

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510091

研究課題名(和文)水質汚染物質の吸着・分解除去のための高性能活性炭の設計

研究課題名(英文)Design of activated carbons for adsorptive removal of pollutants from aqueous solution

研究代表者

町田 基 (Motoi, MACHIDA)

千葉大学・総合安全衛生管理機構・教授

研究者番号：30344964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：炭素の構造と表面化学の観点から水質汚染物質の除去に適した活性炭の設計を試みた。種々の炭素化前駆体と賦活条件を試し、竹を水酸化ナトリウムで前処理してリグニン分を除いた後、リン酸を用いて活性炭を調製することによって、比表面積が2000 m²/g、メソ孔容量が0.9 m³/gの活性炭が調製できることを見出した。また、活性炭の表面を出発物質の原料を変えたり、表面酸化、高温アンモニア処理などさまざまな方法で表面改質したりして親水性をもたせたところ、従来の有機汚染物質の吸着量は減少したものの、重金属イオンなどの汚染物質の吸着性能を大幅に向上させることができた。

研究成果の概要(英文)： We tried to prepare activated carbons (ACs) suitable for removing pollutants in aqueous phase from the points of textural properties and surface chemistry. Examining various carbon precursors and activated procedures, ACs prepared from bamboo using H₃PO₄ activation successfully achieved specific surface area of 2000 m²/g and meso-pore volume of 0.9 cm³/g. The meso-pore rich AC accommodated greater amount of large size molecules such as dye than conventional commercial meso-pore AC. Kinetics of heavy metal adsorption could also be improved by meso-pore AC. Changing carbon precursors and treating methods for carbon surface using oxidants and ammonia gas, carbon surface was switched from hydrophobic to hydrophilic nature and significant increase in heavy metals adsorption was observed, whereas AC structure was sometimes destroyed by the treatments.

研究分野：複合新領域(環境学)

科研費の分科・細目：環境技術・環境材料

キーワード：水質汚染物質 吸着除去 活性炭 表面化学 細孔 重金属イオン 硝酸イオン 染料

1. 研究開始当初の背景

(1) 世界的に広がる水質汚染の問題と急速な世界人口の増加による淡水不足を背景として、各国で水質浄化のための効率的なシステム開発や要素技術開発が精力的に進められている。淡水の浄化には、汚染物質の砂ろ過、沈降・沈殿分離、膜分離、オゾン分解などさまざまな技術が適用されているが、活性炭などの吸着剤も水質汚染物質の分離除去、浄水場（飲料水の浄化）や家庭の浄水器、廃棄物処分場（浸出水の処理）さらには医療用（医療用活性炭）など、これまでに広範囲に用いられてきた。

活性炭は炭素系吸着剤の代表であり粉状（PAC; powdered activated carbon）、粒状（GAC; granular）さらには繊維状（ACF）などさまざまな形態で使われており、GACやACFは再生利用も可能である。

(2) これまでの研究（2008～2010年度、基盤研究（C）No.2050072）で活性炭の表面状態を変化させることにより、有機汚染物質や重金属イオンの吸着がどのように変化するかを追跡し、酸性官能基の有無により有機汚染物質と重金属イオンの吸着の両方が大きく変化することを見出した。また、窒素および酸性官能基の種類により酸性領域でも重金属イオン（ Me^{2+} 、陽イオン）の吸着除去が可能であることが判った。

(3) 活性炭には孔の大きさが2 nm以下のマイクロ孔が発達しており、表面は疎水性であることが一般的である。しかしながら、活性炭製造時に酸素の遮断が不十分だったり、長期間に渡り空气中で保管したりすると表面の疎水性が失われ、活性炭本来の性能である疎水性の有機汚染物質の吸着性能が低下する。また、マイクロ孔が多いために染料などの分子の嵩が大きい汚染物質の吸着は困難な場合がある。また、表面が疎水性であるため染料や重金属イオン、硝酸イオンのような親水性物質は比較的吸着しづらい。現状では活性炭の用途はフェノールやベンゼンといった低分子量の疎水性有機汚染物質に限られてきた。

