

セラミックス多孔質体を用いた水質浄化

西 田 哲 明*

1. はじめに

化学系の工場やメッキ工場から放出される工場廃液だけが河川や海洋を汚染している訳ではない。一般家庭や飲食店などから放出される生活排水中の洗剤や油などの環境汚染物質は河川に流れ込み、やがて海洋に達する。

水質汚染を解決する為にはどうしたらよいだろうか？ 一つは、その原因を絶つ、あるいは汚染物質の量を減らすことであろう。一般家庭から排出される生活排水はきれいな形にしてから河川に放出する必要がある。下水道を完備すれば、この問題は解決できる。残念ながら、我が国の下水道の整備状況は2004年現在、68%に過ぎない¹⁾。これでは、きれいな川や美しい海を維持することは困難であろう。下水道のない地域では合併浄化槽を使って、生活排水をきれいに（例えば、BODの値を合併浄化槽排出基準の一日平均である20mg/l以下）してから河川に放流することが効果的であろう。合併浄化槽の設置に関しては国や自治体の補助があるので積極的に設置して欲しい。

工場や飲食店などから排出される各種排水についても基本的な考え方は同じである。これら施設の出口のところで、排水中のBOD濃度を一般河川水の基準値を下回る程度にまで水質浄化することが重要である。

排水処理で重要なポイントが幾つか挙げられる。一つは、浄化材に何をを用いるか、ということであろう。多くの水質浄化剤が市販されており、浄化目的に応じた浄化剤の選択が重要であろう。また1種類の浄

化剤だけで目的とする汚染物質を除去できればよいが、そうでなければ浄化システムの構築が重要となってくる。幾つかの浄化剤や浄化プロセスを効率的に組み合わせることにより、より効果的な水質浄化を実践することが重要である。

廃棄物問題に目を向けて見ると、年間に約4億5千万トンの「ごみ」が出ている。その大部分（4億トン）が産業廃棄物であり、残り5千万トンがガラスびんなどの一般廃棄物である²⁾。産業廃棄物の中では、火力発電所などから産業廃棄物の石炭灰が、2003年度には987万トン発生している²⁾。その85%がセメント材料などに利用されているが、残りの150万トンは埋立処分されている。石炭の年間使用量は増え続けており、2010年には1200万トンに達すると予想されている。

一方、ガラスびんなどの廃ガラス（板ガラスを除く）の年間発生量は、2001年度は260万トンと報告されている³⁾。廃ガラスの場合、僅か25%が再利用され、残りの195万トンは安定型処分場へ廃棄されている。廃ガラスをリサイクルしてガラス製品を作るのに要する電気エネルギーなどのコストは、珪石やソーダなどの原料からガラスを作るよりも2～3割少なくて済む。資源の乏しい我が国ではリサイクルに活路を見出すことが重要である。この美しい国土が廃棄物に埋もれ、エネルギーも食物もこれ以上、海外に依存することのないよう、知恵を出し合って資源循環型社会を構築することが科学者、技術者の責務であろう。

このような観点から、西田は先に石炭灰（フライ

*近畿大学産業理工学部生物環境化学科・大学院産業技術研究科物質工学専攻 教授

アッシュ)とガラスびんを原料として極めて吸水性、保水性に優れたセラミック多孔質体を開発し、2002年に近畿大学から北九州 TLO (技術移転推進機関) 経由で特許出願し、特許査定されている⁴⁾。このセラミック多孔質体のかさ密度は、化学組成にも依るが、例えば 1.2g/cm^3 程度である。孔の大きさや数、機械的強度、耐熱性などは、化学組成、試料作製時の加熱温度、加熱時間を変えることにより自由に設計することができる。例えば、BET 法や Langmuir 法で測定したセラミック多孔質体の細孔の比表面積は $0.05\sim 7.5\text{m}^2/\text{g}$ 程度の値が得られている。

