

## 水洗トイレ用汚水浄化循環システムの開発

浅野 孝幸, 鎌田 樹志, 三津橋浩行  
 佐々木雄真, 阿部 幸男\*, 宮澤 靖\*  
 伊藤 勇作\*, 加藤 智亮\*, 森 敏男\*

### Development of Closed Wastewater Treatment System for Flush Toilet

Takayuki ASANO, Tatsuyuki KAMADA, Hiroyuki MITSUHASHI  
 Takema SASAKI, Yukio ABE\*, Yasushi MIYAZAWA\*  
 Yusaku ITOU\*, Tomoaki KATOU\*, Toshio MORI\*

#### 抄 録

水洗式公衆トイレの洗浄汚水を浄化し再度洗浄水として循環するシステムの開発を行った。本システムでは接触酸化法による生物化学的浄化, 膜による固液分離, 生物活性炭による脱色を特徴としており, 高度な浄化, 小型化, 活性炭交換期間の延長などをねらいとした。この結果, 浄化水の BOD は 5 mgO/l 以下で臭気, 着色においても全く問題のない水質が得られた。給排水が不要なので上下水道が整備されていない場所においても周辺環境を汚濁せずに水洗式公衆トイレが設置可能となる。

**キーワード:** 水洗トイレ, 浄化, 循環, 膜, 生物活性炭

#### 1. はじめに

近年, 下水道や浄化槽の普及により一般家庭や職場をはじめ公衆トイレも水洗式が大部分を占めるようになった。北海道内には下水道が敷設されていない山間部や海岸部にも多くの観光地, パーキングエリアなどがあるが, このような場所では通常の水洗トイレは設置できない。くみ取り式の簡易水洗トイレはこのような条件でも設置可能であるが, 汚水のくみ取り, 水洗用水の補給が必要なので維持経費が高いことや使用感において通常の水洗トイレに劣ることが問題である。地下浸透方式を採用するとくみ取りが不要となるが, 環境保全を最優先とする時代背景にはなじまないところがある。

このような理由から給排水を必要としない汚水浄化循環システムを搭載したトイレが求められている。このシステムでは汚物を洗浄した汚水を浄化した後, 再度洗浄に使うため最初の給水を行えば以後の補水, くみ取りは必要としないので電源を確保できる場所であれば設置場所を選ばない。

本開発では, システムのコンパクト化と高度な固液分離を

行うために浸漬型分離膜<sup>1)</sup>, さらに着色を低減するために生物活性炭<sup>2)</sup>を利用したことが特徴である。従来のシステムでは容量不足で十分な浄化ができずに臭気が発生したり, BOD を下げることはできても色が残って利用者に不快感を与える事例がみられた。本システムではこのような問題点を解決し快適なトイレ環境の提供が可能となることをめざした。

#### 2. 従来システムの課題

水洗トイレ用の汚水浄化循環システムは従来から様々なタイプが実用化されている。それらの主な違いは浄化の程度であり, 最も簡易なものは鉄道車両に採用されているシステム<sup>3)</sup>で, 汚水に消毒液を加える過した上で便器洗浄に循環使用されている。ろ過のみでは臭気や色は除去されないので薬液でマスキングしており, 汚物量が増えるところ過が困難になるので汚水は数日の周期で抜き取られ新たに給水される。

上述の例では物理化学的な浄化法のみが採用されているが, より高度なシステムでは生物化学的浄化法が採用されている。この浄化法によれば BOD を下げ, 臭気の原因物質を

\*宮澤鋼業株式会社

分解処理することが可能でさらに汚物も分解し減量化するので長期間にわたって抜き取りや給水が不要となる。しかし、システムが大型となりそれにとれない高コストとなる。その理由は生物化学的浄化には長時間を要すること、浄化によって発生する汚泥を分離するために沈殿槽あるいはろ過槽が必要になることである。通常のフィルターろ過では目詰まりのため長期間の使用は不可能である。さらに、し尿に含まれる胆のう分泌物の生物化学的分解代謝物による黄色の着色が残るため徐々に浄化水が濃い褐色を呈するようになる。これを防止するには活性炭吸着処理が有効であるが、吸着塔内で微生物が繁殖し閉塞しやすいため頻繁なメンテナンスが必要である。薬液でのマスクングは生物に対する影響が考えられるため採用できない。