(4) 活性炭の比表面積は通常1000 m^2/g 前後であるが、疎水性有機汚染物質の吸着には表面積が大きいほど有利であると予測されたので、さまざまな賦活条件で活性炭を調製し、最大で3000 m^2/g 以上の活性炭が得られた。単環芳香族（ 2 -メチルベンゼン）の吸着量と表面積の関係をプロットしたところ吸着量と比表面積の間に良好な直線的比例関係が確認された。一方、嵩高い分子（アトアミンやアミン酸）の吸着では比表面積が3000 m^2/g であっても細孔分布が異なると吸着量に2倍近い開きが生じた。

2. 研究の目的

これまでの活性炭の主用途として用いられてきた低分子の疎水性有機汚染物質ばかりでなく、水中のさまざまな汚染物質の吸着

能を有する高性能な活性炭を探索していくことが、本研究の主な目的である。これまでに検討してきた結果をベースに、活性炭の構造と表面化学の両面からアプローチする。

(1) 染料など分子の一部にイオン性を有する嵩高い分子の吸着に有効な大きな細孔を有する活性炭の調製をさまざまな方法で試み、実際に吸着量が増加するか否かを確認する。

(2) 活性炭の表面に酸素や窒素原子といったいわゆるヘテロ元素を導入し表面化学を変化させ、重金属イオン（陽イオン）の吸着性能の向上を図る。また、近年、日本でも地下水汚染で問題となっている硝酸イオン、あるいは途上国で問題となっているヒ素イオンなどの陰イオンの吸着性能についても、その性能向上について探索をする。同時にフェノールやニトロベンゼンのような、活性炭本来の吸着性能がどのように変化していくかについても並行して検討を進める。

(3) さらには活性炭をはじめ炭素系素材には、湿度調節の機能もあることが判っているので、活性炭の構造と表面化学が調湿に及ぼす影響を検討して、調湿に適する活性炭を見出していく。また、表面の親和性を大きく変化させたので、石油中（ディーゼル燃料、軽油）の難脱硫性（水素化触媒で除去困難な）含硫黄芳香族化合物の除去など水処理以外の活性炭による吸着除去への適用も試みる。

3. 研究の方法

(1) これまでに比較的好成績を収めてきた、竹、牛糞堆肥（メタン発酵後の残さ）、椰子殻チャー（炭化物）、フェノール樹脂、ポリアクリロニトリル樹脂などの様々な前駆体を用いて粉状および粒状の活性炭（PAC、GAC）および活性炭素繊維（ACF）を調製しその吸着性能を調べた。炭素化（炭化）および細孔の発達（賦活）には、800～1000 で水蒸気や CO_2 を流す物理賦活や大きな細孔を選択的に発達させるために塩化亜鉛やリン酸をしみこませて500 前後で賦活する化学賦活を適用した。また、炭素化前の竹などの原料を酸や塩基（アルカリ）で前処理することによって特定の成分を取り除き、細孔の発達に及ぼす影響についても詳細に調べた。

(2) 出発原料の異なる数種類の市販活性炭（GAC）および活性炭素繊維（ACF）を用いて、酸化（oxidation）、500～1000 といった高温での不活性ガス中での脱気（outgassing）、高温でのアンモニア（ammonia gas）による処理、尿素処理、およびそれらの処理の組み合わせによる表面処理を行った。酸化処理については、主に硝酸（酸化温度；95～100 ）とペルオキシ二硫酸アンモニウム（酸化温度；20～30 ，マイルドな酸化）による処理法を適用した。

(3) 吸着物質は、低分子量の吸着質として水道水の異臭味物質として観測される2-メチルイソボルネオール（2-MIB）、双極子モーメントが大きいニトロベンゼンや極性の高

いフェノールなどの単環芳香族を水に溶解させて吸着実験に供した、嵩高い分子としてメチレンブルー (MB) やコンゴレッド (CR) などの染料を用いた。陽イオンとしては鉛、カドミウム、ニッケルなどの重金属イオンの硝酸塩を溶解させた。陰イオンについては、硝酸ナトリウムを溶解させた、硝酸イオンの吸着を試みた。また、有機溶媒中での難脱硫性含硫黄化合物と炭素表面の相互作用を調べるために 2, 6 - ジメチルジベンゾチオフェンの吸着実験をした。通常軽油留分に含まれている 1 - メチルナフタレンによる吸着阻害効果も検討した。また、各種塩の飽和水溶液を用いて、活性炭の調湿性能についても検討を行った。

