

ゼロエミッションを目指したサステイナブルシステム

村上 雅博

1. 研究概要

現在、世界中でさまざまな環境問題が議論されている。最近の身近な問題としては、廃棄物の最終処分場のひっ迫などの環境制約、将来的な鉱物石油資源の枯渇に対する懸念などの資源制約といった現実的な環境問題に我々が直面している。これらの制約は今後、日本が持続的な発展を達成する上で、経済活動への制約となりかねない深刻な状況に現在置かれている。そのため、廃棄物・リサイクル問題は早急な対応が必要となっており、環境・資源制約への対応が経済成長の制約要因になるのではなく、むしろ、新たな経済成長の要因の一部として前向きにとらえ、環境と経済が両立した新たな循環型社会システムを構築することが急務となっている。そして我々の生活においてはこれまでのような物資やエネルギーの大量消費・大量廃棄を伴うライフサイクルではなく、“Reduce“(リデュース:廃棄物の発生抑制)、“Reuse“(リユース:再使用)、“Recycle“(リサイクル:再資源化)といった、いわゆる「3R(スリーアール)」の取組を進めていくことが必要であると平成11年の産業構造審議会における報告書「循環型経済システムの構築に向けて」(循環経済ビジョン)の中で取りまとめられ、提言された。また平成12年6月には「循環型社会形成推進基本法」が環境省から公布された。そこで、社会システム工学の立場から環境問題を捉え、水とゴミ問題に着目した研究テーマにチャレンジす

ることとした。

現在、日本では下水道と合併・個別浄化槽などを合わせると約8割の汚水が、標準活性汚泥法等による汚水処理がなされている。しかし、河川・湖沼における富栄養化(窒素、リンの値が高い)による水質悪化は進行し続けており、社会問題となっている。その原因としては、現在行われている二次処理(活性汚泥法)による処理では、下水処理施設や浄化槽からの処理水が窒素・リン濃度が削減されないまま公共水域に放流されていることが挙げられる。その一例として、茨城県にある霞ヶ浦では富栄養化による水質悪化が起こったため、流入域では下水処理場や浄化槽による汚水処理対策が行われた。しかし、霞ヶ浦の現況は以前より一般水質(COD)は改善されたものの依然として富栄養化状態は続いている。池や湖沼、内湾等の閉鎖性水域では、高濃度の汚水排水(窒素やリン)が流入しても希釈する循環性の淡水が少ないため、アオコや赤潮などが発生しやすい環境になっている。

水質改善方法の一つとして、三次処理(高度処理)による汚水排水の窒素やリンを減少させることが考えられる。しかし、現在一部の地域で行われている高度処理は、薬品やオゾンといった化学的又は電気的な吸着・除去手法によるもので、維持管理にかかるコストが高い。

現在は、ガラス廃材、間伐材や孟宗竹はほとんどリサイクルや資源として利用されておらず、ほ

ば固形廃棄物として処分されている。しかしそれを簡単な加工によって廃棄物ではなく重要な資源として水質浄化に利用できれば、現在行われている高度処理に比べて環境負荷も小さく、低コストで再利用が可能な循環型バイオフィルターとして利用することができる。従来の化学的又は電氣的なプラント処理による吸着・除去手法と比較しても環境負荷へのリスクが低く、コストもはるかに安い。

一般的には竹炭・杉炭・備長炭・発泡ガラスなどのフィルター材は水質浄化能力が高いと考えられているが、どれぐらいの水質浄化能力を持っているかについての定量的な評価、特に竹炭においてはほとんどされていない(濱津, 2002)。よって、固形廃棄物を原料とした発泡ガラスや炭の浄化能力を定量化することにより、今まで廃棄物として扱われてきたガラス廃材、森林に切り捨てられている間伐材、生物多様性を脅かす有害外来種の代表である孟宗竹などを環境改善の有効な資源として循環再利用できる可能性がある。

2. 成果目標

本研究の目的は、環境の世紀といわれている21世紀において、「地球環境への負荷が少ない持続可能な循環型社会の形成」を目指すこと(最大のコンセプトな目標はゼロエミッション)を大きな目的とし、具体的な実験の目的は、河川・池・湖沼における富栄養化による水質悪化問題を解決するために、孟宗竹と杉の間伐材を炭化したものや廃ガラスを発泡させたものを用いて、素材の特性による水質浄化能力の違いを定量的に比較検討することから、それらの中で環境負荷、コスト面を踏まえて最も効率がよく水質浄化に適しているバイオフィルターを見いだすことである。10年後の2015年を目標に、高知県内の未

利用木質固形廃棄物(間伐材)の再資源化率を50%上げるために必要なゼロエミッションに係わる政策提言を示すことである。

3. 研究成果

3.1 二次処理水を原水とした浄化(三次処理)

実験

浄化実験に使用した原水は高知工科大学校内の回遊式間欠バッキ(酸化池)方式の浄化槽から排出される二次処理水を用いた。大 학교内に設置された四万十川方式浄化システム(三次処理)における滞留時間は9時間程度と考えられて設計されている。しかし、今回の11月に実施した浄化(三次処理)実験結果を整理してみると、ほぼ1時間程度で各水質項目の最高除去率(60~90%)に達している。