本研究では、セラミック多孔質体を用いて模擬排水の浄化実験を「浸漬ろ床法」を用いて実施した。セラミック多孔質材料として、西田研究室で電気炉を用いて作製したものと、荒木窯業(株)(本社久留米市)でガス炉を用いて作製したものの二通りを実験に用いた。比較のため、同一セラミック多孔質体に活性汚泥を加えた場合と、加えない場合の対照実験も行なった。(活性汚泥中には各種細菌や原生動物など数多くの好気性微生物が含まれており、下水終末処理場で汚水処理に利用されている。)

実験の結果、セラミック多孔質体と活性汚泥を組み合わせた方が、活性汚泥を単独に使った場合よりも遥かに水質浄化能が大きいことが明らかになった。以下に実験室で行なった浄化実験の一部を紹介する。

2. 実験

2.1 セラミック多孔質体の製造方法

石炭灰(九州電力(株)提供)とガラスびん(大塚製薬清涼飲料水オロナミンC)をよく粉碎し、質量比が2:5になるように精秤した後、よく混合して鉄製の容器に入れ、 950°C に設定しておいた電気炉中で60分間加熱した。加熱後、容器ごと電気炉の外へ取り出し、室温付近まで放冷した(西田研究室製造, Fig.1)。これとは別に、上記と同じ石炭灰とガラスびんの質量比が5:1になるように精秤した後、よく混合してアルミナシリカ製の容器に入れ、 1150°C に設定しておいたガス炉中で60分間加熱した。加熱後、ガス炉内で常温付近まで放冷した(荒木窯業

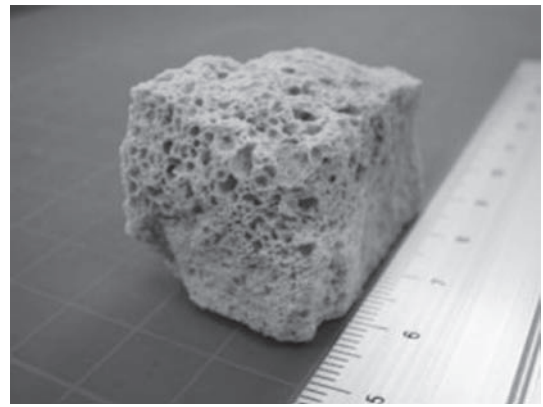


Fig.1 セラミック多孔質体(例)
(石炭灰:ガラス=2:5)



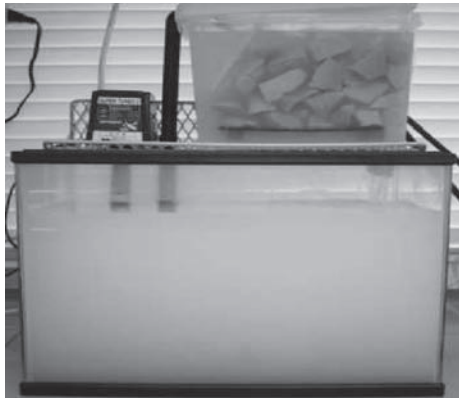
Fig.2 セラミック多孔質体(例)
(石炭灰:ガラス=5:1)

(株)製造, Fig.2)。これら一連のセラミック多孔質体中の孔の直径は製造条件によるが、多くは数 nm ~ 80nm 程度である。これらセラミック多孔質体の最大の特徴は、孔が連続していることであり、水を加えると瞬時に吸収してしまう。水を加え続けると、やがて吸水限界を超えて水滴が落ちてくる。すなわち、これらセラミック多孔質体は吸水力と保水力に優れており、断熱性にも優れている。