4. 研究成果

今回の研究期間で得られた多くの知見のうち、主要なものを以下に記述する。

(1) メソ孔活性炭の調製：大きな細孔 (メソ孔) を有する活性炭は、竹から調製するのが最も有効であることが判った。特に塩化亜鉛やリン酸による化学賦活が有効であった。

表 1 塩化亜鉛賦活竹活性炭の物性

Sample	$D_{average}$ (nm)	S_{BET} (m^2/g)	V_{micro} (cm^3/g)	V_{meso} (cm^3/g)	Total acidic (mmol/g)	Total basic (mmol/g)
Z6	3.7	2050	0.77	1.14	0.67	0.35
Z3	2.8	2150	0.78	0.65	0.69	0.36
Z1	1.7	1550	0.64	0.06	0.66	0.32

Z6; ZnCl₂/Bamboo weight ratio of 6.0

表 1 には塩化亜鉛賦活した竹活性炭の物性を示すが、塩化亜鉛の含浸比率を上げることでメソ孔 (V_{meso}) が 1.14 cm^3/g にまで増大し、図 1 の吸着等温線 (横軸が溶液濃度、縦軸が吸着量で吸着平衡時) に示すように嵩高い染料分子であるコンゴレッド (CR) の吸着も促進された。また、金属イオン (Zn^{2+}) の吸着を調べた結果、従来型の活性炭では擬二次速度式 (拡散律速) に従うところが、孔の拡大により擬一次 (吸着点への衝突律速を示唆) 速度式に従うことが見出された。

表 2 NaOH 処理によるメソ孔の増大

Sample	Yield [%]	S_{BET} [m^2/g]	V_{micro} [cm^3/g]	V_{meso} [cm^3/g]	$D_{average}$ [nm]
BAP3-500	41	1610	0.31	1.50	4.5
BP3-500	33	2070	0.69	0.93	3.1

BAP; Bamboo の NaOH 処理後に H₃PO₄ 賦活

出典：炭素 261 (2014) pp.2-7.

また、表 2 に示すように竹にリン酸を浸み込ませる前に NaOH 溶液で処理しておく竹を構成する成分の一つであるリグニン分が選択的に除去され、セルロース分の含有率が向上し、リン酸賦活後のメソ孔容量が大きく増大 (1.5 cm^3/g) することが明らかとなった。

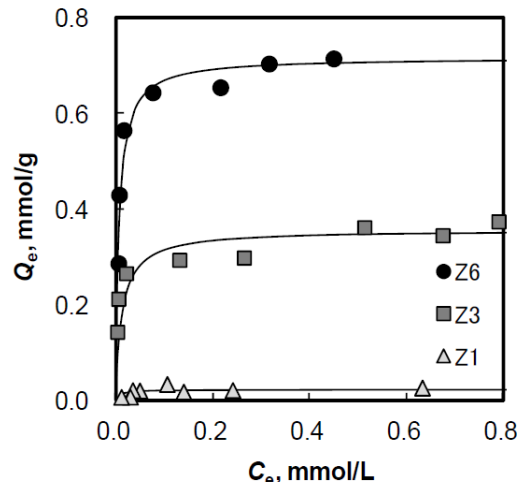


図 1 嵩高い染料 (CR) 分子の吸着等温線。出典：J. Chem. Eng. Jpn. 46 (2013) pp. 134-141 [表 1 も同様]。

(2) 活性炭および活性炭素繊維の表面への窒素原子の導入効果：

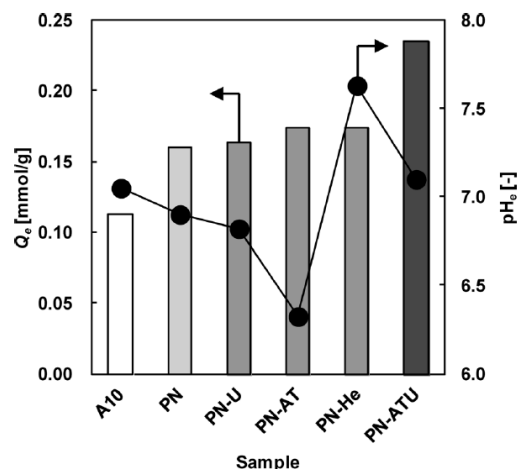


図 2 PAN-ACF の尿素処理によって増加する Cd(II) 吸着量 (室温, 吸着平衡条件)。出典：化学工学論文集 38 (2012) pp.242-249.