各水質項目についての浄化率を考察すると、pHについては竹炭と備長炭が強いアルカリ性を示していたが、これは炭を低温で焼いた場合空気中の酸素と結合し酸性を示すが、備長炭については1000℃以上の高温で焼かれているため炭の酸素及びガス成分が抜け、強いアルカリ性を示したと考えられる。しかし竹炭に関しては杉炭と同じ温度での製造にもかかわらず、アルカリ性が強いのは竹の構造が杉に比べ単純な構造をしているため、酸素とガス成分が多く抜けた結果、強いアルカリ性を示したと考えられる。

COD除去に関しては竹炭が鮎の生息できる水質基準3ppm以下となったほか、杉炭は鮎よりもきれいな水質に生息するヤマメ、イワナの生息できる水質基準1ppm以下を達成していた。備長炭と発泡ガラスについては、ほぼ除去できていない状況であった。このことからCODの除去には表面積が関わり、竹炭・杉炭といった表面積が大きいバイオフィルターほどCOD物質(有機物など)

が効率よく除去されたものと考えられる。しかしこの除去率の高さが炭による吸着によるものなのか、微生物が定着しやすい状況にあったからなのかは、本実験で特定することができない。だが、両方の作用による除去の可能性も考えられる。

次に窒素だが竹炭・杉炭は高い除去性能を発揮した。これは本研究で二次処理水を用いたことから、本実験装置の嫌気性条件化に流入するまでに好気性微生物(亜硝酸菌や消化菌)によりアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)は亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)や硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)に酸化される。その後、嫌気状態である本実験装置で嫌気性微生物によって還元が行われ、一部は亜酸化窒素として残るが、大半が窒素ガスに変換され除去された可能性がある。しかし、もう一つ竹炭と杉炭は、炭素であることから亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)や硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)と反応し、窒素ガスに変換されたため汚水排水中から除去されたとも考えられる。また、両作用による可能性も考えられる。

リンについては、窒素のように有機化合物との反応によりガスとして水中から除去されるのではなく、リン酸イオンを電解により他の物質と反応させ難分解性(あるいは難溶性)のリンに変換して沈殿させる方法、または凝集剤を添加して直接凝集させる方法しかない。しかし、この方法はいずれも薬品を用いた電氣的又は、化学的方法によるもので環境に悪影響を及ぼす可能性がある。そこで環境負荷を最小限にするため、エコロジカルなバイオフィルターを用いた吸着を行うことにしたが、杉炭の40%除去が最も高い除去率に終わった。今回リンの除去に関しては、電気や化学的方法をまったく用いていないことから炭によるリン吸着又は、炭の成分との反応により凝集され除去された。もしくは生物学的な除去の3パターンが考えられる。しかし今回の実験ではその

いずれによるものかは特定できない。

色度は、二次処理の段階では汚水が好気性微生物反応槽で酸化され黄褐色であったが、竹炭、杉炭では一時間程で完全に脱色することが出来た。さらに、臭気に関しても通常行われている污水处理では脱臭することが難しい。しかし、これも1時間程の透過で人間が感じる事のないレベルまで除去することが出来た。通常、嫌気性条件化では微生物が有機物を除去する際に臭いの基となる物質を排出することから腐敗臭(汚水臭)がするが有機物などの除去が短時間で行われたためか、全く臭わなかった。また、黄褐色に付いている色の原因物質も有機物であるが、その黄褐色の色が除去できたことを考えると、今回バイオフィルターとして用いた竹炭、杉炭は有機物の除去に関しては非常に効果的であったと思われる。

今回、竹炭・杉炭・備長炭・発泡ガラスを用いて三次処理実験を行った結果、汚水浄化に最も適しているバイオフィルターは杉炭である。しかし、現状としては竹炭や杉炭の需要がほとんど無く、生産体制が確立していない。そのため、現段階で杉炭を用いた三次処理にかかるコストを算出する事は困難である。しかし、現在高知工科大学で行われている三次処理では、廃プラスチックで作られた接触濾材、椎茸のホダ木、石灰岩、杉炭と多くのフィルターとエアレーション等により浄化しているが、今回の実験結果から嫌気状態で杉炭だけで十分な浄化能力があることが分かった。そのため、フィルターも炭だけにすることが出来、エアレーションの必要性も無い。よって、現在行われている三次処理よりコストはより安価で省エネ型の運転と維持管理が可能であると考えられる。

3.2 竹炭からのリン溶出実験の考察

最近、竹炭を使って池の水質浄化を行う活動も見受けられ、竹炭は水質浄化に有効なものと考えられていた。しかし、竹炭を用いたリンの溶出実験では、竹炭からリンの溶出が起きているという、大変興味深い結果が得られた。これは、竹が持っている性質のリンとミネラルを多く含有しているという特性によるものと考えられる。しかし、本実験でなぜそれが溶出するかについてのメカニズム解明には至っていない。しかし、可能性と言えるのは炭を製造する際の熱によって、リンが溶出しやすい性質に変化している可能性が考えられる。また、電気伝導度に関しても実験開始から徐々に高くなっていることから、リンだけでなくミネラルなどの他の物質も溶出している可能性がある。よって、水質汚濁の原因となっているリンが除去できないため、富栄養化対策を目的とした水質浄化のバイオフィルター材としては竹炭を利用することには問題がある。

4. 教育成果

関連する学士論文テーマは以下のとおり。

「固形廃棄物をバイオフィルターとして適応した水質浄化」, 「木造住宅に高知県産間伐材を利用することによる経済波及効果と地球環境貢献度の評価」