木質系炭化物の水銀（Ⅱ）の吸着特性

甲 斐 登起雄*・山 本 晋 平**
金 川 靖***・石 原 茂 久****

Adsorption Characteristics of Hg (II) on Wood Charcoal

Tokio KAI, Shimpei YAMAMOTO,
Yasushi KANAGAWA and Shigehisa ISHIHARA

To make effective use of waste wood resources from thinning and waste wood, the possibility of a mercury (II) adsorbent has been studied of applying wood charcoal from sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) and hinoki (*Chamaecyparis obtusa*). In acid solution, the mercury (II) adsorbent characteristics of sugi and hinoki samples carbonized at temperature range of 400 to 1100°C showed selectivity, depending on the carbonization temperature and kind of wood. As far as the present study is concerned, the sample of sugi carbonized at 800°C was the highest in amount of adsorbed mercury (II), showing a higher adsorbent capacity than commercial activated carbon. The amount of adsorbed mercury (II) by a sugi sample carbonized at 800°C increased linearly up to some 65 mg/g. Then, the adsorbent capacity approached a saturation point. The threshold value was some 68 mg/g when the concentration of mercury (II) was 120 mg/l. On the other hand, activated carbon mercury (II) adsorbent amount reached some 14 mg/g and the threshold value was about 17 mg/g. The saturation adsorbent amount of the charcoal of sugi was 68 mg/g—four times as high as that of commercial activated carbon. Sugi carbonized at 800°C is much higher than the commercial activated carbon in the mercury (II) adsorbent amount per unit surface area. This showed that the charcoal of sugi is a material with a high mercury (II) adsorbent rate per unit surface area. At a carbonization temperature of 800°C, where the basic surface oxides are highest, both sugi and hinoki showed the highest mercury (II) adsorbent power. For this reason, it is considered that the basic surface oxide contributes in some way to improving adsorbent performance. With regard to the effect on the mercury (II) adsorbent capacity of wood charcoal, it is considered that the contents of the basic surface oxides are more significant than the alkali elution from the wood charcoal, or the surface area of wood charcoal.

概 要

間伐材、廃木材等の木質未利用資源の有効利用を目的とし、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) およびヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の炭化物の水銀（Ⅱ）吸着剤としての応用を検討した。スギおよびヒノキを400～1100°Cの各温度で炭化した試料の酸性水溶液中における水銀（Ⅱ）吸着特性は、炭化温度および樹種によって選択性を示した。本実験の範囲内では、スギを800°Cで炭化した試料の吸着量が最も大きく、市販活性炭以上の吸着力

を示すことがわかった。スギを800°Cで炭化した試料の水銀（Ⅱ）吸着量は約 65 mg/g までは直線的に増加したが、それ以上ではほぼ飽和に達し、その限界値は水銀（Ⅱ）濃度 120 mg/l のとき約 68 mg/g であった。一方、活性炭の水銀（Ⅱ）吸着量は約 14 mg/g でほぼ飽和に達し、その限界値は約 17 mg/g であった。スギの炭化物の飽和吸着量 68 mg/g は活性炭のその 4 倍を示した。また、単位表面積あたりの水銀（Ⅱ）吸着量は、市販活性炭に比べスギの800°C炭化物が極めて大きいことから、スギの炭化物は表面積に対する水銀（Ⅱ）の吸着効率が高い材料であることが認められた。塩基性表面酸化物が最も多い炭化温度800°Cで水銀（Ⅱ）吸着量は最大を示したことから、炭化物の水銀（Ⅱ）吸着性能の向上には塩基性表面酸化物がなんらかの形で寄与しているものと考えられる。炭化物の水銀（Ⅱ）吸着特性に対し

