

炭化温度の異なる竹炭の物性と機能 残留塩素およびアンモニア，VOC 除去能について

川口エリ子・小林龍一*

鹿児島県林業試験場経営部

要旨：異なる温度で炭化した竹炭を用いて，竹炭の物性および機能に及ぼす炭化温度の影響を調べた。竹炭の精練度，比表面積および pH 等の物性は，炭化温度により異なった。竹炭の pH は，炭化温度の上昇に伴い酸性からアルカリ性へと変化した。比表面積は 800 で炭化された竹炭で最も大きかった。竹炭のアンモニア除去能は，炭化温度 200 の竹炭で最も優れていた。残留塩素および揮発性有機化合物（VOC）については，800 で炭化された竹炭で最も除去能が高かった。

キーワード：竹炭，炭化温度，残留塩素，アンモニア，揮発性有機化合物（VOC）

Characteristics and functions of bamboo charcoal carbonized at different temperature -Effects of carbonizing temperature on reduction of residual chlorine, ammonia, and volatile organic compounds (VOC)-. Eriko KAWAGUCHI and Ryuichi KOBAYASHI (Division of Forest Management, Kagoshima Prefectural Forest Experiment Station, Kagoshima 899-5302, Japan). *Bulletin of the Kagoshima Prefectural Forest Experiment Station* 8: - (2003)

Abstract: Effects of carbonizing temperature on characteristics and functions of bamboo charcoal were investigated with bamboo charcoal carbonized at different temperature. Characteristics of bamboo charcoal, i.e., refining degree, specific surface area, and pH value, differed with the carbonizing temperature. The pH of bamboo charcoal changes from acid to alkaline with rising carbonizing temperature. The specific surface area was maximum by bamboo charcoal carbonized at 800 . The capacity of ammonia reduction were maximum at the carbonizing temperature of 200 . The best carbonizing temperature for reduce residual chlorine and VOC was 800 .

Key words : Bamboo charcoal, Carbonizing temperature, Residual chlorine, Ammonia, Volatile Organic Compounds (VOC)

はじめに

竹は古くから日本人に馴染みの深いものであり，人々の暮らしに様々な形で利用されてきた。しかし，近年では竹林所有者の高齢化などにより手入れされずに放置されている竹林も多い。さらには，スギ・ヒノキの人工林などへ侵入し竹林が拡大しつつあり，竹林の管理は大きな問題となっている（片野田 2003；森山 2003）。このような状況を改善するためには，伐竹などの適正な竹林改良が不可欠であり，これらを進めるにあたり竹材の利用法の開発が求められている。

こうした中で，近年，竹炭の様々な用途が注目を浴びている。一般家庭では水道水の浄化や脱臭，除湿に使われるほか，農業や緑化においては土壌改良資材として，さらには吸着性能を利用して竹炭をボード状に加工し，住宅用資材として利用する取り組みも始まっている。

竹炭や木炭は，それらの炭化温度によって物性が異なる（谷田貝ら 1991；松永ら 1999）。そのため，炭化温度の異なる竹炭では，それらがもつ機能に差が生じる可能性が高い。したがって，用途に応じた竹炭を生産・利用することが望ましいが，現在のところ用途に応じた最適な炭化温度に関する情報は少ない。

そこで本研究では，鹿児島県内に豊富に存在するモウソウチクを材料とし，炭化温度の異なる竹炭の物性を調べた。また，一般に多く利用されている水道水の

*鹿児島県林業試験場龍郷町駐在

*Tatsugo-substation, Kagoshima Prefectural Forest Experiment Station, Kagoshima 894-0105

残留塩素、空気中のアンモニアおよびシックハウス症候群の原因物質とされる揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Compounds）の除去能を、炭化温度の異なる竹炭を用いて調査した。