### 3. 浄化処理方法の検討と開発目標

基本的な浄化法として現状では生物化学的方法以外にはないと判断され、浄化槽においても一般化している生物担体を使う接触酸化法を採用することとした。汚泥を分離する方法としては通常沈殿槽、ろ過槽が使われているが、本開発では他製品との差別化を図ることが必要であるため最近実用化され、目詰まりが少ない浸漬型分離膜を試験することにした。着色対策としては活性炭を使わざるを得ないが、メンテナンスが面倒な吸着塔方式ではなく分離膜を浸漬する槽に粒状活性炭を流動させるか、粒状活性炭を基板上に接着しプレート状として槽内に浸漬する方式について検討した。これらの方式では単なる物理吸着だけではなく生物活性炭として着色を低減する機能が期待される。

開発するシステムで得られる浄化水の水質の目標値は建設省住指発第91号（昭和56年4月27日）で通知されている再利用水の暫定水質基準値等（水洗便所洗浄水）すなわち、大腸菌群数10個/ml以下、pH5.8~8.6、臭気~不快でないこと、外観~不快でないことを達成し、さらにBOD10mg/l以下とした。

## 4. パイロットスケール試験

### 4.1 試験装置の構成

図1に試験装置のフロー、図2に外観写真を示す。これを試作した工場横に設置して職員約30名に利用してもらい試験を行った。トイレは大便秘器1基の屋外仮設で1回の洗浄水量は約10lとなるよう調整した。洗浄汚水はポンプ槽に流入し、槽の水位が設定値に達すると水中ポンプが作動して沈殿分離槽に送水される。沈殿分離槽以下の5基の槽はすべてFRP製で有効容積は沈殿分離槽と脱色槽は約250l、その他は約800lである。

#### (1) 沈殿分離槽

汚水は沈殿物や浮遊物などの固形物と中間水とに自然浮上または沈降によって分離され、中間水のみがオーバーフローして次の槽に進む。

#### (2) 流動曝気槽

接触酸化方式の生物化学的浄化を行うため、ポリプロピレン繊維の不織布を剛体化し中空円筒状に成形した材料を生物担体として充填した。この担体の比重は0.90、比表面積 $600\text{m}^2/\text{m}^3$ 、寸法 $55\phi \times 55\text{L}$ である。軽いため曝気によって流動することや中空円筒状のため空隙率が高いので生物汚泥の増加による目詰まりの心配はない。この担体に付着、固定された微生物によって汚水中の有機物が酸化分解される。浄化水は浮遊している生物汚泥とともにエアリフトポンプによって膜分離槽に送られる。

#### (3) 膜分離槽

槽内に直接浸漬したポリエチレン中空糸膜（公称孔径 $0.1\mu\text{m}$ ）を使って吸引ろ過を行うことが可能であり、生物汚泥を含まない浄化水が得られる。膜は長さ800mmの中空糸膜数万本の両端を集水管に接続した形態のモジュールになっていて膜面積は $8\text{m}^2$ である。吸引ろ過は定流量方式で行い標準的な $10\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ のろ過速度で行った。吸引圧力は目詰まりのため徐々に高くなるので薬洗を行った。目詰まり対策としてこのほかに膜の下部から $5\text{Nm}^3/\text{h}$ の空気を曝気し、吸引ろ過を間欠的に行った。