* 東洋電化工業株式会社 環境事業本部

** 高知大学

*** 高知大学農学部

**** 京都大学名誉教授

平成12年9月8日受理

ては、炭化物からのアルカリ溶出量や炭化物の表面積の大きさによる影響よりも、塩基性表面酸化物の含有量による影響が大きいと考えられる。

1. 緒 言

家屋の解体や建築工事の際に発生する廃木材の処理は、最終処分場の能力の限界や焼却処理による環境負荷の増大のため社会的問題となっている。1998年の廃棄物処理法改正により建築系廃棄物の定義が見直され、住宅建築、建設、道路工事等に伴って発生する伐採木、伐根材のすべてが産業廃棄物となることから、これらのリサイクル促進は緊急の課題と考えられる。また、人工林の適正な維持のために発生する間伐材については低品質なものが多いことから、森林に大量放棄されており、これをいかに活用するかが課題となっている。このような廃木材や間伐材などを炭化物として燃料以外の用途で利用できれば、二酸化炭素の固定化にも有効であるため、木質未利用資源の最終的な利用形態としては理想的な方法である。

近年、環境保全の重要性が増す中で、活性炭吸着剤の使用量は増加の一途をたどっているが、活性炭は炭化工程と賦活工程の二段階を経るため高価なものとなってしまいう問題点がある。そのため、より安価な吸着剤の出現が望まれている。また、活性炭の製造には高価な賦活装置も必要となる。そこで木質未利用資源を原料とし炭化工程のみから得られる炭化物であれば、製造コストも抑えられ、安価な吸着剤とすることができる。このような観点から賦活処理をしない炭化物の開発^{1)~8)}が盛んにおこなわれるようになってきており、炭化温度によって発現する様々な機能についても精力的に研究が進められている^{9)・10)}。現在深刻な問題となっている発展途上の重金属による地下水汚染などにしても、高価な賦活装置などのコスト高となる要因が取り除かれれば、自国の木質資源から得られる炭化物を用いることにより効果的な対策を講じることが可能になるであろう。

炭化物の重金属吸着については、公害防止および有価資源回収の観点から、排水などに含まれるカドミウム(Ⅱ)^{11)・12)}、クロム(Ⅵ)¹³⁾、銅(Ⅱ)¹⁴⁾、ヒ素(Ⅲ)、(Ⅴ)¹⁵⁾、水銀(Ⅱ)^{16)~21)}などの活性炭吸着に関する報告が数多く見られる。これら以外にも分析を目的とした水溶液中の極微量の重金属の活性炭吸着による分離濃縮に関する報告^{22)・23)}も見られる。賦活処理されていない炭化物の重金属吸着については、Lilibeth L. Pulidoら²⁴⁾によるカドミウム(Ⅱ)、鉛(Ⅱ)、水銀(Ⅱ)、ヒ素(Ⅱ)の吸着、桑垣ら²⁵⁾によるカドミウム(Ⅱ)、鉛(Ⅱ)の吸着に関する報告が見られるが、その吸着に及ぼす要因についての詳細な検討はほとんどなされていない。

い。

本研究では、未利用木質資源の有効利用を目的とし、一般的な木質系炭化物が生産される1100℃以下において、炭化温度によって木質材料が発現する機能を明らかにするために、熱分解過程、微細構造、表面酸化物、pHなどに及ぼす炭化温度の影響を検討してきた。その結果、既報²⁶⁾では、炭化物の種々の特性は炭化温度によって特徴付けられることを報告した。本報では、木質系炭化物の重金属吸着剤としての応用を検討するために、スギおよびヒノキを原料とした炭化物の水銀(Ⅱ)吸着性に対する炭化温度の影響を調べ、炭化物の物理的、化学的特性との関連性についても検討した。

2. 実験方法

2.1 炭化物試料の調製

炭化装置のシステムの概略を Fig. 1 に示す。本装置は ADVANTEC 社製縦型電気加熱炉 OKT-S 型であり、炉体内部のステンレス製炉心管を外部ヒーターで加熱する構造となっている。原料木材には、高知県産のスギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)及びヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)を10 mesh以下の木粉とし、炭化の前に110℃で24時間乾燥したものを使用した。この木粉650gを炉心管の中央部に充填し、その両端をセラミックスワールで固定し、窒素ガスを流しながら所定温度で炭化した。昇

Fig. 1 Carbonizing apparatus.