市販の活性炭 (AC), 活性炭素繊維 (ACF, 商品名: A10) さらには窒素含有率の高いポリアクリロニトリル樹脂 (PAN, 白色綿状) を空气中で低温加熱処理により数日間不溶化処理した後、CO₂ 雰囲気中 900 °C で賦活して PN-ACF を得た。市販の ACF (A10, 窒素 0.5% 含有) と PN-ACF (窒素 5.0% 上) および PN-ACF をさらに尿素で処理 (PN-U) してか不活性ガス中で 900 °C 加熱処理することにより PN-ATU を得た。その結果、図 2 に示すように窒素含有率の高い ACF の表面にさらに窒素を導入した活性炭素繊維 (PN-ATU) が最も高い Cd(II) 吸着量を示した。窒素を導入すると孤立電子対をもつ窒素元素 (N:) がカドミウムイオン

(Cd^{2+})の吸着点になっていることが推測された。また、XPSによる表面分析の結果、 Cd^{2+} に対して吸着力(静電引力)ではなく斥力として働いてしまう4級窒素(=N⁺<)が混入していることも明らかとなった。このため今後、4級窒素の量を制御できれば更なる吸着量のアップを期待できる。活性炭上の窒素は4級窒素の他に、ピリジン、ピロール、アニリンなどさまざまなタイプの形態(species)で存在している。これら表面処理したACFで代表的汚染物質であるフェノールの吸着を調べた結果、フェノール吸着量は窒素の有無や形態に関係なく活性炭の比表面積に比例することも確かめられた。これらの結果から、活性炭表面に窒素を導入する処理では、活性炭本来の有機物の吸着性能を維持して重金属イオンの吸着量もアップできる可能性がある。

(3) 活性炭表面への酸素原子の導入効果：

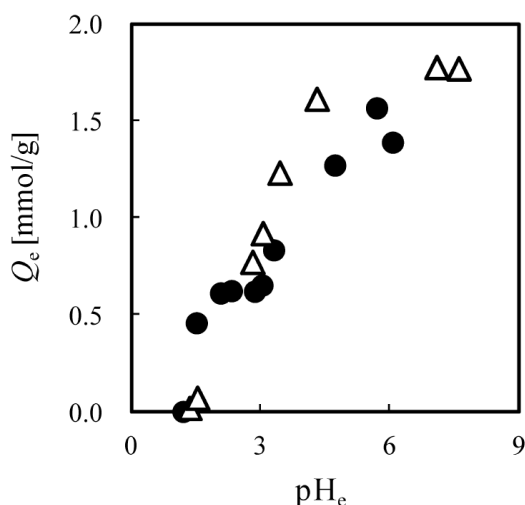
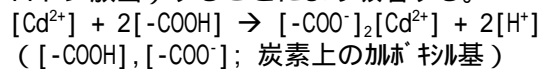


図3 7.5 M 硝酸酸化(△)およびAPS溶液/活性炭の比率 100 mL/g(●)で酸化した粒状活性炭へのカドミウムイオンの吸着、平衡pH(pH_e)の関係、初濃度: C₀ = 400 mg-Cd/L (3.56 mmol/L). 出典：化学工学論文集, 39 (2013) pp.508-513.

