

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 斎藤丈士*³
白鳥秀幸*³ 関 裕司*³ 浅見保子*³

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

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

1. はじめに

これまで、筆者らは嫌気性と好気性微生物を多孔性焼結体、ウレタン、発泡ガラスに固定化したバイオリアクターを利用した、汚濁水浄化システムを作製し、極めて汚濁された河川水が高い除去率で浄化されることを報告している^{1)~8)}。本稿は、これまでの研究を基礎に家庭から排出される、主に、調理、洗面、風呂等に使用された排水を浄化するシステムの開発を行った。本システムは、省エネルギー、省資源と廃棄物の再利用、脱試薬使用、微生物の利用、単純化を開発思想に開発した。微生物を固定化する担体は、微生物を短期間に確実に固定化できる多孔質焼結体を使用した。この担体は岩石から建設骨材を製造する際に発生する微粒土を焼結した資源再利用品である。固定化微生物は、河川水に生息する嫌気性、好気性微生物である。システムが消費するエネルギーは、送液用のポンプと好気状態を作るエアレーションポンプだけであり、浄化するための試薬は一切使用していない。固定化微生物はシステムが浄化を進める中で自然に盛衰を重ね、微生物に対するメンテナンスは不要である。汚濁水の浄化効果の評価は、化学的酸素要求量(COD)、全リン、全窒素の値で行った。本システムは3段階で基礎的なデータを収集した後、浄化装置を設計、作製、運転してこのシステムの浄化効果を検討した。

2. 実 験

2.1 水質汚濁の測定

- (1) COD：工業用水試験法 JISK0102 に従った。
- (2) 全リン：工業用水試験法 JIS モリブデン青法に従った。
- (3) 全窒素：工業用水試験法 JIS カドミウム還元法に従った。

2.2 固定化担体

固定化担体は、建設材料を得るための岩石の碎石砕砕工程で大量に発生する微粒土を原料とする。この微粒土は碎石骨材を水洗する際に発生する碎石汚泥脱水ケーキと呼ばれる廃棄物である。このケーキと他の材料と混合し加湿、造粒、乾燥、焼結(1,120~1,140°C)の工程を経て多孔質焼結体が製造されている。本浄化システムに使用したのは粒径10~15mmφ、比重0.72、化学組成SiO₂ 68%、Al₂O₃ 19%であった。

また、排水中に含まれる油分は、工業的分野で使用されている材料(ユニバース(株)、東京都新宿区)に吸着させた。

2.3 浄化システムの構成

図1は基礎的なデータを得たシステムの概略図である。送液ポンプ、嫌気性微生物固定化リアクター(以後、嫌気性リアクターと呼ぶ)と好気性微生物固定化リアクター(以後、好気性リアクターと呼ぶ)と好気性を保つためのエアレーションポンプからなる単純な装置である。二つのリアクターには、恒温に保つための外套管が設けられている。浄化システムは2本のアクリルパイプ(内径70mm、

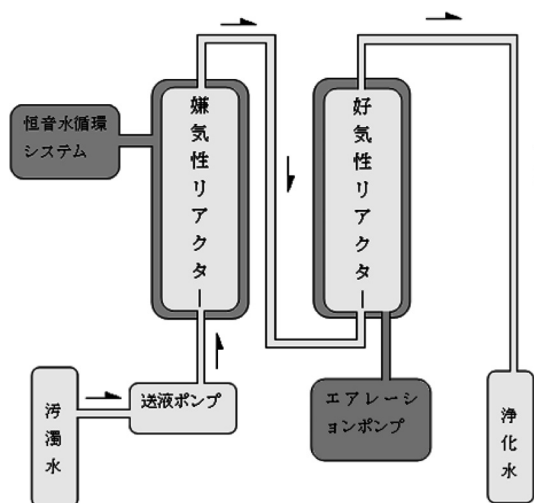


図1 基礎データを得たシステムの概略図

*¹ 東京家政大学 (Tokyo Kasei University)
*² 東京都立医学総合研究所 (Tokyo Metropolitan Institute of Medical Science)
*³ (株)内山アドバンス (Research Institute of Technology, Uchiyama Advance Co., Ltd.)