温速度は 25°C/min, 設定炭化温度は400°Cから1100°Cの範囲で100°C間隔の8段階とし, 設定温度到達後の保持時間は5時間とした。本実験で用いた電気加熱炉では, 設定温度到達後の保持時間が1時間から5時間の範囲において, 試料の物理的・化学的性質のばらつきが最も少なかったことから保持時間を5時間と設定した²⁷⁾。使用した窒素ガスは純度99.99%以上, 露点-70°C以下であり, 木粉を炉内に充填した状態で窒素ガスを1時間通過させて窒素置換した。炭化処理中の窒素ガス流量は 4 l/min とした。窒素ガスは炉心管下部から導入し, 炉心管中央部の試料間を通過させて, 排ガスとして炉心管上部から排出した。得られた炭化物は, 60メッシュ以下のサイズに篩分けし, 吸着実験に用いた。試料の保管にあたっては, 真空デシケーターを用い, 内部を窒素で置換して, 試料を大気にさらさないようにした。

2.2 吸着実験

吸着実験には, 所定温度で炭化した種々の試料を用い, 比較試料として和光純薬工業製の試薬特級活性炭粉末を用いた。試料はあらかじめ110°Cで24時間乾燥して用いた。水銀（Ⅱ）イオンの水溶液としては, 塩化水銀（Ⅱ）を蒸留水に溶解し 1000 mg/l としたものを保存液とし, 所定濃度に蒸留水で希釈して吸着実験に用いた。これらの水溶液の pH は, 炭化物を添加する前に塩酸で pH 3~4 に調整した。本実験に使用した試薬はすべて市販特級品を用いた。

吸着速度試験では, 100 ml 容共栓付き三角フラスコに 0.2 g の試料を秤り取り, これに水銀（Ⅱ）イオンにして 5 mg/l の初期濃度の水溶液 50 ml を加え, 200 rpm で所定時間振とうした。所定時間振とうした後, 試験溶液を保持粒径 0.8 μ m のメンブランフィルターですみやかに濾過し, 濾液についてセイコー電子工業製の原子吸光分光光度計 SAS7500 により測定し, 水銀（Ⅱ）の残存量を求めた。

吸着等温線を求める実験では, 100 ml 容共栓付き三角フラスコに 0.03 g の試料を秤り取り, これに水銀（Ⅱ）イオンにして所定濃度の水溶液 30 ml を加え, 室温 25°C に保持しながら 200 rpm で4時間振とうした。振とうした後, 試験溶液を速やかに濾過し, 濾液について原子吸光分光光度計により, 水銀（Ⅱ）の平衡濃度を測定し, 炭化物の単位重量あたりの吸着量に換算した。

各濾液について吸着後の pH を東亜電波工業製 pH メーター HM-14P によって測定するとともに, 濾液中に存在するカリウム, ナトリウム, マグネシウム, カルシウムなどのイオンを原子吸光分光光度計により定量した。

3. 結果と考察

3.1 吸着速度

炭化物の吸着速度特性を調べるために, 試料に水銀（Ⅱ）を吸着させたときの水溶液中の水銀（Ⅱ）濃度の時間変化を測定した。炭化温度400~1100°Cのスギの試料および市販活性炭についての測定結果を Fig. 2 に示す。ヒノキの試料について同様に測定した結果を Fig. 3 に示す。スギおよびヒノキのいずれの樹種においても, 800°Cで炭化した試料は30分以内の比較的短時間のうちに水溶液に含まれる水銀（Ⅱ）のほとんど全てを吸着し, 市販活性炭と同等の吸着速度を示した。スギの400°Cおよび1100°Cで炭化した試料は, 800°Cで炭化し

Fig. 2 Adsorption of Hg on wood charcoal from sugi carbonized at different temperatures. Initial concentration: 5 mg/l, sample 0.2 g/Hg (II) solution 50 ml, initial pH 4.0.

