

微生物膜バイオリアクターを用いる 生活排水浄化システムの開発

村上和雄*¹ 渡邊快記*² 根本 明*³ 白鳥秀幸*³ 斉藤丈士*³ 関 裕司*³ 浅見保子*²

The Development of Home Drainage Purification System using a Microbe Membrane Bioreactor

Kazuo MURAKAMI, Hayaki WATANABE, Akira NEMOTO, Hideyuki SHIRATORI,
Takeshi SAITOU, Yuji SEKI, and Yasuko ASAMI

1. はじめに

日本河川の最近の汚濁状況は、「横ばい・改善」か、「汚濁が進んでいる」に大きく分かれる。大都市周辺の上水道源とされている河川(淀川、木曽川、相模川など)は、下水道整備や排水規制で横ばいか、改善が見られるが、その他の河川では、概ね汚濁が進んでいる。流域での急速な宅地開発(大和川、多摩川、鶴見川など)や大都市周辺の中小河川では、企業に対しては排水規制があり、それら河川の汚濁原因は家庭排水にあると言われている¹⁾。

家庭排水が浄化されることにより、下水道のない地域の河川浄化はもちろんのこと、下水道のある地域でも下水処理場で使用する電力をはじめ化学薬品など諸経費を削減できるというメリットがある。

著者らは、省資源、省エネルギー、試薬無使用、低コストの微生物膜バイオリアクターを用いる汚濁水、特に河川水の浄化システムを検討してきた。微生物膜バイオリアクターシステムの特徴は、多孔性焼結体や発泡ガラスが充填された二つのリアクターを直列につなぎ、そこに汚濁水を通過させるだけの単純なもので、第一のリアクターには嫌気性微生物を、第二のリア

クターには好気微生物が固定されている。このシステムによる汚濁水の浄化効果については、すでに報告している^{2)～6)}。

今回は、家庭排水の浄化へこれまで得られた成果を応用した。本稿では、システムを作製するための基礎的な実験を行ったので報告する。

2. 実験

1) 家庭排水の汚濁測定

i) COD: 工業用水試験法 JISK0102 とセントラル科学製デジタルCODメーター HC-407 を用い電量滴定法で測定。

ii) 全リン: 工業用水試験法 JISK0102 モリブデン青法に従った。

iii) 全窒素: 工業用水試験法 JISK0102 カドミウム還元法に従った。

2) 固定化担体

本浄化システムの固定化担体には、これまで河川浄化に採用してきた、建設材料製造の碎石・砕砂工程で生じる微粒土を焼結した多孔質焼結体を使用した。この多孔質焼結体の物性、化学組成についてはすでに報告している⁶⁾。

多孔質焼結体は、これまで著者らが検討してきた固定化担体の中で、微生物が効率よく固定化されるので、固定化担体として採用した。

3) 油脂分吸着材

家庭排水に、調理で使った油を直接流すこと

*¹ 東京家政大学 (Tokyo Kasei University)

*² (財) 東京都医学総合研究所 (Tokyo Metropolitan Institute of Medical Science)

*³ (株) 内山アドバンス中央技術研究所 (Research Institute of Technology)

は少なくなっているが、油分が多く含まれていることが多い。そこで、浄化システムに送る前に油分を吸着する吸着材を多孔質焼結体と混合させて詰めた油分吸着器をつくり、通過させた。吸着剤は、天然セルロース（100％）で、油吸着量が多く、再溶出せず、通常のゴミとして扱えるなどの特徴がある材料を使用した（ユニバース開発（株）東京新宿）。写真1は、油分吸着器を示した。

