

竹炭および竹建築ボードの吸着性能

小幡 透*, 日高富男**, 西 和枝***, 新村孝善***, 山角達也**, 西元研了*

Adsorption Performances of Bamboo Charcoals and Bamboo Boards for Building

Toru OBATA, Tomio HIDAKA, Kazue NISHI, Takayoshi SHINMURA,
Tatsuya YAMAZUMI and Kenryo NISHIMOTO

鹿児島県に広く分布する竹を炭化して得られる竹炭を吸着材として有効利用するために、炭化温度別の竹炭を製造し、その吸着特性を調べた。吸放湿試験では炭化温度 600℃以上の竹炭が高い調湿性能を有すること、ガス吸着試験では、アンモニアは低温炭化物が吸着速度が速く、トルエンは比表面積の大きな竹炭が吸着速度が速くなる結果となった。また、竹炭、グルコマンナンおよび竹繊維を原料とする竹建築ボードの吸放湿およびガス吸着性能は、混合する竹繊維の量に大きく依存した。

Keyword : 竹建築ボード, 竹炭, 調湿, ガス吸着, グルコマンナン

1. 緒 言

「炭焼き」は昔から各地で行われており、その方法は昔ながらの土窯から電気炉のような装置化された方法まで様々である。竹炭についても上述のような様々な方法で生産されている。その利用法としては、燃料はもとより土壤改良、水質浄化、床下調湿、脱臭など多様な用途で用いられている。それらの用途のうち吸着については上述の水質浄化、床下調湿、脱臭は、炭の持つ吸着機能が関与している。炭が水質浄化などの機能を持っていることは古くから知られており、18世紀後半に木炭がアンモニアなどのガスを吸着する力を持っていること、ワインの脱色に効力のあることが見出されている^{1), 2)}。

ところで、炭に吸着機能を持たせるためには多数のミクロ孔を生成させなければならない。したがって、火持ちが良く燃料に適する炭の中には、焼き締まっているために吸着に寄与する細孔が少なくなり、吸着能を望めないものもある。逆に、製造に失敗したようないわゆる消し炭のような軟らかい炭の方が吸着材として良いことも考えられる。

また、吸着には物理吸着と化学吸着があり、炭でも両方の吸着が起こっている。物理吸着は細孔容積等に起因するものであり、化学吸着は官能基等の影響によるものである。一般には吸着量への寄与は物理吸着によるところが大きく、物理吸着量が少なくなると化学吸着の寄与が影響するようになる³⁾。

鹿児島県の竹林面積は約16,000ha（平成19年度）で全国

の44%もの割合を占めているが、竹材の利用率は約10%に過ぎない（全国平均は約4%）⁴⁾。海外からの安価な竹材の輸入、代替資材の普及、労働力の減少などにより竹材の有効利用が行われていないのが現状である。豊富に存在する竹を有効利用するために、竹炭の吸着試験についての研究¹⁰⁾も行われている。著者らも竹炭の、特に吸着に関する研究に取り組み^{5)~9)}、近年では竹炭ボードや木炭ボードの開発も行っている^{7)~9)}。その中で、木質系廃棄物由来の木炭については炭化温度別の吸着性能評価を行っている⁷⁾が、竹炭についてはまだ炭化温度別の性能評価を行っていない。

そこで本研究では、異なる炭化温度で竹炭を製造し、各炭化温度における物性、特に調湿・ガス吸着性能を明らかにするとともに、竹炭、グルコマンナンおよび竹繊維からなる竹建築ボードの原料混合比と吸着特性との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 竹炭の製造

原料は5年生以上の鹿児島県産モウソウチク（県森林技術総合センターの試験林にて伐採）を用いた。適当な大きさ（長さ5~10cm、幅1~3cm）に裁断・乾燥後、図1に示す炭化炉（容量約440ml）を用いて約100ml/minの窒素気流中、炭化温度400~900℃（100℃毎）で竹炭を製造した。なお、この温度は炭化炉の温度制御における設定温度のことであるが、本報では炭化温度と表現する。炭化温度までは3℃/分で昇温し、炭化温度で3時間保持した。その後室温まで放冷して竹炭を取り出した。得られた竹炭は乾燥後、振動ミルにより粉碎した後さらに乾燥させ、以下の物

