

トイレ排水再利用システムに関する調査研究

浅野 孝幸, 鎌田 樹志, 佐々木雄真, 三津橋浩行
古澤政二*, 都築栄一**, 早坂智浩**

Study on the Sewage Recycling System for Public Toilet

Takayuki ASANO, Tatsuyuki KAMADA, Takema SASAKI, Hiroyuki MITSUHASHI
Seiji FURUSAWA, Eiichi TSUZUKI, Tomohiro HAYASAKA

抄 録

下水道が未整備であったり水利条件が悪い地域においても、排水を高度に処理して循環再利用することによりトイレを水洗化できるシステムが観光地の公衆トイレを中心に導入され始めている。北海道内ではこれまでこの種の公衆トイレはなく、調査された事例がないため、本研究では北海道内で最初にこのシステムを採用した公衆トイレを対象に長期にわたって水質調査などを実施し、排水処理性能の評価を行った。その結果、寒冷の影響も見られず、年間を通じて安定した処理が行われており、大腸菌群数、pH、臭気、外観、BODなどのいずれもトイレ洗浄水として再利用に適する処理水質が得られていることがわかった。

1. はじめに

生活水準の向上にともない、生活のあらゆる面での利便性、快適性が求められており、トイレについても例外ではない。各家庭では水洗化はもとより、暖房、消臭などの機能を備えることが珍しくなくなっている。

北海道内の観光地などの公衆トイレにおいても水洗化が進められ、建物の整備、改修も含めて観光客が快適に利用できるトイレづくりが一般的になっている。しかし、下水道未整備地域では適当な放流先がなかったり、水利条件が悪く十分な洗浄水が得られないなどの理由で水洗化が困難な場合も多い。

従来このような場合は地下浸透方式水洗化や汲取り式簡易水洗化に頼らざるを得なかったが、このような処理方式では前者では閉塞や地下水汚染が心配され、後者は汲取りに要する費用増などが問題となる。

こうしたことから、トイレ排水を高度に処理して循環再利用するシステムが本道にも導入され、普及し始めている。このようなシステムが普及すれば公衆トイレの水洗化がさらに促進され、また、排水による環境汚染の防止効果も期待される。

る。しかし、北海道内ではこれまでこの種の公衆トイレの設置事例がないため、本調査研究では排水再利用システムを北海道内で最初に採用した公衆トイレを対象として、使用開始時から約1年間にわたって水質調査などを実施し、このようなシステム採用時において最も問題となる排水処理性能の評価を行った。

2. 調査対象公衆トイレの仕様と概況

今回調査を行った公衆トイレは、道東のA町の国道沿いの公園に建設され、平成6年4月から利用されている。周辺にはこうした休憩施設が少ないため、一般車をはじめ観光バスの利用もある。

施設の仕様を表1に示す。外観、内部とも通常の水洗化された公衆トイレと変わらないが、洗浄排水を高度処理して再利用することにより洗浄水の全量をまかなっている。実際の利用者数は、給水ポンプの作動時間から大まかに推定すると、利用者の多い夏期で600人/日、少ない冬期で200人/日位と思われる。汚水量は1人当たりの洗浄水量を13lとして、安全を見てその2倍と算定している。

* (株)ダブルクリーン

** 松立環境整備(株)

表1 調査対象施設の仕様

便器数	男性用	大4個 小7個
	女性用	兼用6個
	身障者用	兼用1個
想定利用者数		350人/日
計画平均汚水量		9.2 m ³ /日
処理能力		10 m ³ /日

3. 排水再利用システムの構成

図1にシステム構成の概要を示す。トイレの洗浄排水は排水処理装置に流入する。排水処理装置は地下埋設された6槽のFRP製タンクからなり、主たる処理機能は好気性微生物による生物処理である。各槽の有効水深は2m、総有効容量は80m³、水理学的滞留時間は約9日間となる。この間に再利用可能な水質まで高度に処理されて給水ポンプにより洗浄水としてトイレに送水される。各槽の構造の概略は次の通りである。

(1) 沈澱分離室

洗浄排水は最初この沈澱分離室で沈澱物や浮遊物などの固形物と中間水に分離され、中間水のみが次の2次処理槽に送られる。また、嫌気条件下での有機物の分解、硝酸還元菌による脱窒も期待される。固形物は定期的(年1~2回)に清掃除去される。容量は10m³である。

