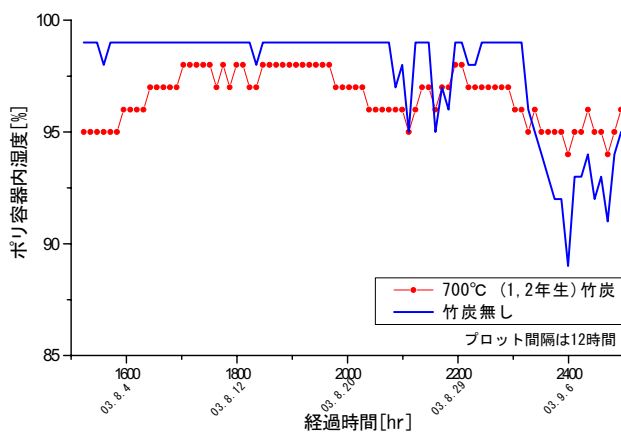


図-8 湿度変化の比較 (夏季)

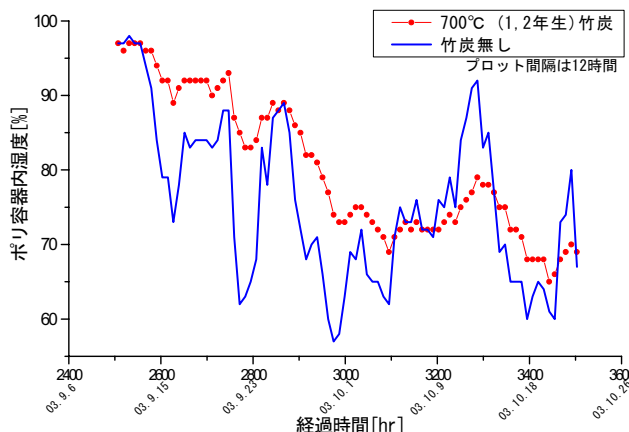


図-9 湿度変化の比較 (秋季)

このように、竹炭を入れた環境では、湿度が100%近くになる夏場(図-8)でも最高で湿度97%程度に抑えることができました。また、秋季(図-9)には、湿度の大きな変化を、炭の吸放湿によって滑らかにしています。

これらのことで、結露を抑え、床下の木材へのダメージも抑制できると考えられます。

今回は500ml容器に30g程度の竹炭を入れていましたが、竹炭量が多ければもっと効果があると思われます。

良い竹炭がたくさん使われるといいな。

4. ドラム缶窯などの中山間地域的炭焼きへの応用

さて、700℃程度で炭化された竹炭を、どのように手に入れればいいのでしょうか。

工業的に作られたものであれば、決まった炭化温度のものが簡単に手に入りますが、土窯やドラム缶窯ではどうでしょうか。

土窯やドラム缶窯では、その炭化温度を計測しようと思えば専用の機械が必要であるし、また、窯内部の温度には非常に幅があります(500℃～800℃)。更に、このなかで、600～800℃で炭化される竹炭は、全体量の20%も無いとされています。