*化学・環境部

**木材工業部

***化学・環境部（現 素材開発部）

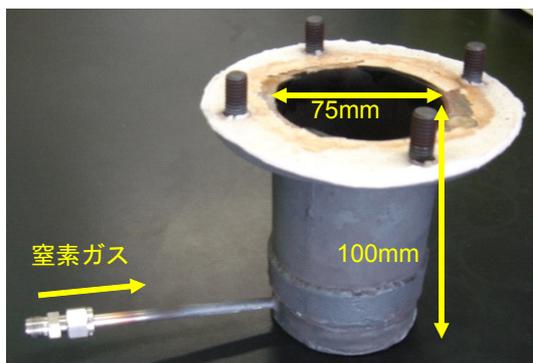


図1 外部加熱式炭化炉
上：炭化炉本体 下：装置全景

性試験等に用いた。

2. 2 物性試験

pH, 全炭素分, よう素吸着性能, 比表面積について, 文献⁷⁾の方法により竹炭の物性試験を行った。

2. 3 吸放湿試験

小型恒温恒湿器(タバイエスペック(株))を用いて, 温度25℃, 相対湿度50%(50%RH)および90%(90%RH)を2日間隔で繰り返した。特定の時間で重量を測定し, 絶乾重量と比較することにより試料の含水率を求めた。

竹炭の吸放湿試験においては, 絶乾状態の竹炭を秤量瓶に約1g量り取り, 50%RHの恒温恒湿器に静置し, 恒量になったところで90%RHに変更し, 試験開始とした。

竹建築ボードの吸放湿試験においては, ボードを100×100mmに切断して絶乾状態の重量を測定し, これを50%RHの恒温恒湿器に静置し, 以後は竹炭の場合と同様の操作で行った。なお, 切断面等の処理は特に行わなかった。

2. 4 ガス吸着試験

吸着ガスは, ホルムアルデヒド, アンモニア, トルエンを用いた。ホルムアルデヒド, トルエンは揮発性有機化合

物(VOC: Volatile Organic Compound)の一種であり, 厚生労働省が室内濃度指針値を策定した13物質にも含まれている。ホルムアルデヒドは接着剤等に使用されている場合があり, トルエンは塗料・接着剤等の溶剤として用いられている場合がある。また, アンモニアは悪臭物質の代表的なものであり, トイレ臭などとして知られている。

吸着試験は文献⁷⁾の方法で行った。なお, 吸着試験は20℃の環境で行った。

3. 結果および考察

3. 1 竹炭の物性

得られた竹炭の物性を調べた結果, 文献⁷⁾に示すとおり収率は炭化温度の上昇に伴い有機成分が消失するために減少傾向を示した。pHは有機成分が消失する際に酸性官能基も消失し, アルカリ金属やアルカリ土類金属の割合が増加するために高くなる傾向を示した。炭素分は, 熱分解により水素や酸素を含む有機成分が消失し, 炭素が固定化されるために高くなる傾向を示した。よう素吸着および比表面積は, 500℃を超えるあたりまで急激に増加し, 600~700℃のときに極大となった。これ以上の温度では細孔が焼き締まったために減少傾向になったと推察される。

次に, 細孔分布測定の結果を図2に示す。炭化温度の上昇に伴い, 矢印のようにピークが細孔径の小さな方へのシフトし, さらに高温炭化物では0.5nm(5Å)付近に新たなピークが出現した。このことから, 炭化温度が高いほど, より小さな細孔が発達していることが示唆された。

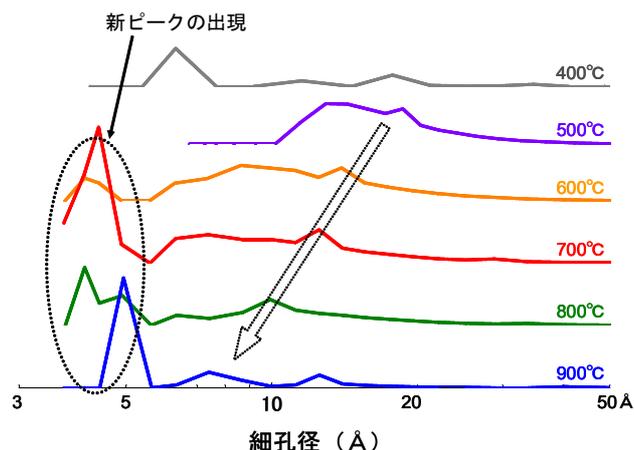


図2 炭化温度別竹炭の細孔分布(表面積の比較)