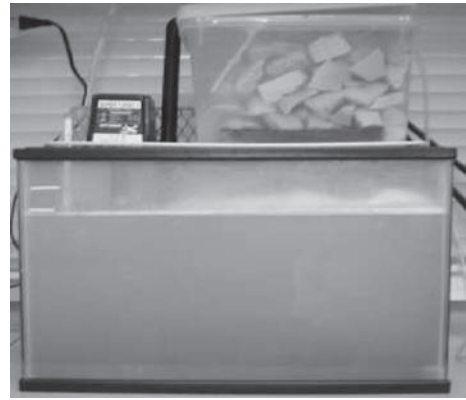
石炭灰とガラスの質量比(組成)と加熱温度、加熱時間、加熱雰囲気を変えることにより孔のサイズ的设计・制御が容易である。石炭灰とガラスの比を5:1から1:5の範囲で変えると、セラミック多孔質体の製造に必要な温度は $900\sim 1200^\circ\text{C}$ 程度である。

2.2 浄化実験

浄化実験は、Fig.3に示すように、水槽上部にかご



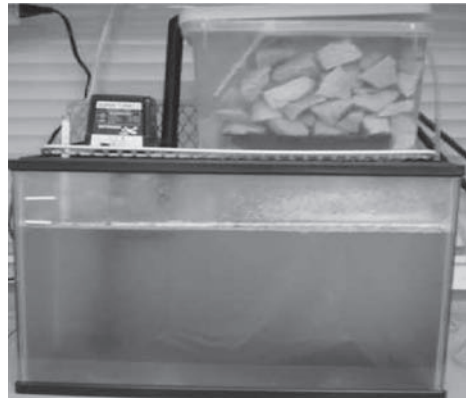
浄化実験 1 日目 (開始直後)



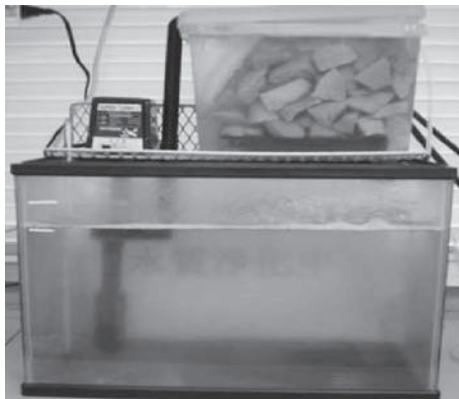
浄化実験 2 日目



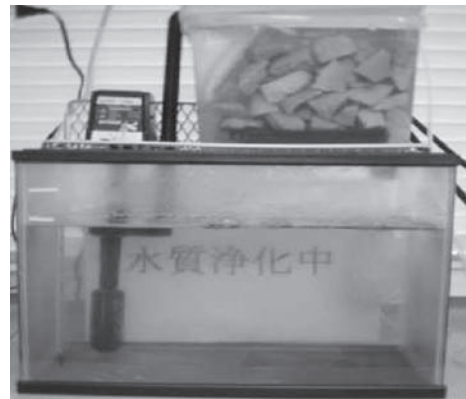
浄化実験 3 日目



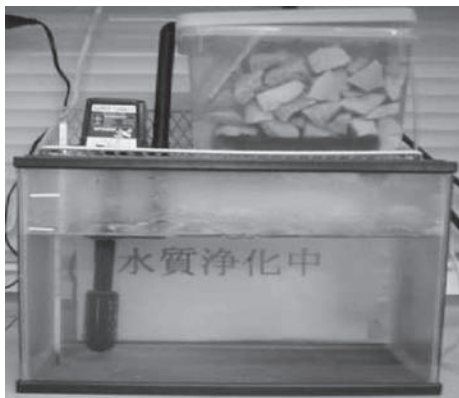
浄化実験 5 日目



浄化実験 6 日目



浄化実験 8 日目



浄化実験 11 日目

Fig. 3 セラミック多孔質体 (石炭灰:ガラス= 2:5) を用いた浄化実験: 牛乳 100mℓ と活性汚泥 15mℓ を超純水 15ℓ に加えて水を循環させている。