活性炭表面に大量の酸性酸素官能基を導入することを目的に、これまでの酸化条件を見直し、より過酷な条件での酸化を試みた。熱濃硝酸(7.5 M and conc. HNO₃)にして処理して、カルボキシル基やラクトン基を導入した。また、ペルオキシ二硫酸アンモニウム(APS, (NH₄)₂S₂O₈)を溶解させた1 M 硫酸溶液の活性炭に対する比率を従来の10 mL/gから50 mL/g以上に引き上げ、より過酷な条件での酸化を試みた。さらに、空気中での加熱処理を110℃として(従来 350℃)生成したカルボキシル基の二酸化炭素への転化を抑えた。図3に過酷な酸化条件で得られた酸化活性炭に対するカドミウムイオンの吸着量の平衡pH(pH_e)の変化で示した。pH調整をしないとカドミウ

ムイオン(Cd^{2+} , 2価の陽イオン)がカルボキシル基(-COOH)のプロトンとイオン交換(プロトン放出)することにより吸着する。



このため pH_eが低下すると溶液中のプロトンがカドミウムイオンの吸着を阻害する。そこで塩基を加え、放出されたプロトンを中和することにより吸着量が増大する。結果的に最大で2.0 mmol/gに近い(ca. 200 mg-Cd/g)のCd(II)の吸着が可能となった。過酷な酸化条件では吸着容量が増大できる反面、比表面積が酸化前の1000 m²/gから僅かに10 m²/gにまで激減する。マクロ的には表面積の減少に伴い、粒状の活性炭の強度も低下し粉化しやすくなったり、水溶液の液性を塩基性側(高いpH)にすると炭素骨格の一部が加水分解されて溶けだしてくる現象(塩基性水溶液が茶色~黒褐色になる)が観測されたりする。表面積が減少しても、酸性酸素官能基が増加すればカドミウムイオンの吸着量が増加することから、重金属イオンの吸着には表面積は必要ではないと結論できる。しかし、活性炭本来の有機物の吸着は表面積に比例することが予測されるので、ニトロベンゼン(NB)の吸着を調べた結果、吸着量が大きく減少した。現時点では、酸素官能基の導入では、有機汚染物質の吸着性能の低下を犠牲にしなければ、重金属イオンの吸着容量を向上させることはできない。

含酸素官能基の導入では有機汚染物質の吸着性能を落とすことはなかったが、含酸素官能基(-COOH)の導入ほどはカドミウムイオンの吸着量の向上はできなかった。メソポーラスシリカの表面に含硫黄官能基(-SH, チオール基)を導入してみるとカドミウムイオンがプロトンとのイオン交換で効率的に除去できることが確かめられた。活性炭へのチオール基の大量導入については未検討であるが、チオール基はグラファイトシートに導入しても炭素骨格の破壊や有機汚染物質の吸着の阻害などはあまりないと思われるので、今後検討していく予定である。

(4) 硝酸イオンなどの陰イオンの吸着除去：陰イオンの活性炭による吸着除去については研究例も少ないため、先ず過去の文献調査により、酸性官能基は吸着を阻害し、塩基性官能基が吸着を促進することを把握した。特に窒素官能基については、メソポーラスシリカによる表面修飾の検討から、pK_a値が高い程、水溶液中でのプロトンを受け入れ易く、結果的に表面が正(プラス)にチャージすることにより硝酸イオン(NO₃⁻)など陰イオンの吸着が促進されることが判った。現在のところ活性炭に選択的にpK_a値の高い塩基性官能基を安定な状態で効率的に導入する方法が確立できていない。本研究では先ず、活性炭にもともと存在する酸素官能基を塩基性官能基に転化させることを試みた。活性炭上に存在するカルボキシル基やラクトン基などの

酸性酸素官能基は、還元あるいは無酸素雰囲気中で加熱していくと一部の酸素官能基はカルボニル基 (>C=O) などの塩基性官能基に転化する。

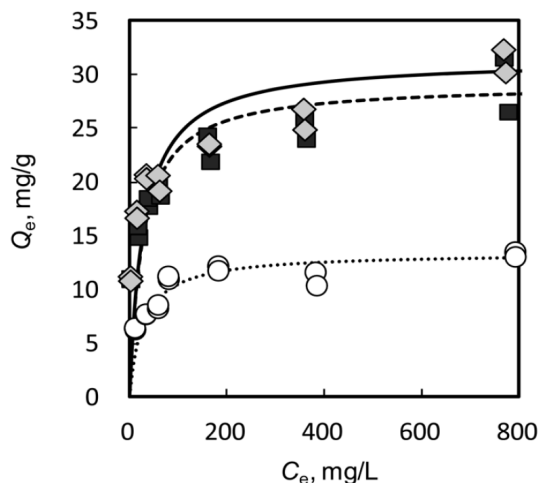


図4 硝酸イオンの25℃, 平衡 pH (pH_e) 5における吸着等温線, ; F400(脱灰済), ; F400-8AG(800℃アンモニアガス処理), ; F400-8OG(800℃ μ outgassing, 加熱処理)
出典: Chem. Pharm. Bull. 61 (2013) pp. 1173-1177.