試験方法

供試竹炭の作成

鹿児島県産の5年生モウソウチク（*Phyllostachys pubescens*）を、伐採後幅3cm、長さ20cm程度に切断し数週間風乾させたものを材料とした（含水率約23%）。これを小型電気炭化炉（C-1、サーマル社製）を用いて炭化した。炭化にあたっては、炉内の最高温度を200、400、600、800、1000とし、最高温度の保持時間は約4時間とした。炭化前後の重量から、得られた竹炭の収率（w/w %）を算出した。

吸着試験には、竹炭を細かく砕き、篩で4.7~8.6メッシュに調整し、105℃で数時間乾燥させデシケーター内で冷却したものを使用した。

竹炭の物性

それぞれの竹炭について、pH、精練度、BET比表面積を測定した。pHは、JIS K1474に従い、粉末にした竹炭1gを入れた三角フラスコに蒸留水100mlを加えて静かに5分間沸騰させ、蒸発した量の蒸留水を加え、冷却後pHメーターで測定した。

精練度は木炭精練計（三陽電機製作所製）を用いて測定した。木炭精練計とは、炭化物表面の電気抵抗を計ることで炭化物の炭化の度合いをみる計器である。 $10^0 \sim 10^8$ /cmの電気抵抗が測定可能で、その指数0~8を精練度とし、それ以上のものは精練度9で示す。よく炭化され不純物の少ない炭化物では電気抵抗が小さいことから、精練度の数値が小さいほど不純物が少なく、炭化が進んでいる（岸本 1953；谷田貝ら 1991）。

BET比表面積は、定容法窒素ガス吸着法（Autosorb1、ユアサ・アイオニクス社製）にて測定した。

アンモニア吸着

3Lテドラーバックにアンモニア水溶液を注入し、気化させ100ppmになるよう調整した。1Lのテドラーバックに竹炭を1g封入し、調整した原ガスを導入した。その直後および15、30、45、60分後の濃度をガス検知管を用いて測定した。吸着試験は、1サンプルにつき3回ずつ行った。

残留塩素分解

竹炭1gを入れた200ml三角フラスコに、あらかじめポリタンクに汲み取り攪拌した水道水200mlを加えた。その直後および15、30、45、60、90分後に水中の遊離残留塩素（以下、残留塩素）の濃度を測定した。塩素濃度の測定は水質分析計（DR/2000型分光光度計、HACH社製）を用いて行った。これらの一連の操作は、1サンプルにつき3回ずつ行った。

なお、実験に使用した水道水の残留塩素濃度（Cl₂）は約0.25mg/Lであった。

VOC吸着

吸着対象物質：国土交通省が定める日本住宅性能表示基準において特定測定物質として指定されているトルエン、キシレン（*o*-キシレンを使用）、エチルベンゼン、スチレンを対象物質とした。これらの混合液を密閉容器内で約80℃で数分間加熱し、気化させた。

吸着試験：竹炭1gをメリクロンフラスコ（内容量；657ml）の底に均一に敷き詰め、シリコン栓で密閉した。このフラスコに気化させた対象物質をガスタイトシリンジで注入した。なお、注入後の対象物質の濃度は各物質とも0.2ppmとなるよう調整した。

分析：対象物質注入直後、5、10、20、30、60分後に固相マイクロ抽出用ファイバー（液相：100μm PDMS、Supelco製）を用いてフラスコ内の対象物質を捕集した。なお、ファイバーの露出時間は1分間とした。対象物質を捕集したファイバーは速やかにGC法にて分析した（GC：GC-17A、島津製作所製）（GC条件：カラム（HP-5、0.25mm×30m）、40℃恒温）。これらの一連の測定は3回ずつ繰り返して行った。実験中の室内温度は26±1℃であった。