長さ 400 mm) 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されている。左側のリアクターは密封され、空気と遮断された嫌気状態、右側は、最下部のエアストーンを通して空気が送られ好気状態である。汚濁水の送液は、二つのリアクターをつなぐシリコンチューブにローラーポンプをセットして行った。

3. 結果および考察

3.1 浄化能力の高い微生物の探索

水質浄化や有機物の分解、悪臭防止に効果が高いといわれる、愛媛県産業技術研究所が開発した「えひめ AI-2」を固定化微生物に選んだ⁹⁾。これは、同研究所が開発した環境浄化微生物で、納豆、ヨーグルト、ドライイースト、砂糖、水道水を混ぜて培養して調製する。「えひめ AI-2」溶液を、2 本の多孔質焼結体を充填したリアクターに 2 週間送液し、微生物の固定化を試みた。

表 1 には、「えひめ AI-2」を固定化した排水浄化システムの浄化効果を示した。

一般的な「えひめ AI-2」の評価と異なり、原水（浄化前）より汚濁が進み、二つのリアクター内部からは極めて強い悪臭が発せられた。固定化微生物としては利用できないことがわかった。

そこで、これまでの研究で非常に浄化効果があるとわかっている河川中に生息する微生物の固定化を試みた。石神井川の河川水を週 2 回新鮮な河川水にして 2 週間流し続けて微生物を固定化した。表 2 は、河川で生息する微生物を固定化したときの浄化システムの浄化効果を示した。「えひめ AI-2」の浄化に比べ大幅に改善され、筆者らの過去のデータを基に、石神井川に生息する微生物を固定化することにした。

3.2 油分吸材着と浄化率

家庭排水には、ときとして油分が多く含まれるときがあ

表 1 えひめ AI-2 固定化浄化システムの浄化効果

	pH	COD	全リン	全窒素
原水（浄化前）	6.0	36.5	0.12	3.69
浄化水（浄化後）	7.4	47.5	1.71	8.69

COD, 全リン, 全窒素の単位 (mg/L)

表 2 河川水生息微生物固定化の浄化システムの浄化率 (%)

測定項目	COD	全リン	全窒素
浄化率	75~83	58~74	78~82

流量 142~408 mL/h

る。油分をある程度除去してシステムに送液するようにした。そこで油分吸着剤と多孔質焼結体を写真 1 のように混合して詰めてそこに原水を通過させ、そのあとリアクターへ送るようにした。

図 2 は、多孔質焼結体 10 g と油分吸着材を 3~7 g を詰め、排水原水の通過させた前後の COD 値を示した。排水原水の COD 値 78 mg/L が、油分吸着材 3 g のとき、通過後 68.3 g/L に、5 g で 63.7 g/L に、7 g で 70.3 mg/L と 10~13% 程度の油分が吸着されることがわかった。そこで、油分吸着材 5 g と多孔質焼結体 10 g を容器を容器に詰めた。

写真 2 は、基礎実験を行った家庭排水浄化システムで、油分吸着容器が装備されている。写真 2 のシステムを利用して、流量を変化させたときの COD、全リン、全窒素

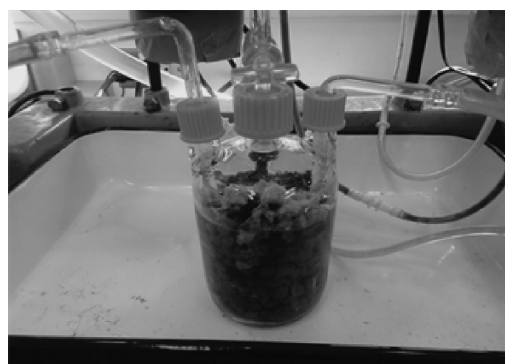


写真 1 油分吸着剤と多孔質焼結体を混合充填した容器

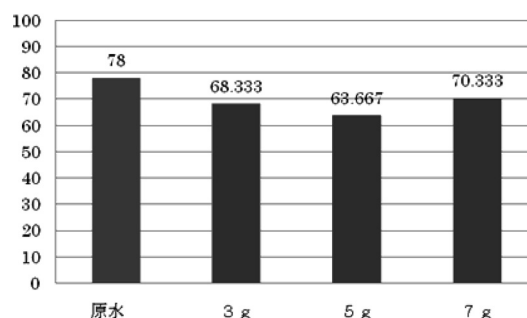


図 2 吸着材容器通過前後の排水原水 COD 値
縦軸：COD 値 (mg/L=数値)、横軸：油分吸着材量 (g)