このような状態の中で、この希少な600～800℃炭化竹炭をきっちり選びとるには次のような方法を考えます。

- I 長さ方向の収縮率で判別
- II 電気抵抗計で判別

長さ方向の収縮率で判別するには

炭化後の収縮率が、炭化温度によって異なるのは写真-2に見るとおりです。では、数字で表すとどのようなになるでしょう。

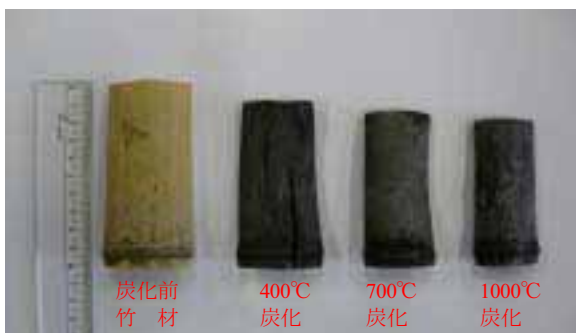


写真-2 炭化温度による収縮の違い

縦に4分割したモウソウチク材を、400℃、700℃、1000℃で炭化しました。

先述の吸湿試験に用いた竹炭で、炭化後の長さ方向の収縮率を測りました。

その結果、(節を除いた状態での)炭化温度別収縮率は図-10のようになりました。

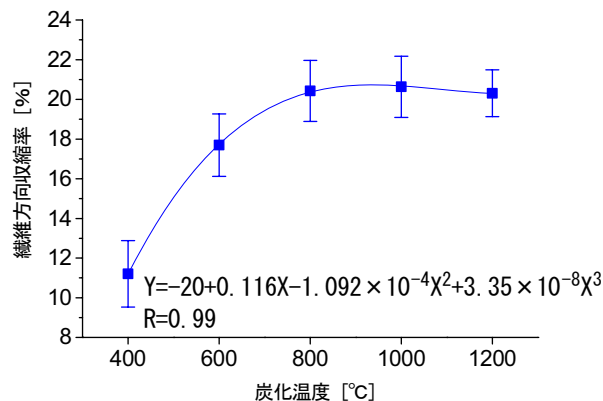


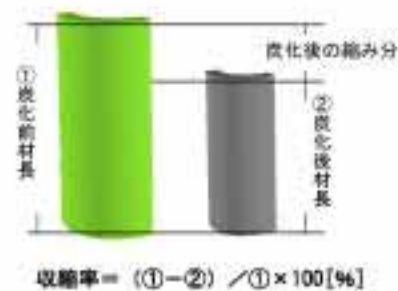
図-10 炭化温度による炭化後の長さ方向収縮率

注-1) A試験の全竹齢分の平均値と標準偏差について示しました。

注-2) 竹齢による差異はみられませんでした。

注-3) A試験とB試験では、600～800℃についてはほとんど同じ値を示しました。

“計算によると”
長さ10cmの縦
割り竹材が
700℃で炭化され
ると長さ8.1cm
の竹炭ができる計
算です。



土窯やドラム缶窯で焼かれる最高の温度である800℃まででは、長さ方向の縮み具合に顕著な差が出ます。

つまり、節を除き、長さをそろえた竹材を炭化し、後から収縮率を計ってやればある程度の炭化温度が判別できます。

この場合、竹材は短いほうが良いと思われます。長さのあるものでは、1本の竹炭の中での性質(炭化温度)のバラツキが大きくなってしまいます。

電気抵抗計で判別するには

炭は電気を通します。これは、炭が炭素のかたまりだからです。炭化温度が高いほど炭素純度が高い炭となり、電気を良く通します。つまり電気抵抗が高い炭は、炭化温度が低い炭といえます。

この性質を利用して、炭の“**精錬度**”を計る機械に「木炭精錬計」というものがあり、林業技術センターでも使用しているところですが、皆様でも、市販の電気抵抗計（電気テスターと称されるもの）で、ある程度は判別することができます。