Fig. 3 Adsorption of Hg on wood charcoal from hinoki carbonized at different temperatures. Initial concentration: 5 mg/l, sample 0.2 g/Hg (II) solution 50 ml, initial pH 4.0.

た試料に比べ、水銀（Ⅱ）の吸着性が低く、吸着速度も遅いことがわかった。スギの1100℃炭化試料は2時間ではほぼ平衡近くまで達したが、400℃炭化試料は2時間では平衡に達しなかった。ヒノキの炭化試料においても、800℃で炭化した試料に比べ、400℃および1100℃で炭化した試料の水銀（Ⅱ）吸着性は低く、炭化温度による吸着性の差はスギよりも顕著であった。

これらのことから、スギおよびヒノキの炭化物の水銀（Ⅱ）吸着特性は炭化温度および樹種によって選択性を示すことが明らかとなった。以降の吸着実験では、水銀（Ⅱ）の吸着性が良かったことから、800℃と1100℃の炭化物を用いることとした。これらの試料のうち、スギの1100℃炭化試料は2時間でほぼ吸着平衡に達したが、ヒノキの1100℃炭化試料は2時間でも微量の変化を続けていたことから、以降の吸着実験では十分に吸着平衡に達することを考慮し振とう時間を4時間とした。

3.2 炭化物からの溶出成分と pH

前節3.1の吸着速度の実験より、炭化物の水銀（Ⅱ）の吸着特性は炭化温度および樹種によって選択性を示すことが明らかとなったが、前報²⁸⁾に示したように、炭化物のカドミウム（Ⅱ）および鉛（Ⅱ）のそれも炭化温度および樹種によって選択性を示す。炭化温度400～1100℃の範囲では、炭化温度の上昇に伴いカドミウム（Ⅱ）および鉛（Ⅱ）の吸着量は増大し、スギを1100℃で炭化した試料の吸着量が最大となり、市販活性炭以上の吸着力を示した。ヒノキを1100℃で炭化した試料の吸着量は、スギを1100℃で炭化した試料のそれには及ばなかった。このカドミウム（Ⅱ）および鉛（Ⅱ）の吸着量は、炭化物の表面積や表面酸化物などの要因よりも、カリウムを主体としたアルカリ成分の溶出量の寄与が最も大きかった。このようなことから、炭化物の水銀（Ⅱ）の吸着特性について、まず吸着量とカリウム溶出量との相関性について調べた。

前節3.1の吸着速度の測定において各時間保持した水溶液のカリウム溶出量および pH を測定した。スギの炭化試料の吸着後の水溶液についての測定結果を Fig. 4 に示す。振とう時間の増加に対して、カリウム溶出量の顕著な増加は見られず、振とう時間0.5時間以降のそれは安定した様子を示した。振とう時間の増加に対する pH の変化も安定しており、これは先のカリウム溶出量の増加がごく微量となったためと考えられる。一方、炭化温度に対してカリウム溶出量は、いずれの振とう時間においても、炭化温度の上昇に伴い増大し、炭化温度1100℃で最大を示した。炭化温度の上昇に伴い pH も上昇することから、これはカリウム溶出量の増大に起因するものと考えられる。活性炭のカリウム溶出量はスギの炭化物と比較すると極めて小さく、このため pH の

上昇はごく微量であった。

ヒノキの炭化試料の吸着後の水溶液についての測定結果を Fig. 5 に示す。ヒノキの場合も、振とう時間および炭化温度に対してカリウム溶出量および pH は先述のスギの場合と同様の傾向を示した。カリウム溶出量は炭化温度の上昇に伴い増大し、炭化温度1100℃でカリウム溶出量および pH は最大を示した。