3. 2 竹炭の吸放湿試験

炭化温度別竹炭の吸放湿試験結果を図3に示す。炭化温度の上昇に伴い高湿度時, 低湿度時ともに含水率は高くなった。900℃の竹炭の比表面積は600~800℃の竹炭と比較して小さい値にもかかわらず⁷⁾図3で最も含水率が高い。

炭化物は炭化温度の上昇とともに焼き締まって細孔が小さくなる傾向があるために、比表面積測定装置の測定下限以下の小さな細孔が、高温炭化物になるほど多く存在し、これらの細孔に水分が吸着したことが含水率の上昇に寄与したのではないかと推察される。また、図3における高湿度時と低湿度時の差の平均を図4に示す。この差が大きいほど調湿効果があると言え、図4では600℃までは差が大きくなり、600℃以上の竹炭ではその差はほとんど変わらなかった。

3. 3 竹炭のガス吸着試験

2. 4項に示す3種類のガス（ホルムアルデヒド、アンモニア、トルエン）について吸着試験を行った。

ホルムアルデヒド吸着試験結果を図5に示す。炭化温度による吸着速度の差はほとんどなかった。ホルムアルデヒドの液性は弱酸性であることから、竹炭中のアルカリ金属等との化学吸着により塩基性の強い高温炭化物が吸着速度が大きくなると予想されたが、原ガス調整において液体試薬（ホルムアルデヒド液）を多量の空气中に蒸散させた

めに原ガスはほぼ中性となるために、化学吸着の影響は見られなかったと推察される。

アンモニア吸着試験結果を図6に示す。炭化温度の低い方が吸着速度が大きく、炭化温度400℃の竹炭はその差が顕著であった。原ガス調整に用いたアンモニア液は塩基性であり、原ガスも塩基性を示した。また、低温炭化物は完全に炭化されていないために酸性成分が残存していることが推察される。そのために、物理吸着に加え酸性成分とアンモニアとの化学吸着も起こるために炭化温度400℃の竹炭の吸着速度が大きかったと考えられる。

トルエン吸着試験の結果を図7に示す。トルエンの液性およびガスは中性であるために、化学吸着は起こらず物理吸着だけが考えられることから、比表面積や細孔容積が吸着速度に影響すると考えられる。特に吸着初期の段階で比表面積の大きな炭化温度600～900℃の竹炭の吸着速度が大きく、比表面積の小さな炭化温度400℃の竹炭は吸着速度が小さくなった。