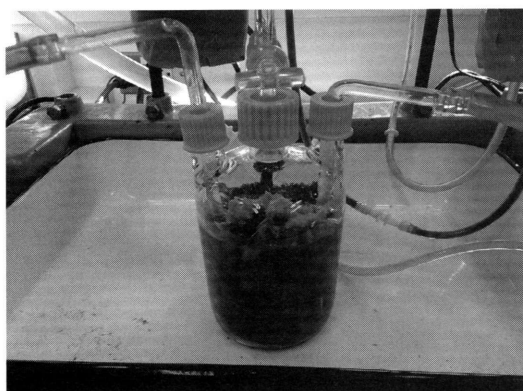


写真1 油分吸着器

4) 家庭排水用微生物膜バイオリアクター

図1と写真2は、家庭排水浄化システムの基礎データを得るためのシステム概略図と全景である。内径70mm、高さ400mmの2本のアクリルパイプに多孔質焼結体を密に充填し、シリコンチューブで直列に接続した。1本のアクリルパイプは空気を遮断した嫌気状態、もう1本はエアレーションをして好気状態になっている。ローラーポンプを用い、家庭排水を嫌気性、好気性リアクターの順に送液した。アクリルパイプの外側には、外套管を設け恒温水を流して、リアクター内の温度を一定に保てるようにした。基礎データを得るための浄化システムは写真2のように2つのリアクターが独立しているが、試作する家庭排水浄化システムは1本の太いアクリルパイプ内に嫌気性と好気性リアクターを組み込む予定である。

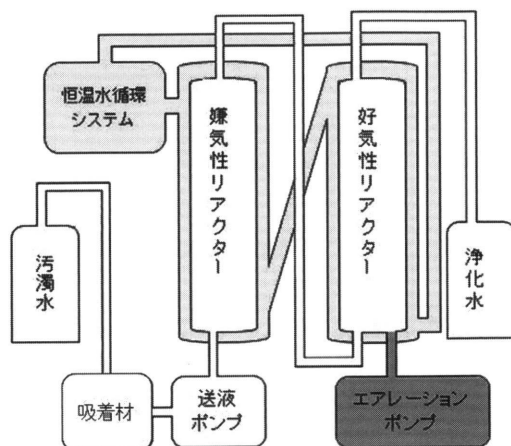


図1 家庭排水浄化用微生物膜バイオリアクターの概略図

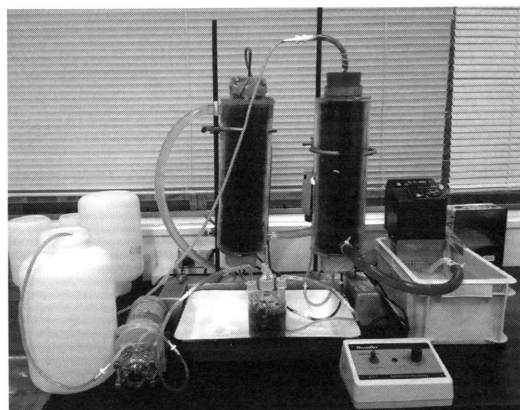


写真2 家庭排水浄化用微生物膜バイオリアクターの全景

5) 微生物の多孔質焼結体への固定化

本システムの浄化効率を高めるのは、固定化される微生物にかかっている。そこで、2つの微生物の固定化を試みた。

愛媛県工業技術センター（現愛媛県産業技術研究所）が開発した「えひめAI-2」は、種々の排水処理、食費製造、衛生材料製紙、尿尿処理などの業種の排水処理や家庭のキッチン流し周りのヌメリ取りに効果があると報告があることから、えひめAI-2を調製後、多孔質焼結体への固定化を試みた。納豆、ヨーグルト、ドライイースト、砂糖などを原料に指定どおりに調製した。これを2つのリアクターに1週間流し、

焼結体表面に固定化した。

もう1つの固定化法は、河川には非常に沢山の微生物が棲んでおり、これまで著者らが検討してきた固定化法を利用した。河川水（石神井川）の水を約3週間（3日に一度新しい河川水に交換）、2つのリアクターに流し続けた。

6) 家庭排水試料

浄化する家庭排水は学内の食堂の排水を利用した。写真3は、学食の排水だめであるが、この排水を浄化するための試料水とした。



写真3 試料水を採取した学生食堂の排水だめ

3. 結果及び考察

1) 多孔質焼結体への微生物の固定化

えひめ AI-2 を調製後、その溶液を希釈せずそのまま、2倍に希釈したものを、システムに1週間、送液して固定化した。えひめ AI-2 の2倍希釈液1週間送液後、試料水の浄化効果を調べた結果を表1に示した。えひめ AI-2 作成材料が溶出したためか原水より汚濁されており、さらに、リアクターから異常な悪臭を放ち、適切な固定化微生物ではなかった。