スギおよびヒノキのカリウム溶出量の比較によれば、ヒノキよりもスギのカリウム溶出量が多く、吸着後の pH も高かった。カドミウム（Ⅱ）および鉛（Ⅱ）の吸着量は、炭化物からのカリウム溶出量との間に相関性が見られたが²⁸⁾、水銀（Ⅱ）吸着量はこのような相関性が見られなかった。すなわち、カリウム溶出量が最大を示す炭化温度1100℃で水銀（Ⅱ）吸着量は最大とはならず、800℃で最大を示したことから、カリウム溶出量とそれとの間には相関性は見られない。したがって、炭化物の水銀（Ⅱ）吸着に影響を及ぼす主要因はカリウム溶出量ではなく、それ以外の要因が関与しているものと考えられる。

3.3 水銀（Ⅱ）の吸着量

吸着速度試験において、400℃で炭化した試料と比較して800℃以上で炭化した試料の水銀（Ⅱ）に対する吸

Fig. 4 Concentration of K (lower) and pH (upper) of Hg solution after adsorption by sugi carbonized at different temperatures. Initial concentration: 5 mg/l, sample 0.2 g/Hg (II) solution 50 ml, initial pH 4.0.

Fig. 5 Concentration of K (lower) and pH (upper) of Hg solution after adsorption by hinoki carbonized at different temperatures. Initial concentration: 5 mg/l, sample 0.2 g/Hg (II) solution 50 ml, initial pH 4.0.

着性が優れていたことから、スギおよびヒノキの800°Cと1100°Cの炭化物を用いて、室温25°Cにおける水銀（Ⅱ）の吸着等温線を求めた。Fig. 6 に示した水銀（Ⅱ）の吸着等温線によると、この実験の範囲内では水銀（Ⅱ）の吸着量は飽和に達しなかったが、スギを800°Cで炭化した試料の吸着量が最も大きく、市販活性炭よりも大きい吸着量を示すことが認められた。また、スギおよびヒノキのいずれにおいても、1100°Cの炭化物に比べると800°Cの炭化物のほうが大きな水銀（Ⅱ）吸着量を示した。

次に、水銀（Ⅱ）の吸着量が最大であったスギの800°Cの炭化物を用い、高濃度の水銀（Ⅱ）水溶液中で吸着等温線を求めた。比較試料として市販活性炭を用いた。Fig. 7 に示した水銀（Ⅱ）の吸着等温線によると、スギの炭化物の水銀（Ⅱ）吸着量は約65 mg/gまでは直線的に増加したが、それ以上では吸着量の増加は微量となり、ほぼ飽和に達した。その飽和吸着量は水銀（Ⅱ）濃度120 mg/lのとき約68 mg/gであった。一方、活性炭の水銀（Ⅱ）吸着量は約14 mg/gまでは直線的に増加したが、それ以上で吸着量の増加は微量となった。その飽和吸着量は水銀（Ⅱ）濃度120 mg/lのとき約17 mg/gであった。スギの炭化物の飽和吸着量68 mg/gは活性炭のその4倍を示した。これらのことから、炭化

Fig. 6 Adsorption isotherms of Hg on wood charcoal at 25°C. Sample 0.03 g/Hg (II) solution 30 ml, initial pH 3.3, shaking time: 4hr.

温度を制御して得られた炭化物は水銀（Ⅱ）に対して市販活性炭より優れた吸着性をもつことが明らかとなった。

また、試料の BET 比表面積より、単位表面積あたりの水銀（Ⅱ）吸着量に換算した結果を Fig. 8 に示す。単位表面積あたりの水銀（Ⅱ）吸着量は、市販活性炭に比べスギの800°C炭化物が極めて大きいことから、スギの800°C炭化物は表面積に対する水銀（Ⅱ）の吸着効率が高い材料であることが認められた。

3.4 水銀（Ⅱ）吸着に影響を及ぼす要因

炭化物から水溶液中に溶出するカリウムを主体とするアルカリ成分量は、炭化温度によって異なり、カドミウム（Ⅱ）および鉛（Ⅱ）の吸着量はこれに依存した²⁸⁾。しかしながら、前項3.2で述べたように、炭化物の水銀（Ⅱ）吸着量とカリウム溶出量との間には特に相関性が

Fig. 7 Adsorption isotherms of Hg on wood charcoal at 25°C. Sample 0.03 g/Hg (II) solution 30 ml, initial pH 3.3, shaking time: 4hr.