写真－3、4は、その市販のもの（40MΩ用）を用いて電気抵抗を計っている様子です。



写真－3 400°C炭化竹炭の電気抵抗測定



写真－4 700°C炭化竹炭の電気抵抗測定

400°C（写真－3）では抵抗が高すぎて測定不能ですが、700°C（写真－4）では測定値が表示されています。

注）竹炭では、表面と裏面で電気抵抗が異なります。

今回紹介しているものは、すべて竹炭の側面にて計測しています。

先述の調湿用試験体について、この電気抵抗測定をした結果から、次のような目安を設けました（表－3）。

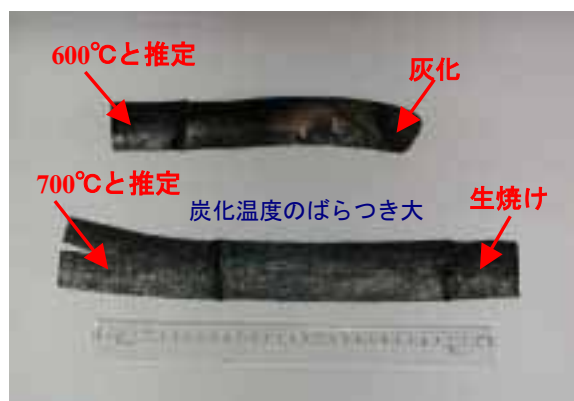
表－3 電気抵抗値と推定炭化温度の目安

電気抵抗値 (Ω)	炭化温度の目安
5－20	800°C
50－200	700°C
2k－5M	600°C
10M以上	低温炭

この目安から、ドラム缶窯で焼かれたモウソウチク炭（写真－5）を電気抵抗測定し、600～700°Cで炭化されたと推定される部分を切り出し、「全乾 湿度 100%吸湿 湿度 45%放湿」の試験を行いました（図－11）。

ここで注意点を一つ！！

写真－5のように竹炭は、長いものでは箇所により電気抵抗が全く異なります。窯の中の温度分布によるものですが、この意味からも、後に炭化温度の推定を行う場合は、炭化する竹材は短いほうが良いといえます。



写真－5 ドラム缶窯製竹炭の様子

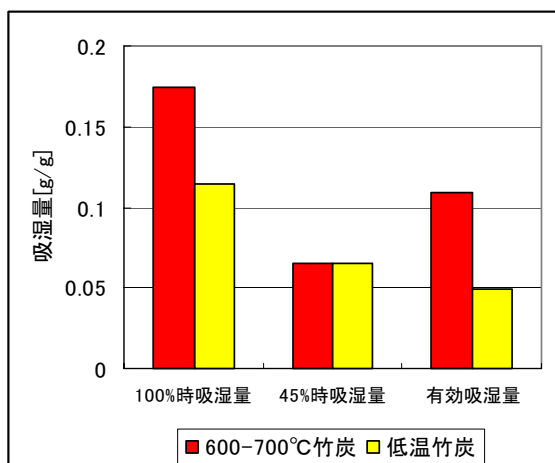


図-1 1 推定 600-700°C竹炭と推定低温竹炭の吸湿量比較

図-1 1のように、ドラム缶窯製の竹炭でも、**600~700°Cと推定された炭では、低温炭よりも高い有効吸湿量**を示しました。

600°C未満で炭化された低温炭は、床下調湿材としては不適當です。

また、電気炭化炉を用いた先述の調湿試験において、**400°C炭化の竹炭では、湿度100%中での吸湿の間に“カビが発生”**した経緯がありました。これも炭化条件や調湿条件の微妙な差異により異なるのかもしれませんが、600°C未満の炭化では、竹炭中に多くの有機物を残しており、これがカビの栄養分になりかねません。さらに、主に低温竹炭を高温で乾燥するような場所で使用すると、自然発火の危険性があるとも言われています。これらの点にはご注意ください。

5. おわりに

炭は、炭化温度により構造・成分含有率が異なり、そのため性能に差異が生じます。

成分含有率については今までご紹介していませんでしたので、ここで少しお話しますと、成分含有率が違うことで例えばpHが異なります。技術センターでの測定の結果、スギ・ヒノキの木炭では400°Cで弱酸性から弱アルカリ性を示すのに対し、700°C以上の炭化では、pH9以上のアルカリ性を示しました。ただ、竹炭では400°C以上のどの炭化温度でもpH9以上のアルカリ性を示しました。

話を戻しますと、この性能の違いを把握し、**適材適所に用いることで、竹炭は「魔法のアイテム」以上の性能を発揮**することでしょう。

ただ、ここでお断りしたいのは次の点です。炭の研究は全国各所で様々に行われていますが、研究ごとに結果が若干異なっており、未だに決定的な評価が下されていないのが現状です。今回の試験におきましても、炭化温度と竹齢の違いについて検討しましたが、竹材の性質も土地によって様々でしょうし、炭化温度だけではなく、炭化温度の上昇速度などによっても炭の性能は異なってきます。そのような中、今回の700°Cで炭化したものが良好であるという結果は、ある程度他の研究とも合致しており、信頼できるものと思いここに発信いたします。