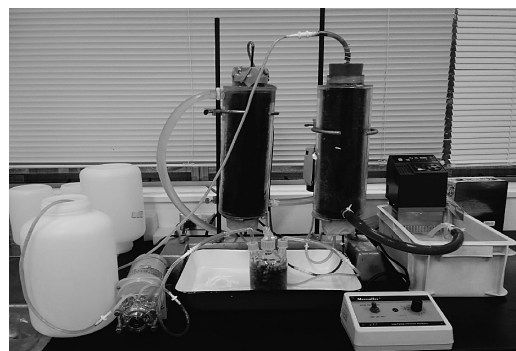


写真 2 基礎データをえた浄化システム

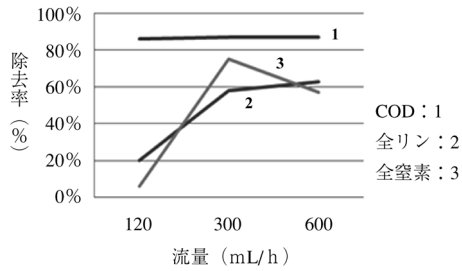


図3 排水原水の送液量とCOD, 全リン, 全窒素の除去率の関係

の除去率を検討した。この試験は繰り返し5回行いその結果の平均を示した。図3は、排水流量120から600 mL/hまで変化させたときのCOD、全リン、全窒素の除去率の関係を示した。

CODの除去率は、この流量範囲で83~85%とほぼ一定で良い浄化効果を示した。全リンは、300~600 mL/hで58~63%であった。流量の増加とともに除去率は向上した。また、全窒素は、やはり流量とともに良くなり、300~600 mL/hで57~75%であった。これまでの筆者らの汚濁河川水の浄化試験では、一般に送液流量が少ないと浄化効果は高く、流量が多くなると浄化効果が低くなる傾向があったが、食品成分が多い排水では、若干異なる傾向を示した。また、本浄化法は、同じく汚濁河川水の場合、全リン、全窒素の除去率は、30~50%であったが、食物を含む排水の場合、この流量範囲では除去率は高いようである。

以上の結果から、家庭排水の浄化に、本システムが有効な浄化効果を示すことがわかったので、家庭排水浄化システムを試作することにした。

3.3 家庭排水浄化システムの設計・製作と浄化試験

図4に、家庭排水浄化システムの設計図を示した。本システムは送液ポンプ、油分吸着部（容器内壁に沿って油分吸着シートとその内側に油分吸着材を充填）、そして一体化された微生物膜バイオリアクター（下部の嫌気リアクターと上部の好気リアクター）から構成されている。二つのリアクターの境には金属パイプを設置、そこへ空気を送りエアレーションを行うようにした。

一体化された微生物膜リアクターの内径は14 cm、高さ1 mのアクリルパイプで作られている。油脂吸着用の容器は内径10 cm、高さ85 cmのアクリルパイプである。排水原水は、まず、油分吸着材を通り、嫌気性リアクターそして、好気性リアクターへと送られる。

本システムは排水だめに設置、ためられた排水は繰り返し浄化システムに通過させられるので浄化効果は高くなる。

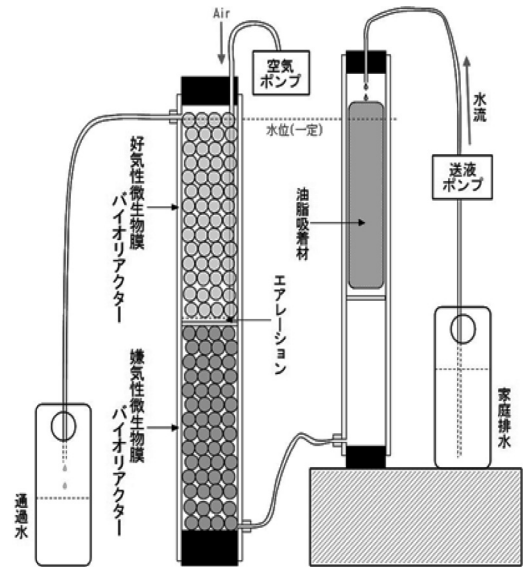


図4 設計された家庭排水浄化システムの概略図



写真3 試作された家庭排水浄化システム
手前の太いタワー：微生物膜バイオリアクター、奥の細いタワー：油分吸着部

写真3は、図4に示した設計図に従って試作された家庭排水浄化システムである。

製作されたシステムを用い家庭排水の浄化試験を行った。図5は排水送液流量とCOD除去率の関係を示した。流量144~600 mL/hの範囲で80%以上の浄化率を示した。図には示していないが1,560 mL/hまででも約80%の除去率を示した。排水中の主に食物に起因する汚濁物質は微生物に分解されると考えられる。図6は排水送液流量と全リン、全窒素除去率の関係を示した。送液流量は144~1,560 mL/hで、全リンが除去率75から98%、全