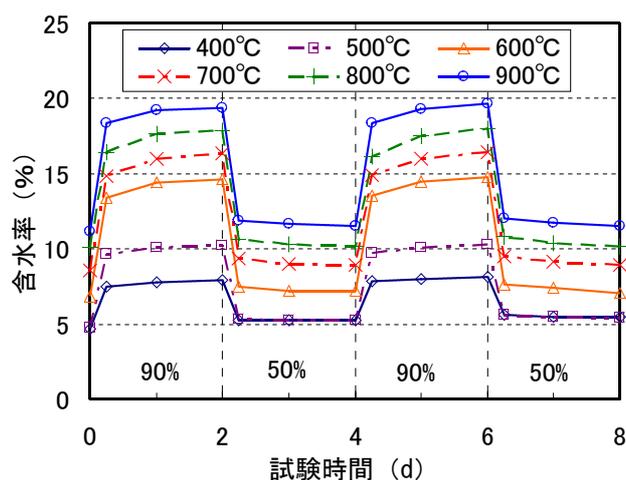


図3 竹炭の吸放湿試験

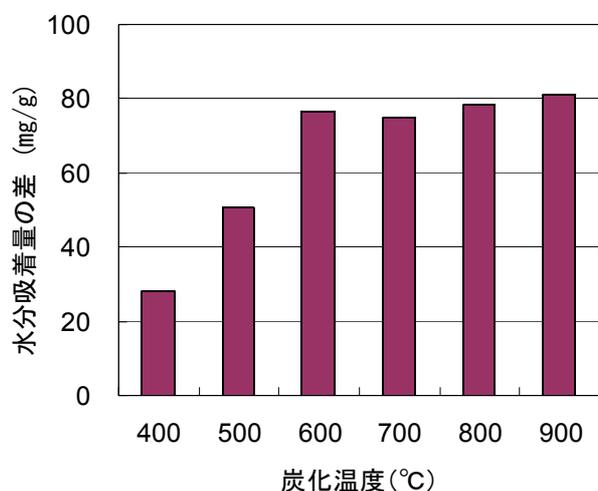


図4 湿度変化における竹炭の調湿効果

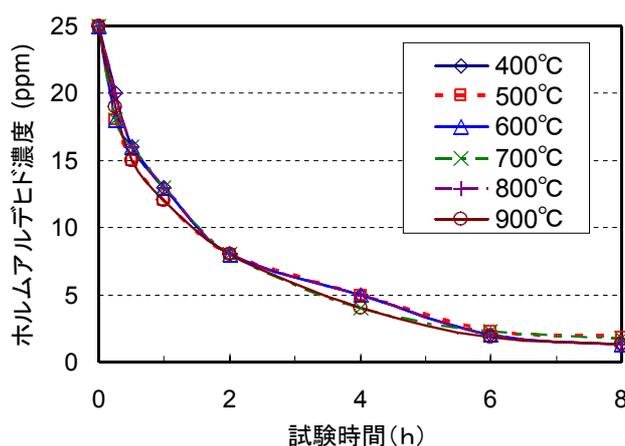


図5 竹炭のホルムアルデヒド吸着試験

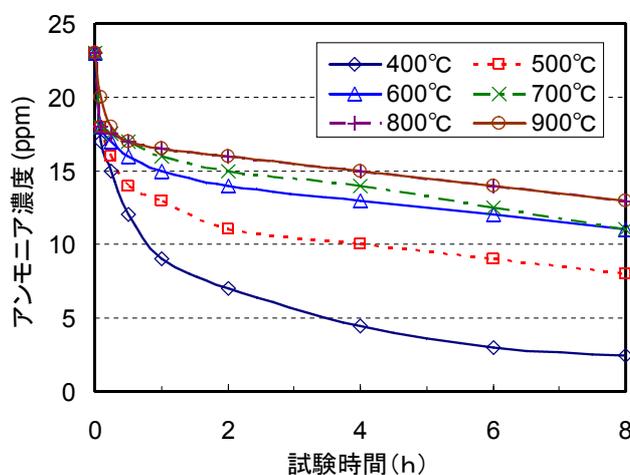


図6 竹炭のアンモニア吸着試験

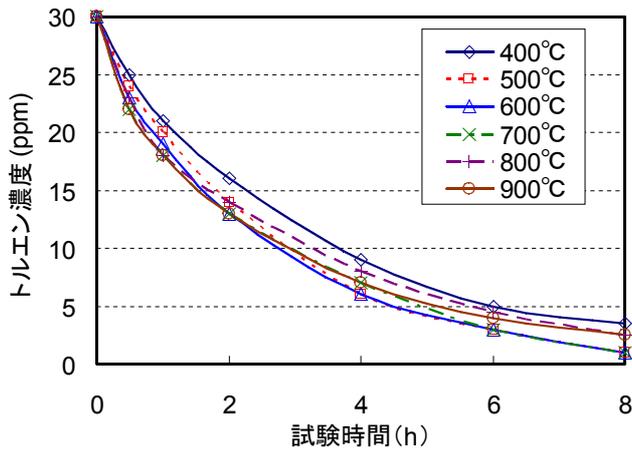


図7 竹炭のトルエン吸着試験

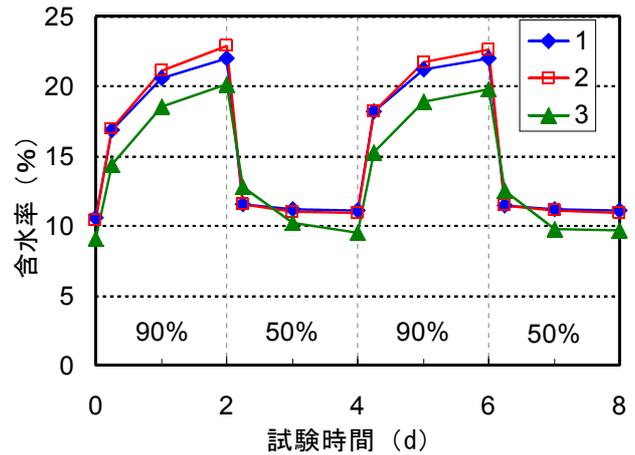


図8 竹建築ボードの吸放湿試験

3. 4 竹建築ボードの吸着性能

吸着試験に用いる竹建築ボードは、市販の竹炭(表1)、グルコマンナン、竹繊維に水を加えて攪拌し、5MPa、100℃、10分の条件でプレス成形して製造した。原料の組成を表2に示す。竹炭量を固定し、竹繊維量を変動させ、グルコマンナンは全体の10wt%になるように加えた。

なお竹繊維は、モウソウチクをオートクレーブを用いて1MPaで15分間蒸煮処理したのち、ハンマーミルで粉砕して得られたものを、2mmの篩で竹粉を篩別し、篩上に残ったものを用いた。

3. 4. 1 竹建築ボードの吸放湿試験