Fig. 8 Amount of adsorbed Hg per unit surface area. Initial concentration: 122 mg/l, sample 0.03 g/Hg (II) solution 30 ml, initial pH: 3.3, shaking time: 4hr.

見られなかった。そこで、水銀（Ⅱ）吸着量に及ぼすカリウム溶出量の影響をさらに検討するため、吸着操作に先立ち水洗してカリウム溶出量を抑制した炭化物の水銀（Ⅱ）吸着量を求めた。試料には、最大吸着量を示したスギの800°C炭化物を用い、これを蒸留水中で1時間振とうした後、十分に乾燥させた。比較のために用いた活性炭も同様の水洗処理を施した。これらの試料の水銀（Ⅱ）吸着量と水溶液中に溶出したカリウム溶出量の測定結果を Fig. 9 に示す。水洗処理により800°C炭化物のカリウム溶出量は著しく減少し、活性炭と同程度となった。しかしながら、水洗処理前後における800°C炭化物の水銀（Ⅱ）吸着量に大きな変化は見られず、活性炭も同様であった。炭化物からのアルカリ溶出量に依存するカドミウム（Ⅱ）および鉛（Ⅱ）吸着量は、炭化物を水洗しアルカリ溶出量を抑制すると著しく減少する²⁸⁾。しかしながら、水銀（Ⅱ）吸着量は水洗処理前後において減少せず、炭化物はその吸着力を維持することから、水銀（Ⅱ）吸着量に及ぼすアルカリ溶出量の寄与は小さいものと考えられる。

また、実験に用いた試料の BET 比表面積は、市販活性炭 989.2 m²/g, 800°C炭化物 52.6 m²/g であり、市販活性炭の比表面積に比べて800°C炭化物のそれは極めて小さい。一般的には、吸着剤の表面積の大きさが吸着量を決定することが多い²⁹⁾ が、本実験で用いた炭化物の水銀（Ⅱ）吸着量に対してはその表面積の及ぼす影響は小さいと考えられる。Lilibeth L. Pulido ら²⁴⁾ は、スギの木粉を窒素気流中で200, 600, 1000°Cの温度で炭化した試料を用い、水銀（Ⅱ）、亜鉛（Ⅱ）、鉛（Ⅱ）、ヒ素（Ⅱ）、カドミウム（Ⅱ）に対する吸着性を検討した結果、異なる温度で炭化した試料の中で1000°Cの炭化物が最も良い吸着性を示し、比表面積の大きな市販活性炭

Fig. 9 Amount of adsorbed Hg and concentration of K released from wood charcoal after adsorption in Hg (II) solution. Initial concentration: 10 mg/l, sample 0.03 g/Hg (II) solution 30 ml, initial pH 3.3, shaking time: 4hr. Sample treatment: shaking in distilled water for 1hr.

よりも良い吸着性を示したことを報告している。このとき、1000°Cの炭化物の BET 比表面積は 616.6 m²/g であり、市販活性炭のそれは 1209 m²/g であった。本実験結果と比較すると、市販活性炭に比べ表面積が小さいスギ炭化物が水銀（Ⅱ）吸着能が高いという点で Lilibeth L. Pulido ら²³⁾ の結果とは良い符合を示す。Lilibeth L. Pulido らは、炭化物の表面化学的性質および比表面積が水銀（Ⅱ）の吸着性に寄与していると考察しているが、その報告の中では表面官能基の測定や他の重金属の吸着性との比較は特になされていない。