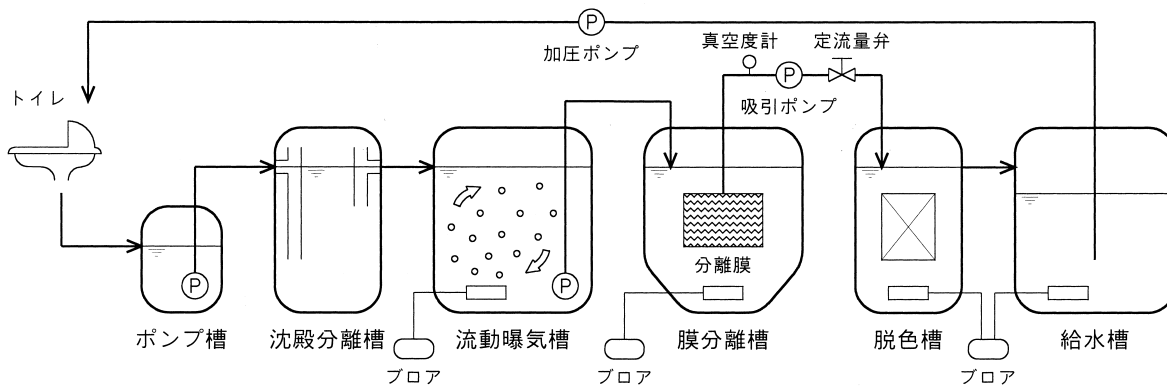


図1 パイロットスケール試験フロー

#### (4) 脱色槽

生物化学的浄化後に残留する色度を低減するために生物活性炭が有効であることが浅野ら<sup>4)</sup>によって報告されている。活性炭交換にかかる費用の削減をねらいとして今回この方式を採用した。実際に生物活性炭が有効に機能すると活性炭の交換はほとんど不必要になると期待できる。このためには活性炭をプレート状として槽内に浸漬する必要があるが、今回の試験では網状の基板に粒状活性炭を接着し周囲をステンレス鋼板の枠で補強してプレート状とし（活性炭プレート）槽内に固定した。槽内の攪拌のため活性炭プレート下部から軽く曝気した。

#### (5) 給水槽

脱色された浄化水を貯え加圧ポンプで洗浄水としてトイレに送水する。



図2 パイロットスケール試験システムの外観

## 4.2 試験結果

各槽に所定量の水道水を張り、流動曝気槽には下水処理場の余剰汚泥を種汚泥として投入し試験を開始した。

### 4.2.1 水質の特性

順調に稼動してからの水質測定例を表1に示し、各水質項目の特徴等について以下に述べる。

#### (1) pH

沈殿分離槽出口ではし尿の一般的な性状として知られるように弱アルカリ性を示し、8～9の範囲であった。浄化が進むとともにpHは低下し、膜ろ過槽出口では弱酸性を呈するようになった。この原因はアンモニア態窒素、硝酸態窒素の測定結果から明らかのように生物学的な硝化が進んだためと理解される。

#### (2) 色度

着色の状況を観察するため試験初期には活性炭を使わなかったところ、試験開始後2週間で色度（白金・コバルト標準法

表1 パイロットスケール試験水質測定例

項目	沈殿分離槽 出口	流動曝気槽 出口	膜分離槽 出口	脱色槽 出口	給水槽
pH	8.4	7.2	6.6	5.7	5.4
色度(度)	—	140	66	11	14
BOD(mgO/l)	123	10	1	—	1
COD(mgO/l)	196	88	27	—	5
アンモニア態窒素(mgN/l)	192	—	—	—	65
硝酸態窒素(mgN/l)	88	—	—	—	154

測定波長455nm)が400度以上に達して濃褐色を呈するようになりトイレ洗浄水として不適当と判断された。このため活性炭を使って脱色処理することが不可欠と考えられた。そこでまず膜分離槽に石炭系粒状活性炭8kg(乾重量)を投入した。膜の目詰まり防止のため槽底部に配置した散気管から強い曝気をしているので、活性炭が槽全体に流動し効率的に水との接触が行われると期待されたが、活性炭が底部に沈殿しやすく一部のみが流動する状態となり色度は250度までしか下がらなかった。このため底部をロート状に改造したところ活性炭の流動性が良くなり、色度は30～50度に低下した。さらに脱色槽に活性炭プレート20枚(活性炭7kg使用)を設置したところ、試験終了までの4カ月にわたって脱色槽出口での浄化水色度は20度以下に保たれ、浄化水の外観は新鮮な水道水と区別ができないほどきわめて清澄であった。ただし、試験期間が短かいので生物活性炭として機能した効果であるか、単なる物理吸着による効果であるかは確認できなかった。

#### (3) BOD

沈殿分離槽出口においてBODは100～200mgO/lの範囲にあり平均では120mgO/l程度であった。この値は単独処理浄化槽の設置計画時に用いる水洗便所汚水の標準値260mgO/l<sup>5)</sup>と比較するとかなり小さい。この原因は本試験においては大便が少なかったことと沈殿分離効果によって固形物が除かれたためと推察される。流動曝気槽出口では生物分解によって10mgO/l以下となった。さらに膜分離槽においても300mg/l程度の生物汚泥が浮遊しているので生物分解が進み膜によってコロイド状の有機物の一部も除去されるので膜分離槽出口においては最大値で5mgO/l、多くの測定値が1mgO/l以下となった。