表2に示した組成により製造した竹建築ボードの吸放湿試験結果を図8に示す。竹繊維量の多いNo. 3は他の2つと比較して含水率、調湿性能ともに低くなり、特に高湿度時にその傾向が顕著に現れた。

このような差が出る要因として、竹繊維由来の糖分の影響が考えられる。竹の蒸煮処理時にオートクレーブ内の温度が約170℃まで上昇するために、ヘミセルロースが分解

して糖分が生成¹¹⁾し、竹繊維の表面等に付着していると考えられる。ボードを製造する際、原料混合時に水を加えることから、水溶性である糖分が水に溶解し、原料全体に拡散される。この原料をプレス成形することによりボードを製造するために、細孔入口や細孔内が糖分により塞がれている可能性がある。また、竹繊維や糖分は親水基を多く有しているために、水分子が細孔入口周辺で竹繊維や糖分と化学吸着を起こすと、細孔内部まで進入できないことも考えられる。これらのことから、竹繊維量が多くなると水分吸着能が低下したと推察される。

3. 4. 2 竹建築ボードのガス吸着試験

2. 4項に示す3種類のガス(ホルムアルデヒド、アンモニア、トルエン)について吸着試験を行った。

ホルムアルデヒドの吸着試験結果を図9に示す。竹繊維の量が多くなると吸着速度が小さくなった。3. 4. 1項で前述のように、糖分の影響により細孔内に進入して吸着するまでの時間がかかるために吸着速度が小さくなったものと推察される。