結果と考察

竹炭の物性

表1に、各竹炭の物性を示す。竹炭の収率は200℃で最も高く、炭化温度の上昇に伴い減少した。

竹炭のpHは、炭化温度200℃のものでは5.14と酸性を示したが、炭化温度の上昇に伴い高くなり、1000℃では9.05となった。

精練度は、200℃で炭化した竹炭では9.0で、未炭化部分が多かったことが推察される。炭化温度の上昇に伴い、精練度は小さくなったことから、炭化温度の高

表1 炭化温度と竹炭の物性

炭化温度 ()	収率 (w/w %)	pH	精煉度	比表面積 (m ² /g)
200	38.2	5.14	9.0	1.739
400	27.2	7.23	8.5~9.0	77.08
600	20.0	8.24	3.0~6.0	367.7
800	15.6	8.49	0.0~2.3	724.8
1000	13.2	9.05	0.0	289.8

い竹炭ほど炭化が進み、不純物が少ないことがわかる。

BET 比表面積は炭化温度の上昇に伴い急激に増加し、800 で最大となった。1000 では減少し、600 の竹炭の比表面積よりも小さくなった。これは、コナラやカラマツを炭化した際にも確認されている現象で、800~1000 以上の炭化温度では炭化物の物理的収縮の影響を強く受けるためであると考えられている(大矢・小坂 2002)。竹炭においても、同様の現象が生じ1000 で炭化された竹炭の比表面積が小さくなったと推察される。

アンモニア除去

竹炭によるアンモニア除去率の変化を図1に示す。いずれの温度で炭化した竹炭も、ブランクに比べて除去率が高かった。最も除去速度が速かった竹炭は200 の竹炭であった。炭化温度が高い竹炭ほど除去が遅く、最も遅いのは1000 の竹炭であった。

これまでアンモニアの除去については、アンモニアがアルカリ性であるために、酸性を示す炭化物による吸着が適しているといわれている(安部 1997)。本実験

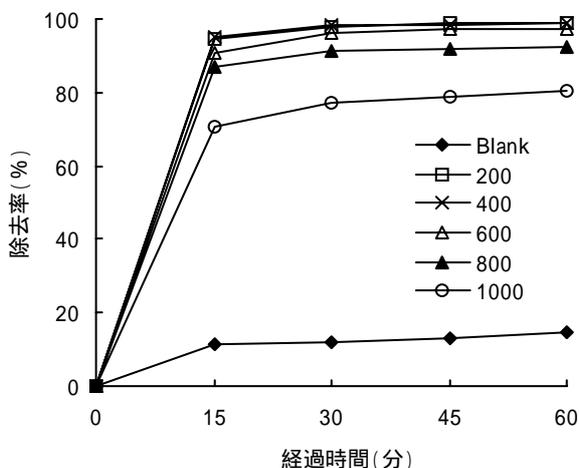


図1 竹炭によるアンモニア除去率の変化

においても最もアンモニア除去に適しているのは酸性を示した200 の竹炭であった。しかし、200 ~ 600 の竹炭の除去速度の差はわずかであり、いずれの場合も30分でアンモニアの除去率は95%以上にまで達した。したがって、600 以下の温度で炭化された竹炭であれば、アンモニアの除去に極めて高い効果が得られると考えられる。

残留塩素除去

図2に残留塩素除去率の変化を示す。いずれの温度で炭化した竹炭も、ブランクと比較して除去率は高かった。最も除去速度が遅いのは200 の竹炭であった。炭化温度の高い竹炭ほど除去速度は速く800 で最大となり、1000 では低下した。残留塩素の除去は、炭素が反応し残留塩素が塩化物イオンに分解されることにより生じているといわれている(安部 1997)。よって、残留塩素の除去には、残留塩素がより多くの炭素と反応できること、つまり木炭の表面積が大きいことが必要であるとされている(安部 1997)。本実験において比表面積が最大であった800 の竹炭で最も除去速度が速かったのも、このためであろう。