#### (4) COD

給水槽のCODはほぼ10mgO/l以下の測定結果が得られた。この値は浄化槽において高度処理を施した浄化水に相当するもので、活性炭吸着の効果が大きいものと考えられる。

#### (5) アンモニア態窒素・硝酸態窒素

硝化菌の作用によってアンモニア態窒素は浄化が進むにつれ減少し、硝酸態窒素が増加した。硝酸態窒素は給水槽での濃度よりも沈殿分離槽出口のほうが必ず低くなっているので嫌気性の沈殿分離槽内において脱窒が進んでいるものと考えられる。いずれの形態の窒素も試験終了時までおよそ表1の濃度レベルで推移した。

(6) 大腸菌群数

給水槽について発色酵素基質法（エルメックス社 Pro-media XM-10）を用いて検出を試みたがいずれも陰性の結果を得た。膜分離槽内の水は陽性なので膜によって完全に細菌類が分離されるものと考えられる。

(7) 臭 気

トイレにおけるし尿臭，アンモニア臭など臭気は試験期間中まったく感じられず利用者からのクレームもなかった。

4.2.2 膜の吸引圧力

ろ過速度を標準の $10\text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ に設定し，8分ろ過，2分停止の間欠運転で定流量ろ過を行った。初期の吸引圧力は5 kPa以下であったが，図3に示したようにろ過量の増加とともに上昇傾向を示した。12kPaになった時点で次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素0.2%）に一夜浸漬して薬洗したところ6 kPaに回復した。試験終了後膜メカによる検査に供したところ，脱色のために膜分離槽に投入した活性炭の微粉末が膜微細孔の一部を詰まらせていることが判明した。この目詰まりは薬液洗浄によって回復できないので，長期間経過すると回復不能の吸引圧力上昇を招く恐れがあり，このため膜分離槽への活性炭の投入は不適当と考えられた。

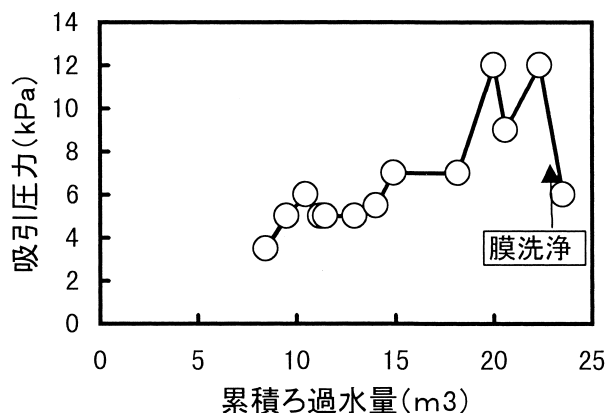


図3 膜の吸引圧力の変化



図4 実規模システム事例（ユニットタイプ）

4.2.3 中和処理

浄化が進むとともに pH が低下し，膜ろ過槽出口では弱酸性を呈するようになるので中和処理の実験を行った。すなわち，脱色槽から給水槽への流入口に底に小孔を多数開けた容器を取り付けアルカリ成分を含むペーパースラッジ炭化物<sup>6)</sup>（PSC）を500g 充填した。この結果，浄化水が給水槽に流入する時に短時間 PSC に接触することになり，脱色槽の出口で4.4であった pH が PSC 容器通過後は6.5に上昇した。このように中和処理は比較的容易に行えることがわかった。

5 . 実規模システムの稼働事例

パイロットスケールでの試験結果をもとに実規模システムを製作し，数カ所の公衆トイレにおいて供用されたのでそれらの稼働状況について検討した。

システムの基本的なフローはパイロットスケール試験と同様である。図4，図5に外観写真を示す。図4はユニットタイプでトイレ（左側部分）と浄化循環システム（右側部分）が一体化している。このタイプの特徴は設置のための土木工



図5 実規模システム事例（埋設タイプ）



図6 実規模浄化循環システム内部



事が簡素化でき移動することも可能ということである。移動できるので河川敷のように建築物が制限される場所への設置や災害時の緊急用としての用途が考えられる。図5は埋設タイプで建築トイレに接続して使う。浄化槽のように地下に埋設するので地上の景観には影響しない。