図4に市販活性炭を酸処理により灰分を取り除いた後, 800℃でそれぞれアンモニアガス処理および脱気処理したときの硝酸イオンの吸着等温線を示した。僅かに酸性官能基が残っていると吸着量は10 mg/g程度に留まるが, 還元や脱気処理をすると2.0~2.5倍の吸着容量の増大が観測された。

(5)水溶液以外での活性炭による吸着特性: これまで主に水溶液中の水質汚染物質の吸着除去について述べたが, 他の系への発展的適用の観点から, 有機溶媒中の硫黄化合物の吸着除去や吸湿特性についても活性炭の表面化学の観点から検討を進めた。有機溶媒中の硫黄化合物について, 石油中に含まれ, 水素化脱硫触媒で除去困難な4,6-DMDBT(4,6-Dimethyldebezothiophene)に対して活性炭上の酸性酸素官能基やスルホ基が有効であることが確かめられた。これらの官能基は芳香族化合物の吸着の障害を受けにくく, 含硫黄化合物に選択的な吸着サイトであると考えられる。湿性能の評価については, アンモニア処理による性能向上が最も大きく, アンモニア処理温度を900℃まで上げていくと調湿では望ましい高湿度域での吸湿性能が急激に上昇した。これは単に炭素表面に酸素原子が導入されただけでなく, 同時にアンモニアガスにより活性炭の細孔径が拡大されたことが原因と推測された。調湿性能に対しては, 炭素表面には酸性および塩基性官能基の両方が有効で, 酸性官能基は低湿度域, 塩基性官能基は高湿度域で有効と推察さ

れた。また, 官能基は酸性と塩基性が混在していても十分に調湿性能を発揮した。これは水分子が, 炭素表面が極性であれば表面の酸には水の酸素原子, 表面の塩基には水の酸素原子が配位するためと解釈できる。

5. 主な発表論文等(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計20件)

Takayuki Watanabe, Muhammad Abbas Ahmad Zaini, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Removal of 2-Methylisoborneol from aqueous solution by cattle manure compost (CMC) derived activated carbons, Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA, 査読有, (2014) *in press*.

Muhammad Abbas Ahmad Zaini, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Enhanced lead(II) binding properties of heat-treated cattle-manure-compost-activated carbons, Desalination and Water Treatment, 査読有, (2014) *in press*.

Yoshimasa Amano, Yufuku Matsushita, Motoi Machida, Arsenic Adsorption by Activated Carbon with Different Amounts of Basic Sites under Different Solution pH and Coexistent Ions, Separation Science and Technology, 査読有, vol.49(3) (2014) pp.345-353

島源英, 天野佳正, 相川正美, 町田基, 今関文夫, リン酸賦活による竹由来のメソ孔活性炭の調製, 炭素, 査読有, vol.261 (2014) pp.2-7.

Rui Wang, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Surface properties and water vapor adsorption-desorption characteristics of bamboo-based activated carbon, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 査読有, vol.104 (2013) pp.667-674.

Tatsuya Iida, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Fumio Imazeki, Effect of Surface Property of Activated Carbon on Adsorption of Nitrate Ion, Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 査読有, vol.61 (2013) pp.1173-1177.

竹内 宏拓, 天野 佳正, 相川 正美, 町田 基, 今関 文夫, 活性炭の酸化条件がカドミウムイオンの吸着におよぼす影響, 化学工学論文集, 査読有, vol.39 (2013) pp.508-513.

飯田 達也, 天野 佳正, 相川 正美, 町田 基, 活性炭の表面状態が硝酸イオンの吸着に及ぼす影響, 環境化学, 査読有, vol.23(2) (2013) pp.91-94.

Kazunari Ota, Yoshimasa Amano, Masami Aikawa, Motoi Machida,

Removal of nitrate ions from water by activated carbons (ACs) - Influence of surface chemistry of ACs and coexisting chloride and sulfate ions, Applied Surface Science, 査読有, vol.276 (2013) pp.838-842.