表1 市販竹炭の物性

全炭素 (%)	pH	よう素吸着性能(mg/g)	比表面積 (m ² /g)
88.3	10.0	150	75

表2 竹建築ボードの組成

No.	竹炭 (g)	グルコマンナン (g)	竹繊維 (g)
1	300	30	0
2	300	33	30
3	300	45	150

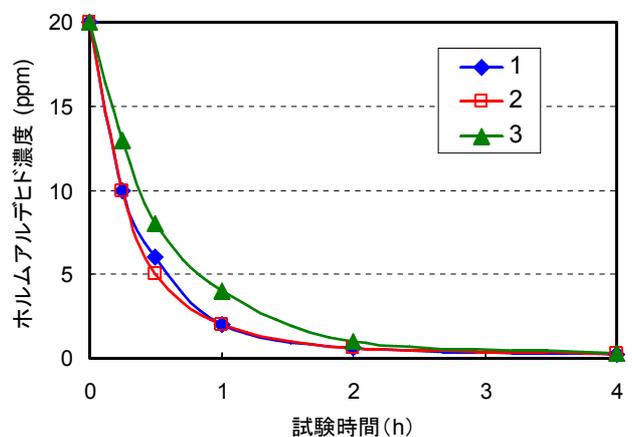


図9 竹建築ボードのホルムアルデヒド吸着試験

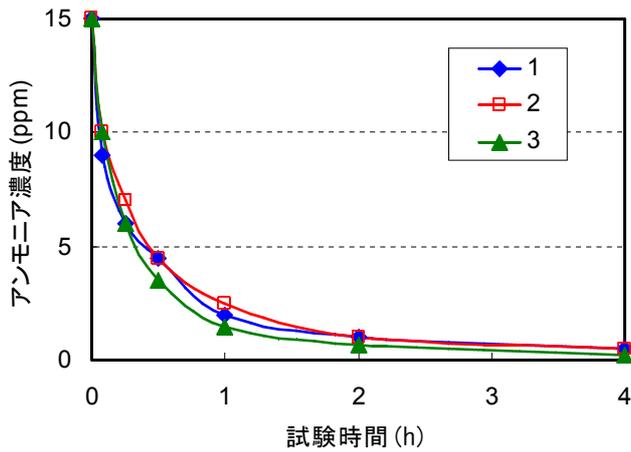


図10 竹建築ボードのアンモニア吸着試験

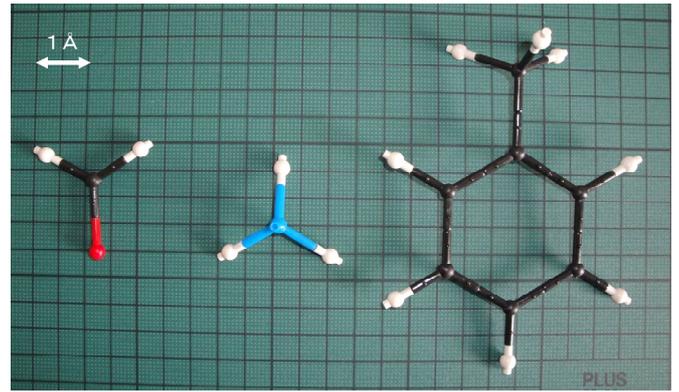


図12 吸着ガスの分子構造
(左からホルムアルデヒド、アンモニア、トルエン)

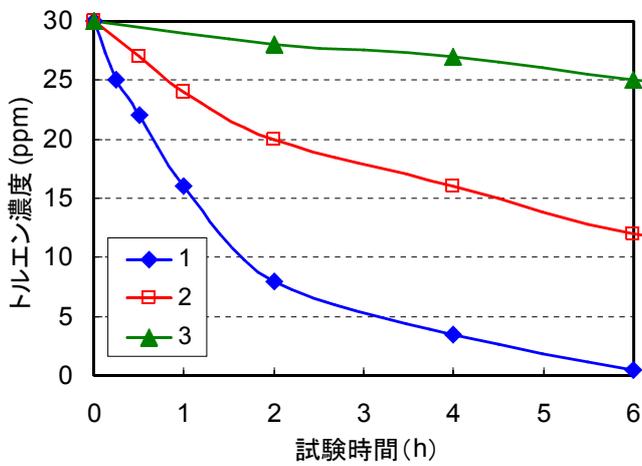


図11 竹建築ボードのトルエン吸着試験

アンモニアの吸着試験結果を図10に示す。ホルムアルデヒドの場合とは異なり、竹繊維量の多い方が吸着速度が大きくなった。竹繊維中のリグニン側鎖等にカルボキシル基のような酸性官能基が存在するため、塩基性のアンモニアはこれらの酸性官能基との化学吸着が考えられる。酸性官能基の多い方がアンモニアとの接触確率が高くなるために、竹繊維の多い方が化学吸着を起こしやすく、吸着速度が大きくなったものと推察される。

トルエンの吸着試験結果を図11に示す。竹繊維量の増加に伴い、吸着速度の低下が顕著に見られた。3. 4. 1項で調湿性能における竹繊維由来の糖分の影響について論じたが、トルエン吸着試験においてはそのことが大きく影響したと推察される。ガス吸着試験に用いたホルムアルデヒド、アンモニア、トルエンの化学モデルによる分子構造を図12に示す。ホルムアルデヒド、アンモニアと比較してトルエンは分子サイズ大きいことがわかる。竹繊維由来の糖分により細孔入口等が塞がれていると、ホルムアルデヒドやアンモニアは細孔内に進入できてもトルエンは細孔内に進入できない部分が存在することが考えられる。このこと