を設置し、その中に一辺が3~5cm程度、質量8~12g程度に破碎したセラミック多孔質体（総重量750g）を置いて、牛乳100mlと水15lから成る模擬排水をポンプで汲み上げてセラミック多孔質体付近を強制的に通過させた。水槽中に活性汚泥15mlを添加し、十分な空気を送りながら2週間程度の浄化実験を行った。対照試験として、活性汚泥を全く添加しなかった系についても同様の実験を行なった。

3. 結果と考察

水槽中の超純水15lに100mlの牛乳を模擬排水として加えた後の水質の浄化の様子をFig.3に示す。浄化実験1日目の水槽は牛乳で白くなっているが、2日目、3日目になると牛乳が微生物によって分解され、牛乳による白濁が次第に失われ、6日目あたりからは水を吸い上げるために水槽内部に設置したポンプがはっきり見えて来る。またこの時、水槽の向こう側に置いた「水質浄化中」の文字が鮮明に見えるようになる。このように活性汚泥を加えた模擬排水をポンプで吸い上げ、セラミック多孔質体の表面と内部を強制的に循環させることにより汚水が浄化されることが分かる。

Fig.3に示した水質浄化を定量的に評価する目的で、定期的にこの水槽中の水のCODとBODの測定を行った。それぞれの結果をFig.4とFig.5に示す。Fig.4では当初250~270mg/l程度であったCODの値が日数が経つにつれて小さくなり、●で示した多孔質体（西田研究室製造）の場合は5日後には10mg/l程度にまでなっており、最終的な水質浄化率

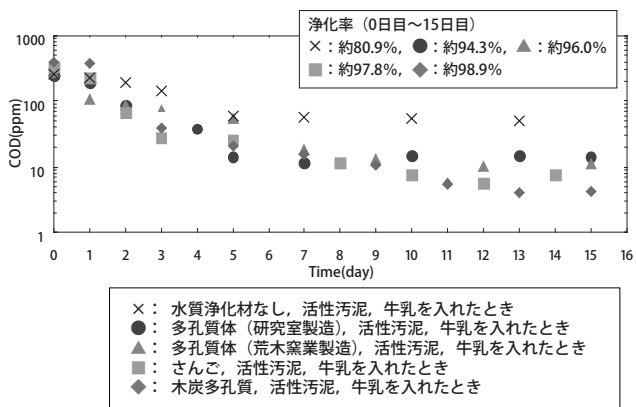


Fig. 4 水質浄化実験結果 (COD)

は94%となる。▲で示した多孔質体(荒木窯業製造)の場合も同等の浄化が確認され、浄化率は96%となった。×で示したデータは、これらセラミック多孔質体を用いることなく、微生物(活性汚泥15ml)だけで浄化実験を行った結果である。このとき、最終的な浄化率は81%程度であった。すなわち、セラミック多孔質体と活性汚泥を併用した方が、活性汚泥を単独で用いるよりもはるかに水質浄化の効率が高いことが分かる。

Fig.4中には木炭とガラスを原料にして作成した「炭含有セラミック多孔質体⁵⁾」の実験結果(◆)と、料亭などの生簀で使われているサンゴを用いた実験結果(■)を示す。前者では浄化率99%、後者では98%という極めて良好な結果を示している。

Fig.5に示したBODの実験結果から、セラミック多孔質体の効果がより顕著であることが分かる。当初、BODの値は740~800mg/l程度であったが、日数と共に顕著に減少している。例えば、●で示したセラミック多孔質体(西田研究室製造)を使用した場合、BODは2.6mg/lまで減少し、最終的な浄化率は99.7%であった。▲で示した多孔質体(荒木窯業製造)の浄化率は99.0%(7.5mg/l)であった。いずれも生活排水の排出基準値、20mg/lをクリアしている。また、「炭含有セラミック多孔質体⁵⁾」を用いた浄化実験の結果(◆)と、サンゴを用いた実験結果(■)では最終的な浄化率がそれぞれ99.4%と99.6%という極めて良好な結果を示している。一方、×で示した、微生物(活性汚泥)のみ用いた浄化実験の浄化率は95%程度であった。