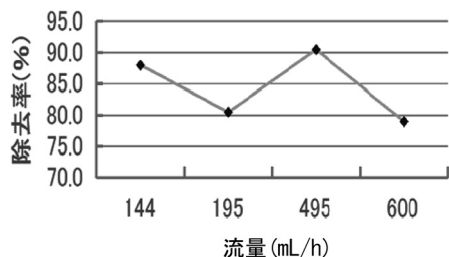


図5 排水送液流量とCOD除去率の関係

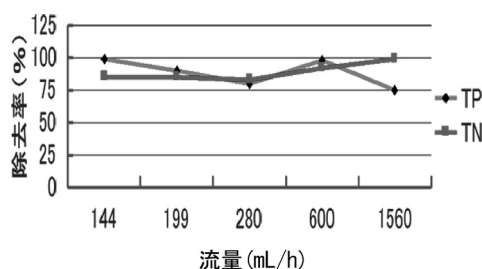


図6 排水送液流量と全リン、全窒素の除去率の関係

窒素も75から98%の除去率を示した。全リン、全窒素に関しては、非常に高い浄化率を示した。嫌気リアクターと好気リアクターが接近しているためか、食品中のリン・窒素を含む成分は微生物により容易に分解されると考えられる。汚濁河川水中のリン、窒素成分を含む汚濁物質とは大きく異なるとも考えられる。

3.4 固定化された微生物

表3は固定された主な微生物を示した。多孔質焼結体に固定化された微生物は石神井川に生息する種で、同定法は常法に従って行った。同定された微生物は、嫌気性リアクターにも好気性リアクターの両方に生息していた。これは、排水には酸素が通常の状態溶解しており、嫌気性リアクターといっても完全な嫌気状態ではなく空気と接触しない状態になっているだけであるので、好気生微生物が見られるのであろう。

4. 結 論

本システムは、決して新しい方法ではないが、省エネルギー、省資源と廃棄物の再利用、脱試薬使用、微生物の利用、単純化の設計思想を満足するシステムである。浄化効果もCOD除去率約80%、全リン、全窒素も90%以上と満足できる結果であった。本システムは下水処理施設のある都市部では有効ではない。下水道の普及率の低い地域や、発展途上国で、生活排水による水質の環境汚濁を防ぐのに有効な装置である。

表3 固定化された主な微生物

	好気性	嫌気性
(細菌類)		
<i>Gallionella</i>	++	++
<i>Leptothrix ochracea</i>	+	-
(藻類)		
藍藻類		
<i>Anabaena</i> spp.	+++	+++
<i>Homoeothri janthira</i>	++	++
<i>Oscillaatoni</i> spp.	+	+
緑藻類		
<i>Dictyosphaerium</i> sp.	+	+
<i>Ankistrodesmus</i>	+	-
(珪藻類)		
<i>Achanthes</i>	+++	+++
<i>A. minutissima</i>	+	+
<i>A. spp.</i>	+	+
<i>Cymbella ventricosa</i>	+	+
<i>Nav. spp.</i>	++	++
<i>Nitzschia palea</i>	+++	+++
<i>Nit. spp.</i>	++	++

+++：多量に出現した種，++：出現した種，+：少量出現した種，-：未出現した種，~sp.：1種，~spp.：2種

しかしながら、難しい問題もいくつかある、一つは家庭排水の排出量に大きな差があることである。比較的大きな排水溜が必要であること、また、漂白剤を使用したあとの排水は、決してシステムに流してはいけないことである。固定された微生物が死んでしまうので、このことは使用に当たって絶対注意しなくてはならないことである。

文 献

- 村上和雄, 福島由美子, 石垣晶子, 奈良禧徳, 須藤絵美: 第11回廃棄物学会講演論文集, pp. 402-403 (2000).
- 村上和雄, 奈良禧徳, 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).
- 村上和雄, 成田素子, 齋藤丈士, 女屋秀明, 根本 明, 秋山堯, 木浪美智子, 須藤恵美: 第15回廃棄物学会論文集, pp. 1352-1353 (2004).
- 村上和雄: ケミカルエンジニアリング, **50**, 30-35 (2006).
- 成田素子, 村上和雄, 齋藤丈士, 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).
- 村上和雄, 渡邊快記, 白鳥秀幸, 根本 明, 齋藤丈士, 女屋秀幸, 関 祐司, 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).
- 村上和雄, 渡邊快記, 根本 明, 白鳥秀幸, 齋藤丈士, 関祐司, 浅見保子: 東京家政大学生生活科学研究報告, **34**, 15-20 (2011).
- 村上和雄, (株)内山アドバンス: 特許公報 (2011) 4889269号 微生物固定化担体を用いた水質浄化装置
- <http://www.iri.pref.ehime.jp/> (2012).