Hiroaki Yoshida, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Nitrobenzene Vapor Adsorption on Activated Carbon with Surface Oxygen Functional Groups, 化学工学論文集, 査読有, vol. 39 (2013) pp.307-309.

Masaru Iwanaga, Hiroaki Yoshida, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Reduction of Cr(VI) Varying with the Surface Properties of Activated Carbon, 環境化学, 査読有, vol. 23 (2013) pp.19-23.

吉田博明, 天野佳正, 町田基, 表面酸性官能基を有する活性炭によるニトロベンゼンの気相吸着, 化学工学論文集, 査読有, vol.39 (2013) pp.307-309.

Masaru Iwanaga, Yoshimasa Amano, Masami Aikawa, Motoi Machida, Oxidative coupling and dechlorination of aromatic compounds on modified activated carbon, TNASO (炭素), 査読有, vol. 257 (2013) pp.103-109.

Hiroaki Yoshida, Yoshimasa Amano, Tom Bizley, Babak Fotoohi, Louis Mercier, Motoi Machida, Aromatic compound adsorption from aqueous solution on activated carbons - Effects of adsorbate polarity and surface functional groups -, TANSO (炭素), 査読有, vol.257 (2013) pp.116-123.

Takayuki Watanabe, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, The adsorption mechanism and rapid screening of activated carbon for 2-methylisoborneol adsorption, TNASO (炭素), 査読有, vol. 257 (2013) pp.124-134.

Shohei Oishi, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Adsorption of Organic Compounds with Different Molecular Sizes on Activated Carbons with Different Pore Diameters, 化学工学論文集, 査読有, vol. 46 (2013) pp.134-141.

Takayuki Watanabe, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Screening of powdered activated carbons to remove 2-methylisoborneol for drinking water, Water Science and Technology: Water Supply, 査読有, vol.12 (2012) pp. 300-308.

Mami Furuyado, Tomonori Ohba, Yoshimasa Amano, Motoi Machida, Adsorption of Cd(II) onto Activated Carbon Fiber Prepared by Urea

Treatment, 化学工学論文集, 査読有, vol.38 (2012) pp.242-249.

Motoi Machida, Babak Fotoohi, Yoshimasa Amano, Louis Mercier, Cadmium(II) and lead(II) adsorption onto hetero-atom functional mesoporous silica and activated carbon, Applied Surface Science, 査読有, vol.58 (2012) pp.7389-7394.

Motoi Machida, Babak Fotoohi, Yoshimasa Amano, Tomonori Ohba, Hirofumi Kanoh, Louis Mercier, Cadmium(II) adsorption using functional mesoporous silica and activated carbon, Journal of Hazardous Materials, 査読有, vol.221-222 (2012) pp.220-227.

〔学会発表〕(計4件)

町田基, 吸着剤の表面構造によって変化する水質汚染物質の吸着除去特性, 触媒学会千葉地区講演会(招待講演), 2012.6.8, 千葉大学(西千葉キャンパス).
町田基, 活性炭による水質汚染物質の吸着除去, 第13回エコカーボン研究会(招待講演), 2012.8.3, 明星大学(日野キャンパス).

町田基, 活性炭の細孔構造と表面化学によって変化する液相における吸着特性, 第5回CPC研究会(招待講演), 2012.10.19, 東京(連合会館).

Motoi Machida, Yoshimasa Amano, Removal of pollutants from aqueous solution using various activated carbons, The 5th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium 2012 (IJJSS 2012) (招待講演), 2012.10.25-28, 千葉大学.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等:

<http://chem.tf.chiba-u.jp/gacb15/index.html> (千葉大院工学研究科共生応用化学15研)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

町田基 (MACHIDA Motoi)

千葉大学・総合安全衛生管理機構(環境安全部)[兼]千葉大学・大学院工学研究科(共生応用化学専攻)・教授

研究者番号: 30344964

(2) 連携研究者

天野佳正 (AMANO Yoshimasa)

千葉大学・大学院工学研究科(共生応用化学専攻)[兼]千葉大学・総合安全衛生管理機構(環境安全部)・助教

研究者番号: 40517976