表1 えひめ AI-2 固定化システムの浄化効果

測定項目	pH	COD*	全リン*	全窒素*
浄化前	6.0	36.5	0.12	3.69
浄化後	7.4	47.5	1.71	8.59

* (ppm = mg/ℓ)

そこで、これまで報告した浄化システムで十分浄化効果を示す、河川水中の微生物を固定化し、家庭排水浄化システムの基礎データを得る実験を行った。微生物の固定化は、石神井川の河川水を3週間通水した。

2) 油分吸着器の吸着材量の検討

家庭排水中の油分を効率よく回収するために写真1の容器に多孔質焼結体200mlに吸着材3、5、7gを混合、送液量300ml/hのときの油分吸着効果をCOD値から調べた。図2には、吸着材の使用量と油分吸着器から出てきた排水

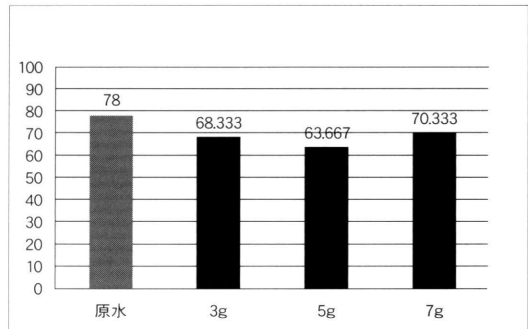


図2 油分吸着材使用量とCODの関係
縦軸はCOD (ppm=mg/ℓ)、横軸吸着材の質量

のCODを示した。吸着材が多くてもCOD値は低くならなかったが、吸着材5gのときCODが12.4%減少し、もっとも油分が吸着された。この結果から本実験では、吸着材は5gとした。

3) 試料液の送液流量と浄化後の水質

浄化システムに、142、300、324、408ml/hの流量で送液したときのpH、COD、全リン、全窒素から浄化効果を検討した。

i) pHの浄化前後の変化

図3には、流量と浄化水pHの関係を示した。浄化後の排水のpHは、この流量範囲では5.1から5.8前後と上昇した。調理メニューにより排水のpHは違うが、この場合は、浄化システムの後段リアクターの浄化後は好気性微生物による分解のため若干のpH上昇があったと考え

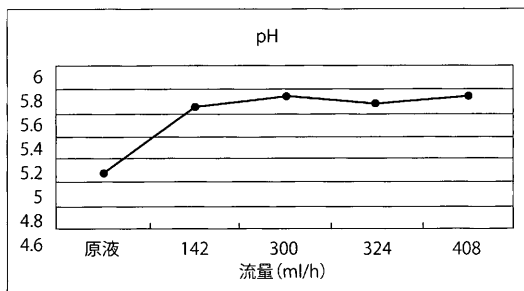


図3 流量変化による浄化前後のpH

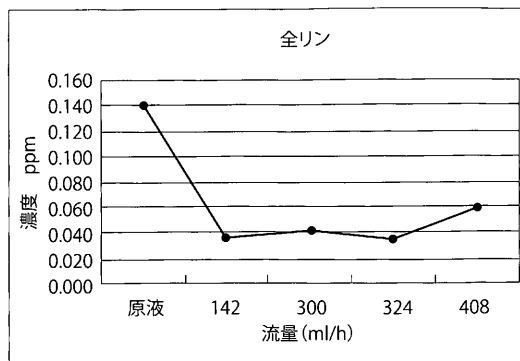


図5 流量変化による浄化前後の全リン

られる。

ii) CODの浄化前後の変化

図4には、流量変化による浄化水COD値を示した。流量142ml/hのときCOD値はがもっとも小さく6.50ppm、流量の増加とともにCOD値は少しずつ上昇している。これは微生物と試料水の接触時間が短くなるので汚濁物質が分解されずCOD値が上昇し、除去率が低下している。142～408の流量範囲ではCOD除去率は80.0～83.3%と大きな差は見られない。