表3 紙くずおよび竹繊維入り竹炭ボードの組成

	竹炭 (g)	グルコマンナン (g)	紙くず (g)	竹繊維 (g)
紙くず入りボード	300	30	50	—
竹繊維入りボード	300	30	—	50

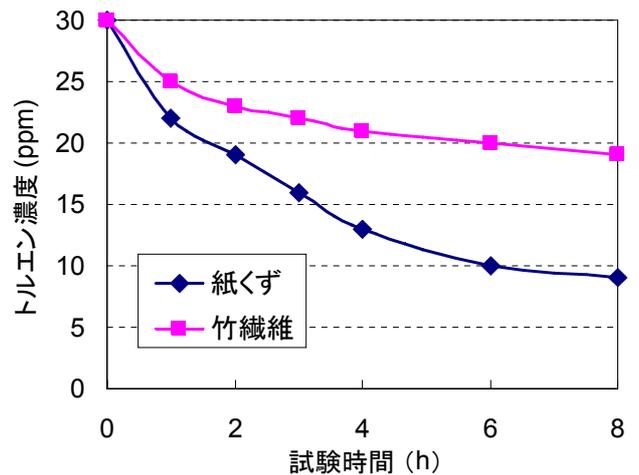


図13 紙くずおよび竹繊維入り竹炭ボードのトルエン吸着試験

により、トルエンの吸着については吸着速度の低下が顕著に見られたと推察される。また、表3の条件で製造したボードのトルエン吸着試験結果を図13に示す。紙くず入りボードと比較して竹繊維入りボードの方が吸着速度が遅くなったことから、吸着速度における糖分の影響が予想できる。

4. 結 言

異なる炭化温度で得られた竹炭の吸着性能評価を行い、以下のことが明らかになった。

- (1) 吸放湿試験では炭化温度が高いほど含水率が高くなり、調湿効果も高かった。
- (2) アンモニア吸着試験では、炭化温度が低いほど吸着速度が大きく、化学吸着の影響が示唆された。

(3) トルエン吸着試験では、竹炭の比表面積が大きいほど吸着速度が大きかった。

また、竹炭、グルコマンナン、竹繊維からなる竹建築ボードは、竹繊維由来の糖分がボード製造時にボード全体に拡散されるために細孔の閉塞が考えられ、吸放湿試験、ホルムアルデヒドおよびトルエン吸着試験では竹繊維量が多いと吸着量または吸着速度の低下が見られた。しかし、アンモニアの吸着においては、化学吸着の影響により竹繊維量が多いと吸着速度が大きくなった。

このように、竹繊維の有無により吸着性能が異なることから、実用化する際にはボードの使用条件（施工場所、吸着対象物質等）に応じた適切な製造条件を検討しなければならない。

なお本研究は、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（平成18、19年度）および新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（平成20年度）「地域の竹資源を活用した環境調節機能を持つ複合建築ボードの開発」の中で、「竹建築ボードの機能性及び付加価値の付与に必要な製造技術の開発－吸着特性の最適化を図る竹炭製造技術の開発－」として行った。

参 考 文 献

- 1) 石崎信男：炭素は七変化（1993）
- 2) 今村祐嗣：多孔質吸着材ハンドブック，49-55（2005）
- 3) 安部郁夫：吸着技術講習会要旨集，1-14（2003）
- 4) 独立行政法人統計センター：平成19年主要品目別生産動向
- 5) 小幡透，松永一彦，笠作欣一，前村記代，神野好孝：鹿児島県工業技術センター研究報告，15，35-37（2001）
- 6) 小幡透，田島英俊，森田慎一，神野好孝：鹿児島県工業技術センター研究報告，17，33-37（2003）
- 7) 小幡透，日高富男，西和枝，新村孝善：鹿児島県工業技術センター研究報告，21，31-40（2007）
- 8) 小幡透，日高富男，西和枝，新村孝善：木質炭化学会誌，5，70-76（2009）
- 9) 小幡透：炭の製造と利用技術，249-257（2009）
- 10) 川口エリ子，小林龍一：鹿児島県林業試験場研究報告，8，12-16（2003）
- 11) 安藤浩毅，古川郁子，神野好孝，坂木剛，上村芳三，幡手泰男：鹿児島県工業技術センター研究報告，14，45-51（2000）