HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of low-cost adsorbents based on solid waste materials to remove heavy metal ions in water [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Siswoyo, Eko
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第11529号
Issue Date	2014-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57116
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Eko_Siswoyo_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏　名　Eko Siswoyo

審査委員　主査　教 授 田 中 俊 逸
副査　教 授 古 月 文 志
副査　准教授 豊 田 和 弘
副査　准教授 藤 井 賢 彦
副査　准教授 川 口 俊 一
副査　教 授 町 田　基　（千葉大学大学院工学研究科）

学 位 論 文 題 名

Development of low-cost adsorbents based on solid waste materials
to remove heavy metal ions in water

（水中の重金属イオンの除去のための固形廃棄物に基づく安価な吸着剤の開発）

本研究は、固形廃棄物や植物体など従来は廃棄されていた物質の、カドミウムや鉛などの重金属イオンに対する吸着性能を調べ、安価な吸着剤の探索と開発を目指して行われたものである。固形廃棄物としては、浄水場の浄水過程で排出されるスラッジ、再生紙の製造工程から排出されるペーパースラッジと、スズカケノキ科の落葉高木であるプラタナスの葉を用い、これらの物質の重金属イオンに対する吸着能を調べるとともに、吸着性能を示す鍵となる物質の探索を行っている。また、吸着性能の向上を目指して、リン酸やクエン酸による修飾や、吸着後の吸着剤の回収を容易にするために吸着剤の寒天ゲルへの内包についても検討している。これらの結果を基に、吸着剤のコストについて解析を行い、従来の吸着剤と比較することによって、本研究で検討した吸着剤に関する評価が行なわれている。

浄水場からのスラッジに関しては、札幌市の宮町及び西野浄水場から排出されたスラッジを用い、水による洗浄の後乾燥させたものを吸着剤として用いている。成分分析の結果、スラッジの主成分は、原水に含まれる有機物質と粘土鉱物、河川水に比較的多く含まれる鉄やマンガン、及び凝集剤として添加されたアルミニウム化合物であり、これらのスラッジにはカドミウムや鉛はほとんど含まれていないことが判明している。吸着実験の結果、宮町と西野の浄水場からのスラッジはともにカドミウムに対する吸着能を持ち、その最大吸着量はそれぞれ5.3と9.2 mg/gであった。スラッジの主成分であるアルミニウム化合物として硫酸アルミニウム、粘土鉱物としてカオリン、有機物としてスラッジから抽出し精製したフミン酸を用いて実験室で構成の異なる幾つかの模倣スラッジを作製し、それぞれの成分自体の吸着能及び模倣スラッジの吸着能が調べられた。その結果、フミン酸と鉄を含む模倣スラッジが高い吸着能を示し、両者を同時に有する模倣スラッジは、実際のスラッジと同程度の吸着性能を示すことを明らかにしている。このことから、スラッジ成分の中で、フミン酸と鉄の酸化

物が主要な吸着サイトであることを推定している。

次に、再生紙の製造工程から排出されるペーパースラッジを加熱して得た炭素素材の、カドミウムに対する吸着能が調べられた。この物質は炭素とともにアルカリ及びアルカリ土類金属の塩からなり、カドミウムに対する吸着能はそれほど大きいものではないが、この物質をリン酸で処理することによって吸着能は大きく向上し、最大吸着量としてカドミウムと鉛に対してそれぞれ、29と139 mg/gが得られた。

プラタナスはスズカケノキ科の落葉高木であり、葉がよく茂り大気汚染にも強いことから街路樹などに利用されている。落葉は集められて堆肥などに利用される以外は特別の用途はほとんど知られていない。そこで、プラタナスの葉を集めて水で洗浄し、乾燥後に粉砕して粉末状にし、そのカドミウムに対する吸着能が測定された。その結果、カドミウムに対する最大吸着量は25 mg/gであった。プラタナスの葉をクエン酸で修飾することによってその吸着能は83 mg/gに向上し、クエン酸の修飾が吸着能の改善に効果的であることが示された。さらに吸着剤の回収の容易さを考慮して、クエン酸で修飾したプラタナスの葉の粉末を寒天ゲルに内包させ、同様の吸着実験を行ったところ、吸着能に大きな変化は見られなかったが、吸着速度は大幅に減少した。従って、寒天ゲルへの吸着剤の内包条件のさらなる検討が必要である。

本研究で開発された三つの吸着剤とその修飾体について、材料入手費、洗浄・乾燥などの調製費、修飾を伴う素材については修飾に必要な試薬のコストや製造費などを加味し、1 kgの吸着剤製造のコストを算出し、市販の活性炭などのコストと比較している。また、製造にかかわる人件費については、先進国と発展途上国での差が大きいことから、製造に必要な時間を算出することによって評価している。その結果、本研究で開発された吸着剤はいずれも活性炭等と比較して安価な吸着剤となりうることが示された。

以上、本論文により、従来は廃棄物として扱われていた浄水場からのスラッジやペーパースラッジ、またプラタナスの葉が重金属イオンに対する吸着性能を示し、吸着剤として利用できることが明らかにされた。また、浄水場からのスラッジについてはその主な吸着サイトが、腐植物質のような有機物と鉄の酸化物によるとの推定に至っている。ペーパースラッジ、プラタナスの葉についてはそれ自体重金属イオンに対する吸着能を示すが、さらにリン酸、クエン酸による修飾を行うことで吸着能を向上することを明らかにしている。また、簡便なコスト解析によってこれらの吸着剤が活性炭など従来の吸着剤よりも安価であることが示された。これらの研究は、発展途上国で安価な吸着剤を廃棄物等から探索する際の道筋を示すものであり、発展途上国での環境の保全にも貢献するものと期待できる。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに充分な資格を有するものと判定した。