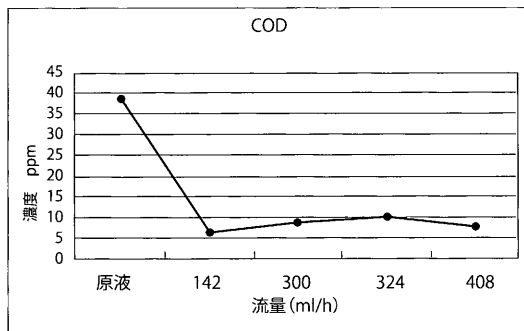


図4 流量変化による浄化前後のCOD

iii) 全リン

図5には、流量と浄化水全リンの関係を示した。

浄化後の排水の全リン値は流量142-321ml/hでは、ほぼ一定の0.040ppm前後(除去率74%)、408ml/hでは、0.060ppm(除去率58%)に上昇している。この場合もCODと同様、流量が大きくなると微生物との接触時間が短いため除去率が低下したといえる。

iv) 全窒素

図6は、前述の試料水流量を変えたときの全窒素の変化を示した。

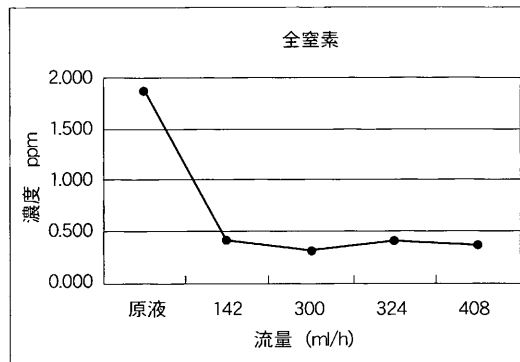


図6 流量と浄化水全窒素の関係

流量142～408ml/hの範囲では、0.419ppm(除去率77.8)から0.381ppm(79.8%)とほぼ一定の除去率で、かなり良い結果を示した。

本システムのような微生物膜バイオリアクターによる全リン、全窒素の除去率は、これまでの結果では、通常40～60%であるが、本測定に使用した試料水の場合、よい浄化率を示している。家庭排水は、その日のメニューにより、試料水の性状が変わると微生物の活動も変化し、浄化率に差ができると考えられる。

4) 試料水希釈度の違いによる汚濁除去効果

浄化効果を検討するために、学食の排水を利用したが、この排水が希釈されたときの汚濁除

去率を調べた。次の表は、学食の排水原水を2倍と5倍に希釈し、システムに通過させた前後のCOD、全リン、全窒素の測定値を示した。

表2 原水希釈度の違いによる汚濁除去効果

〈COD〉			
希釈度	浄化前	浄化後	除去率(%)
原水	23.88	3.88	83.7
2倍希釈	19.38	4.13	78.7
5倍希釈	14.00	2.00	85.7

〈全リン〉			
希釈度	浄化前	浄化後	除去率(%)
原水	0.082	0.045	48.8
2倍希釈	0.068	0.032	52.9
5倍希釈	0.082	0.036	56.1

〈全窒素〉			
希釈度	浄化前	浄化後	除去率(%)
原水	1.48	0.31	79.1
2倍希釈	1.24	0.28	77.4
5倍希釈	1.15	0.39	66.0

浄化前後の数値 (ppm=mg/l)、送液流量 142ml/h

原水の希釈度が大きいほど、浄化率が高くなると考えられたが、必ずしもそうではなかった。この結果から、試料水原水を希釈せず、そのままを浄化システムに流しても、十分浄化できることが分かった。