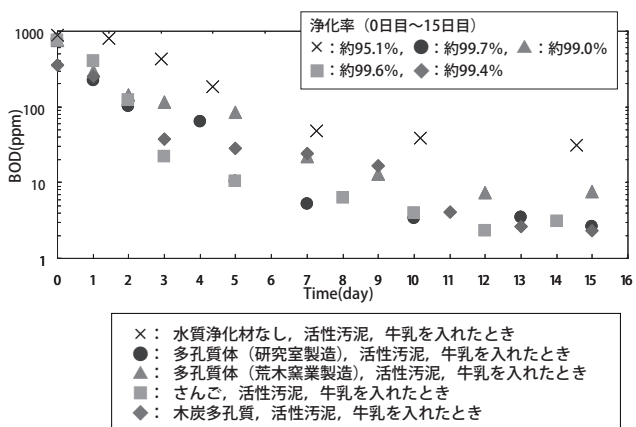


Fig. 5 水質浄化実験結果 (BOD)

このBODの結果からも分かるように、活性汚泥とセラミック多孔質体を併用した方が、より効果的な水質浄化ができることが分かる。セラミック多孔質体の細孔の表面で、活性汚泥が効率よく繁殖していることが推測される。

4. まとめ

石炭灰(フライアッシュ)とガラスびんからセラミック多孔質体を作製し、水質浄化実験を行った。牛乳を模擬排水とした水質浄化実験では、少量の活性汚泥を添加することにより浄化が進行し、CODの値から95%以上の水質浄化が確認された。一方、BODでは99%以上の水質浄化が確認された。セラミック多孔質体を用いず、同量の活性汚泥だけ用いた実験では、浄化率はCODで81%、BODでは95%であった。このように、微生物と多孔質体を組み合わせた方が、微生物単独の場合よりも浄化能力が高い。

石炭灰の中でも処理やリサイクルの厄介な「ボトムアッシュ」をリサイクルした新規セラミック多孔質体⁶⁾でも本研究で紹介したセラミック多孔質体(フライアッシュ使用)と同等以上の浄化率が確認できた。

これらのセラミック多孔質体は一般家庭の生活雑排水や飲食店、養豚場、でんぷん工場、化学系工場などから放出される各種排水や廃液の浄化、廃棄物処分場や河川、池、湖沼などの水質浄化に有効である。

なお、本実験では浄化の様子をある程度詳しく観察することを念頭において、活性汚泥やセラミック浄化材の数量を低めに設定している。合併浄化槽の浄化材、生活排水や各種廃液の浄化目的でこれらセラミック多孔質体を使用する場合は、数量を増やす

ことにより効率的な浄化が可能となる。

謝辞

本研究に協力して頂いた宇部工業高等専門学校准教授の久富木志郎博士、近畿大学大学院産業技術研究科博士前期課程(当時)の玉城 淳君、安原正晃君、三浦隆志君に感謝します。

引用文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部報告
<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/date/fukyu.html>
- 2) 財団法人石炭エネルギーセンター, <http://www.jcoal.or.jp/coalash/coalash.html>
- 3) セラミック, 37(2002)717-725
- 4) 西田哲明, 特許「石炭灰, 金属精錬炉からのダスト等を原料とする多孔質ガラスセラミックスの製造方法」特許第4269011号(2009)
- 5) 西田哲明, 特許「炭含有多孔質ガラスセラミックス及びその製造方法」特願2006-58473
- 6) 西田哲明, 三浦隆志, 安原正晃, 特許「セラミック多孔質体及びその製造方法」特願2007-172753

キーワード: リサイクル, 石炭灰, 廃ガラス, セラミック多孔質体, 水質浄化, 浸漬ろ床法, 活性汚泥, COD, BOD

Keywords: recycling, coal ash, waste glass, porous ceramics, water purification, immersing filter bed process, activated sludge, COD, BOD