一方、炭化物の吸着性能の向上には、炭化の過程でその表面に生成する酸性および塩基性酸化物が関与することがよく知られており²⁹⁾、アンモニアや硫化水素などの極性ガスに関する報告^{6),7)} が見られる。炭化物表面に存在する酸性および塩基性酸化物の定量法としては水酸化ナトリウムおよび塩酸を吸着する方法^{30),31)} があり、炭化温度の異なる試料についてこの方法で測定した結果を Fig. 10 に示した。水酸化ナトリウム吸着量は、400°C以下で最大値を示し、炭化温度の上昇に伴い500°Cで著しく減少し、600°C以上ではほぼ一定となった。塩酸吸着量は炭化温度の上昇に伴い増加し、800°Cで最大値を示し、900°C以上で減少するとともにほぼ一定となった。

Fig. 10 Adsorption of NaOH and HCl on wood charcoal from sugi. Sample 0.2 g/0.02 N-HCl 25 ml, shaking time: 24hr.

このことから、本実験における炭化物は、水酸化ナトリウム吸着量の多い400°C以下では酸性表面酸化物が多く、塩酸吸着量が最大となる800°Cでは塩基性表面酸化物が最も多くなったものと考えられる。炭化物の酸性官能基としてはカルボキシル基、芳香族系水酸基、ラク톤などが、また塩基性官能基としてはクロメン構造やピロン構造をもつ官能基などが考えられている¹⁰⁾。吉田ら¹⁰⁾は、活性炭の水銀(Ⅱ)吸着について、塩酸酸性溶液中では活性炭の塩基性表面酸化物は一種のオキソニウム塩となり、これに HgCl_4^{2-} がイオン交換的に吸着される機構を提案している。本実験においても、塩酸酸性溶液中での水銀(Ⅱ)吸着であり、また、塩基性表面酸化物が最も多くなったと考えられる炭化温度800°Cで水銀(Ⅱ)吸着量はスギおよびヒノキのいずれにおいても最大を示したことから、炭化物の水銀(Ⅱ)吸着性能の向上には塩基性表面酸化物がなんらかの形で寄与しているものと考えられる。

これらのことから、炭化物の水銀(Ⅱ)吸着特性に対しては、炭化物からのアルカリ溶出量や炭化物の表面積の大きさによる影響よりも、塩基性表面酸化物の含有量による影響が大きいと考えられる。

4. 結 言

スギおよびヒノキの炭化物の酸性溶液中での水銀(Ⅱ)吸着特性について調べた結果、以下のような知見が得られた。スギおよびヒノキの800°Cで炭化した試料はいずれも30分以内に5 mg/lの水溶液に含まれる水銀(Ⅱ)のほとんど全てを吸着し、市販活性炭と同等の吸着速度を示した。吸着等温線より、スギを800°Cで炭化した試料の吸着量が最も大きく、市販活性炭以上の吸着力を示すことがわかった。スギを800°Cで炭化した試料の水銀(Ⅱ)吸着量は約65 mg/gまでは直線的に増加したが、