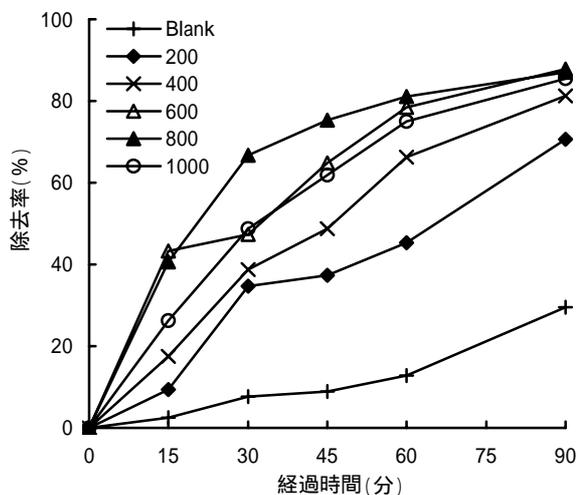


図2 竹炭による残留塩素除去率の変化

VOC 除去

竹炭による VOC 除去率の変化を図3~6に示す。いずれの物質についても竹炭による除去が確認された。いずれの物質においても5分後の除去率は800 の竹炭が最も高く、最も除去効率が劣るのは200 の竹炭であった。これらの結果は、木炭における大矢ら(2002)の報告と同様の傾向であった。BET 比表面積が800