5) 浄化システムの運転温度

固定化された微生物は、温度によってその活動の程度は異なる。その活動の程度が、試験水の浄化効果に影響する。リアクターの温度を25、30、35、40℃に設定、各汚濁項目を測定した。図6は、COD、全リン、全窒素の除去率を示した。リアクターの外套管に各温度の恒温水を送り、一定温度にして、試料水(無希釈)を浄化した。COD、全リン、全窒素とも、30℃から40℃ではほぼ一定の浄化効果を示している。固定化されている微生物はこの温度範囲で活発

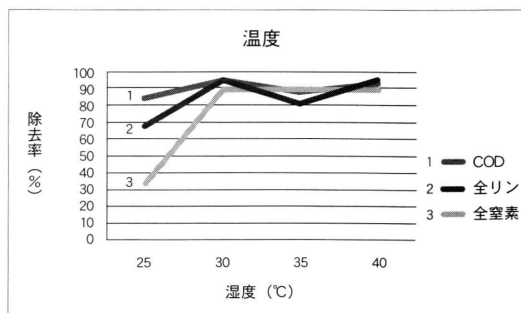


図7 浄化システムの運転温度と各項目除去率

に活動しているといえる。全リン、全窒素の浄化率は30℃以上で80～90%と非常によい除去率を示している。

省エネルギーの観点から見ると30℃で本システムを運転するのが適切といえる。

6) 固定化されている微生物

嫌気性、好気性のリアクターに棲む微生物を同定した。著者らは、浦安の堀江川に棲息する微生物を固定化したシステムときの微生物を調べたが、今回、石神井川利用の固定化微生物を同定し、同じ種類の微生物が確認された。嫌気性、好気性の両方のリアクターに同じ微生物が確認された。多く見られた微生物は藍藻類 *Anabacena* spp.、珪藻類 *Ahanthes*、*Nitzschia palea*、次いで細菌類 *Gallionella* sp. 藍藻類 *Homoeothrix janthina*、珪藻類 *Nav.*spp.、*Nit.*spp.であった。嫌気性、好気性の両方のリアクターに同じ微生物が確認されたのは、はじめの嫌気性リアクターには学食の排水をそのまま流しており、リアクターはただ空気を遮断した状態にあるが、完全な嫌気性ではなく、好気性に近い状態にあるためと考えられる。

4. おわりに

本家庭排水浄化装置は必ずしも先端的な手法ではないが従来からある嫌気性、好気性微生物処理をうまく組み合わせて、家庭排水を浄化できるという基礎データが得られた。省資源、省エネルギー、化学薬品無使用、低コストの家庭

排水浄化システムのための基礎データが得られ、システム作製への見通しがついた。

最後に、価値のある家庭排水システム作製のため基礎データが得られたのは、環境情報学科環境分析研究室 21年度卒業研究生 長坂亜美、針谷純香君、22年度卒業研究生小島久美子、田崎奈津希君たちの地道な汚濁水の採水、浄化試験、分析測定があります。ここに、上記卒業研究生諸君に感謝します。

文 献

- 1) 平成 22 年度版 環境白書 都市河川の汚濁状況 2010
- 2) 村上和雄、木村律子、奈良禰徳、須藤絵美 多自然研究 9-13 2000
- 3) 村上和雄、福島由美子、石垣晶子、奈良禰徳、須藤絵美 第 11 回廃棄物学会講演論文集 402-403 2000
- 4) 村上和雄、奈良禰徳、秋山 堯、成田素子、須藤絵美 東京家政大学研究紀要 44 127-131 2004
- 5) 村上和雄、成田素子、齊藤丈士、女屋秀明、根本 明、秋山 堯、木浪美智子、須藤恵美 第 15 回廃棄物学会講演論文集 1352-1353 2004
- 6) 村上和雄 ケミカルエンジニアリング 50 30-35 2006
- 7) 成田素子、村上和雄、齊藤丈士、女屋秀明、根本 明、白鳥秀幸、秋山 堯、木浪美智子、須藤恵美、中山 中 日本家政学会誌 58 203-209 2007
- 8) 村上和雄、渡邊快記、白鳥秀幸、根本明、齊藤丈士、女屋秀明、関 裕司、浅見保子、飯塚 弘 東京家政大学生生活科学研究報告 33 15-23 2010