竹材を炭化利用し、新用途炭として用いることは、炭素を固定し、地球温暖化防止の一助ともなります。ぜひ皆様、

竹炭の性能を調べて

床下調湿材として

使ってみませんか。

【参考文献】

○松永一彦、新村孝善、西和枝、神野好孝、國生徹郎(1999)モウソウチクの炭化生成物と竹酢液の物性について、鹿児島県工業技術センター研究報告13、23～30

・・・一部引用

○野村隆哉ら(1984)竹林施業と竹の生産量及び材質に関する研究、S57林試研報24、264～281

○西田豊昭ら(1990)マダケの化学的成分の経年変化、森総研関西支所年報31、27

○溝口忠(2002)竹炭によるフライ油の熱酸化防止効果、林業技術シンポジウム35、47～52

○藤原敏ら(2003)竹炭の炭化条件とガス吸着特性、Bamboo Journal 20、68～76

【参考書籍等】

○谷田貝光克、山家義人、雲林院源治(1991)わかりやすい林業研究解説シリーズNo.98「簡易炭化法と炭化生産物の新しい利用」、財団法人林業科学技術振興所

○炭焼きの会編(1991)環境を守る炭と木酢液、社団法人家の光協会

○財団法人日本住宅・木材技術センター(1997)木炭を生かすー床下調湿資材としての木炭の活用ー

○岸本定吉監修、池嶋庸元著(1999)竹炭・竹酢液のつくり方と使い方、社団法人農山漁村文化協会

【用語説明】

○中国産木炭
中国産木炭の輸出は直径4cm以上、長さ10cm以上のものについて8月1日から輸出禁止になっています。白炭では、約9割が中国からの輸入でした。

○床下調湿材(剤)
床下は高い時期では湿度が100%近くになり、結露を起こし、床下に使用する木材にダメージを与えます。それを防止するために床下に敷設するもので、吸湿性に優れた材質のものを用います。

○新用途木炭
燃料以外での利用を目的とする木炭であり、吸湿や土壌改良、電磁波遮蔽など多岐にわたります。

○平均細孔径[nm]

炭の孔の紹介での図中の単位[nm]は、「ナノメートル」であり、n(ナノ)は“10⁹”です。

○電気管状炉

電熱線によりステンレス容器の周囲を熱し、その管内の材をほぼ密閉状態で乾留する装置です。

○竹齢

竹の年齢をここでは、「1年生=発生後1年以上経過」(春に発生したものを翌年の6月に伐採しましたが、それを1年生。)としました。

○全乾状態と竹炭の全乾密度、含水率

全乾状態とは、水分が全く無い含水率0%の状態のことです。含水率は、今回は全乾重量を分母に置く乾量基準で示しており、計算式は次のとおりです。

$$\text{(有水分状態重量-全乾重量)} \div \text{全乾重量} \times 100[\%]$$

炭の全乾密度は、浮力法という方法で炭の体積(空隙を含む)を計り、また全乾重量も測定し、

$$\text{竹炭全乾重量} \div \text{竹炭体積} [\text{g}/\text{cm}^3]$$

で表しました。

○ケイ酸(SiO₂)分

竹のようなイネ科植物はこれを多く含み、当然竹炭中にも含まれます。ケイ酸とは、水晶などの構成成分と同じでガラス質のものです。

○精練度と電気抵抗

精練度とは、炭の炭素純分が高いほど精練度が高いという表現になるように、炭の焼成度合いを示すものです。精練度の高い炭はよく電気を通しますが、電流が通りにくい炭は、残った有機物が電流を妨げる抵抗となっているからであり、それだけ精練度が低く炭化温度が低いということになります。そのため“電気抵抗の大きさ=精練度の低さ”となります。

文責：研究員 松岡真悟

やってみませんかNo.9

平成16年2月発行

愛媛県林業技術センター

〒791-1205 愛媛県上浮穴郡久万町菅生 280-38

TEL (0892) 21-2266 FAX (0892) 21-3068

E-mail: ringyo-cnt@pref. ehime.jp