図4のユニットタイプの浄化循環システム内部の写真を図6に示す。各槽はステンレス鋼板製で点検しやすいよう透明プラスチックの窓を備えている。図7は膜モジュールの写真であり、このように1モジュール毎に取り出して点検、洗浄などを行える。図8は脱色用の活性炭プレートであり、膜分離槽と給水槽に設置している。

図4のトイレにおける水質測定例を表2に示す。この結果からも明らかなように実際のトイレにおいても本浄化循環システムは洗浄水として十分に利用可能な浄化水を供給できることがわかる。臭気についてもパイロットスケール試験と同様まったく問題が起きていない。

膜の目詰まりによる洗浄については、膜を取り外し次亜塩素酸ナトリウム液による薬液洗浄をおよそ半年に1回行う必要があった。この洗浄によって吸引圧力はほぼ初期値にまで回復した。



図7 膜モジュール



図8 活性炭プレート

表2 実規模システムでの水質測定例

項目	沈殿分離槽 出口	流動曝気槽 出口	膜分離槽 出口	給水槽
pH	7.8	6.3	5.2	5.6
色度(度)	163	133	36	11
BOD(mgO/l)	89	90	5	4
COD(mgO/l)	108	120	16	12
アンモニア態窒素(mgN/l)	57	13	2	1
硝酸態窒素(mgN/l)	76	139	155	160
電気伝導率(mS/cm)	4.89	4.73	4.56	4.46

活性炭プレートの脱色性能は20カ月経過の現在までのところ持続している。生物活性炭として機能しているのか、寿命がどの程度であるかが最も注目されるところであるが、今後の推移をさらに観察する必要がある。

## 6.まとめ

上下水道が整備されていない場所にも水洗トイレの設置を可能とするため、接触酸化法による生物化学的浄化、膜による固液分離、生物活性炭による脱色などを特徴とする水洗トイレ用汚水浄化循環システムの開発と公衆トイレへの応用を行い次の結果を得た。

- (1) パイロットスケール試験 ポリプロピレン繊維不織布を中空円筒状に成形した生物担体による接触酸化方式の生物化学的浄化でBODを5 mgO/l以下にすることができ、臭気も全く感じられなくなった。生物化学的浄化水をポリエチレン中空糸膜(公称孔径0.1 μm)を使って吸引ろ過を行うことにより完全な固液分離が可能であった。生物活性炭による脱色を行うため活性炭プレートを試作した。脱色効果は十分認められたが試験が短期間であったため生物活性炭としての機能を確認するには至らなかった。以上を組み合わせた試作システムによってトイレ汚水を浄化し洗浄水として十分再利用できる浄化水を長期間循環できることがわかった。
- (2) 公衆トイレへの応用 パイロットスケール試験と基本的に同様のシステムを実際の公衆トイレに応用した。実際のトイレにおいても本浄化循環システムは洗浄水として十分に利用可能な浄化水を供給できることがわかった。臭気についてもパイロットスケール試験と同様まったく問題が起きていない。膜の目詰まり対策として薬液洗浄をおよそ半年に1回行う必要があった。この洗浄によって吸引圧力はほぼ初期値にまで回復した。活性炭プレートの脱色性能は1年以上持続することがわかった。さらに継続使用中であり生物活性炭として機能していることが期待される。

## 引用文献

- 1) 上原 勝：膜分離活性汚泥法による下排水処理，水環境学会誌，Vol.22，No.4，pp.17-21 (1999)
- 2) 西島 渉・岡田光正：生物活性炭における付着細菌の役割，用水と廃水，Vol.35，No.8，pp.37-44 (1993)
- 3) 日本トイレ協会編：トイレの研究，地域交流出版，

349p (1987)

- 4) 浅野孝幸ほか：生物活性炭による水処理技術の研究開発，北海道立工業試験場報告，No.296，pp.109-112(1997)
- 5) 厚生省生活衛生局水道環境部編：浄化槽の維持管理第2編，(財)日本環境整備教育センター，316p (1993)
- 6) 内山智幸ほか：古紙スラッジのリサイクル，北海道立工業試験場報告，No.298，pp.125-132 (1999)