それ以上での増加は微量となった。その飽和吸着量は水銀(Ⅱ)濃度120 mg/lのとき約68 mg/gであった。活性炭の飽和吸着量は約17 mg/gであり、スギの炭化物の飽和吸着量は活性炭のその4倍を示した。また、単位表面積あたりの水銀(Ⅱ)吸着量は、市販活性炭に比べスギの800°C炭化物が極めて大きいことから、スギの炭化物は表面積に対する水銀(Ⅱ)の吸着効率が高い材料であることが認められた。これらのことから、スギおよびヒノキの炭化物の水銀(Ⅱ)吸着特性は、炭化温度および樹種によって選択性を示すことが明らかとなった。塩基性表面酸化物が最も多い炭化温度800°Cで水銀(Ⅱ)吸着量はスギおよびヒノキのいずれにおいても最大を示したことから、炭化物の水銀(Ⅱ)吸着性能の向上には塩基性表面酸化物がなんらかの形で寄与しているものと考えられる。炭化物の水銀(Ⅱ)吸着特性に対しては、炭化物からのアルカリ溶出量や炭化物の表面積の大きさによる影響よりも、塩基性表面酸化物の含有量による影響が大きいと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 山根健司, 石原茂久, 奥田宏史, 炭素, 1998, No. 182, 95-100 (1998)
- 2) 山根健司, 石原茂久, 畑 俊充, 炭素, 1999, No. 186, 2-6 (1999)
- 3) 樋口光夫, 岡本大亮, 木材学会誌, 44, No. 3, 178-183 (1998)
- 4) Koei Nishimiya, Toshimitsu Hata, Yuji Imamura, Shigehisa Ishihara, J Wood Sci, 44, No. 1, 56-61 (1998)
- 5) 北村寿宏, 松本寿生, 片山裕之, 木材学会誌, 45, No. 2, 171-177 (1999)
- 6) 松井隆尚, 松下洋一, 菅本和寛, 徳田陽之助, 小玉義和, 中田一則, 小田 誠, 山内博利, 日化, 2000, No. 1, 53-61 (2000)
- 7) 本間千晶, 佐野弥栄子, 窪田 実, 梅原勝雄, 駒澤克己, 木材学会誌, 46, No. 4, 348-354 (2000)
- 8) 森美知子, 斉藤幸恵, 信田 聡, 有馬孝禮, 木材学会誌, 46, No. 4, 355-362 (2000)
- 9) 石原茂久, 木材学会誌, 42, No. 8, 717-723 (1996)
- 10) 石原茂久, 材料, 48, No. 5, 473-482 (1999)
- 11) 白樫高史, 柿井一男, 栗山光央, 日化, 1984, No. 12, 1997-2002 (1984)
- 12) Brian E. Reed, Mark R. Matsumoto, Separation Science and Technology, 28, 2179-2195 (1993)
- 13) 吉田久良, 亀川克美, 有田静児, 日化, 1977, No. 3, 387-390 (1977)
- 14) 吉田久良, 亀川克美, 水処理技術, 24, No. 2, 117-120 (1983)
- 15) 亀川克美, 吉田久良, 有田静児, 日化, 1979, No. 10, 1365-1370 (1979)
- 16) 吉田久良, 亀川克美, 有田静児, 日化, 1976, No. 5, 808-813 (1976)
- 17) 吉田久良, 亀川克美, 有田静児, 日化, 1976, No.

- 10, 1596-1601 (1976)
- 18) 西 末雄, 小林力夫, 堀本能之, 水戸美和子, 日化, 1978, No. 12, 1712-1717 (1978)
- 19) 栗山光央, 鶴田加一, 上田平純, 柿井一男, 白樫高史, 日化, 1984, No. 3, 495-500 (1984)
- 20) 白樫高史, 柿井一男, 栗山光央, 日化, 1989, No. 4, 750-754 (1989)
- 21) 白樫高史, 田中邦明, 田村寿康, 吉原佐知雄, 日化, 1999, No. 2, 137-143 (1999)
- 22) 松枝隆彦, 分析化学, 29, 110-115 (1980)
- 23) 木村 優, 川波和子, 日化, 1981, No. 1, 1-6 (1981)
- 24) Lilibeth L. Pulido, Toshimitsu Hata, Yuji Imamura, Shigehisa Ishihara, Takeshi Kajimoto, J Wood Sci, 44, No. 3, 237-243 (1998)
- 25) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合: 木炭と木酢液の新用途開発研究成果集, 27-44 (1990)
- 26) 甲斐登起雄, 山本晉平, 石原茂久, 資源処理技術, 47, No. 3, 132-139 (2000)
- 27) 木質複合材料技術研究組合編: 木質複合材料研究成果報告書, 272-301 (1998)
- 28) 甲斐登起雄, 山本晉平, 石原茂久, 資源処理技術, 48, No. 1, (2001), 印刷中
- 29) 角田光雄: 最新吸着技術, 総合技術センター, 155-167 (1993)
- 30) 岸本定吉, 橘田紘洋, 木材学会誌, 15, No. 5, 208-213 (1969)
- 31) 亀川克美, 吉田久良, 日化, 1986, No. 1, 12-18 (1986)