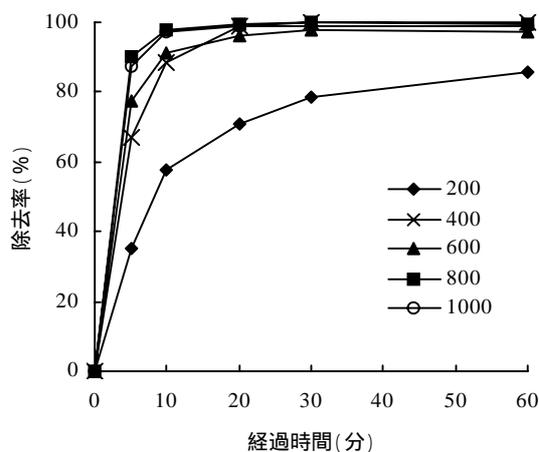


図3 竹炭によるトルエン除去率の変化

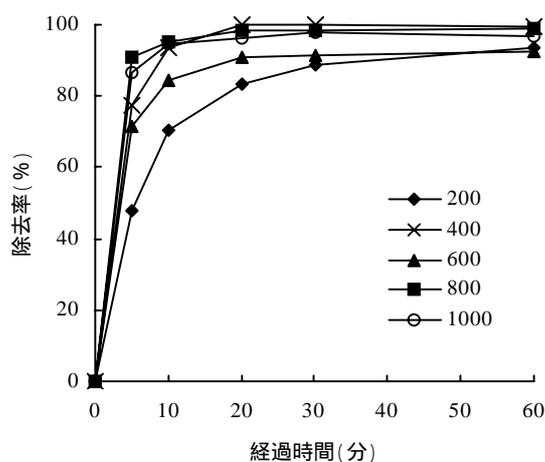


図4 竹炭によるスチレン除去率の変化

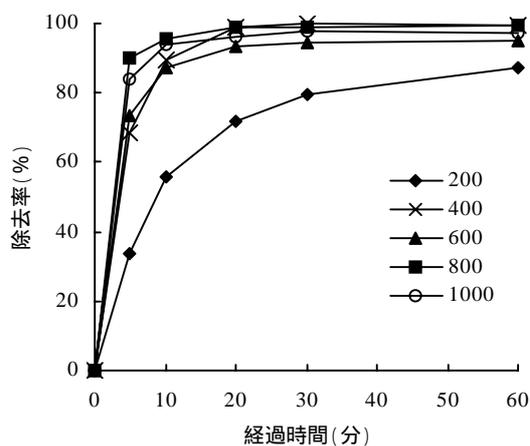


図5 竹炭によるエチレン除去率の変化

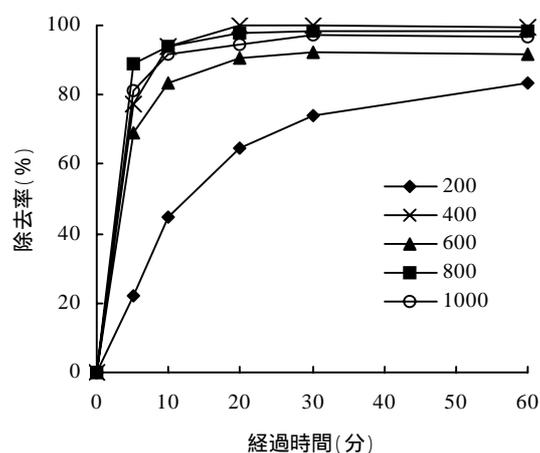


図6 竹炭によるキシレン除去率の変化

おわりに

で最も大きく、200 で最も小さかったことから(表1)、これらの除去率の差は比表面積に起因している可能性がある(大矢ら 2002)。しかし、炭化物による VOC 除去については不明な部分も多く、炭化物の表面化学構造などの面からも研究の進展が望まれている(大平 2003)。

炭化温度により除去能に違いはみられたものの、200 以外の竹炭では、実験開始 10 分後には 80% 以上が除去されており、その差は小さかった。このことから、本実験程度の濃度の場合、400 以上の竹炭であれば、高い除去能を期待できると考えられた。

同じモウソウチクを材料として得られた竹炭であっても、炭化温度によって竹炭の物性や機能は大きく異なった。一般に市販されている竹炭は、炭化温度が表記されていないものがほとんどであり、また竹炭の外見から炭化温度を見分けることは難しい。効果が一定しないなど、竹炭製品の信頼性が十分ではないのが現状であり、生産者は炭化温度を把握し、表示することが製品の信頼性向上につながるといえる。

また、除去対象物質によって適した炭化温度は異なることが明らかになった。竹炭を利用する場合は、用途に応じて適した物性の竹炭を選択することが必要である。

謝 辞

実験に用いた竹炭の作成にあたり，独立行政法人森林総合研究所所有の小型炭化炉を使用させていただいた。VOC吸着実験については，実験手法，および取りまとめに関して，同所樹木抽出成分研究室の大平辰朗室長に御指導，御助言をいただいた。また，鹿児島県工業技術センターの小幡透氏には，竹炭の比表面積の測定に便宜を図っていただいた。記してお礼申し上げます。

引 用 文 献

- 安部郁夫 (1997) 環境改善用木炭の特性とその効果，
特産情報 **10**：64-67
- 片野田逸朗(2003)蒲生町西浦地域における竹林拡大の
実態，九州森林研究 **56**：82-87
- 岸本定吉 (1953) 製炭試験（第3報）わが国木炭の精
煉に関する研究 - 特に木炭の電気抵抗と精煉につ
いて - ，林業試験場研究報告第 **65**：135-217
- 森山恭供(2003)管理放置竹林の新たな管理手法につ
いて，九州森林研究 **56**：149-152
- 永松一彦・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
- 大平辰朗(2003)有害物質吸着機能の解明，森林総合研
究所交付金プロジェクト研究成果集2「機能性付与
のための木材炭化技術及び評価技術の開発調査」：
9-26
- 大矢信次郎・小坂信行(2002)機能性木炭の生産・利用
の検討と木酢液の品質安定化に関する試験，長野県
林業総合センター業務報告：54-57
- 大矢信次郎・川口エリ子・大平辰朗・松井直之・河村
文郎・谷田貝光克 (2002) 木質系素材による環境浄
化(3) - 炭化物による室内環境汚染物質(特定測定物
質)の吸着 - ，第52回日本木材学会大会研究発表要
旨集：655
- 谷田貝光克・山家義人・雲林院源治 (1991) 簡易炭化
法と炭化生産物の新しい利用，わかりやすい林業研
究解説シリーズ No.98，pp22-24．財団法人林業科学
技術振興所，東京．