(2) 2次処理槽

容量は10m³で、プラスチック接触ろ材が充填されている。曝気によって好氣的に保たれ、接触ろ材に付着した微生物によって有機物などが酸化分解される。本槽から5次処理槽までの4槽の曝気を1.5kwのプロア2台で行っている。

(3) 3次処理槽

容量は23m³で、プラスチック接触ろ材とひも状ろ材が充填されており、2次処理槽と同様に好氣的条件下で微生物によって有機物などが酸化分解される。

(4) 4次処理槽

容量は23m³で、プラスチック接触ろ材とカキ貝殻が充填されており、曝気によって好氣的に保たれている。カキ貝殻にはプラスチック接触ろ材と同様微生物が付着し有機物などの酸化分解が行われるが、そのほかにカキ貝殻は密に充填され

ているために細かな懸濁物の除去に有効と思われる。また、後述するようにpHの緩衝剤としても作用している。

(5) 5次処理槽

容量は10m³であるが、4次処理槽と同様の構造となっている。

(6) 循環ポンプ槽

容量は5m³で処理水(再利用水)の貯留槽となっている。槽内には活性炭10kg/本を充填した4本の活性炭吸着筒が設置されており、ポンプ(0.4kw)2台によって槽内の処理水を循環して生物処理では除去しにくい着色物質の吸着を行っている。なお、利用者の排泄量に相当するだけ水量が増えるため本槽より外部へ排出、地下浸透処理している。

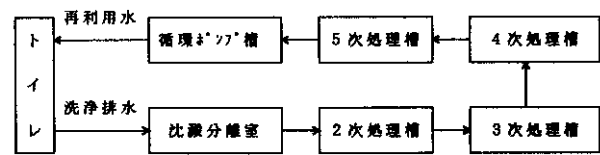


図1 排水再利用システムの構成

表2 調査項目と分析方法

調査項目	分析方法
pH	ガラス電極法
DO	隔膜電極法
透視度	透視度計
電気伝導率	電気伝導度計
SS	ガラス繊維ろ紙法
COD _{Mn}	100℃における過マンガン酸カリウム法
BOD	希釈法
NH ₄ ⁺	ネスラー法
色度	塩化白金コバルト法
大腸菌群	デオキシコール酸塩寒天培地法
Cl ⁻	イオン電極法
PO ₄ ³⁻	モリブデン青法
NO ₃ ⁻	還元後グリース改良法

4. 水質調査方法

調査は5月から8月にかけては毎週1回、そのほかの期間は月2回実施した。試料の採取は各槽の出口で行った。調査項目のうちpH、DO、水温、透視度は現地、その他は工

業試験場で測定を行った。調査項目と分析方法を表2に示す。

5. 水質調査結果と考案

循環ポンプ槽から採取した再利用水の水質調査結果を表3に示す。このうち水温については、生物処理槽の中から4次処理槽の測定結果を示した。

5.1 生物処理立上げの経過

このトイレの利用開始前に排水処理装置内の微生物の馴養は行われず、全槽内に水道水を満たした状態で4月1日から利用に供された。したがってそれ以降、接触材に微生物が付着し生物膜ができるまでは生物分解による処理効果は期待されず、希釈効果のみと考えられる。また、4月始めの外気温は平均5℃以下で処理装置内の水温は10℃以下と低く、生物処理の立上げには好ましくない条件であった。

利用開始後1カ月を経過した5月10日の再利用水の水質を見ると、BODが7mgO/lとかなり高くなってきており、アンモニウムイオンも高濃度で検出されている。しかし、各槽別の濃度では図2のように沈澱分離室でBODが130mgO/lであったものが2次、3次処理槽へと進むに従い大きく低下していることがわかる。これには希釈効果もあると考え

られるが、希釈の影響のみを受けていると思われる電気伝導率の変化はせいぜい50%減少している程度であるから、これとの比較によりBODの低下は生物分解の寄与が大きいと考えられる。また、硝酸イオンが増加してきていることから硝化菌の増殖が認められ、比較的時間を要してはいるが生物処理機能が立上がってきていることがわかる。BOD、アンモ

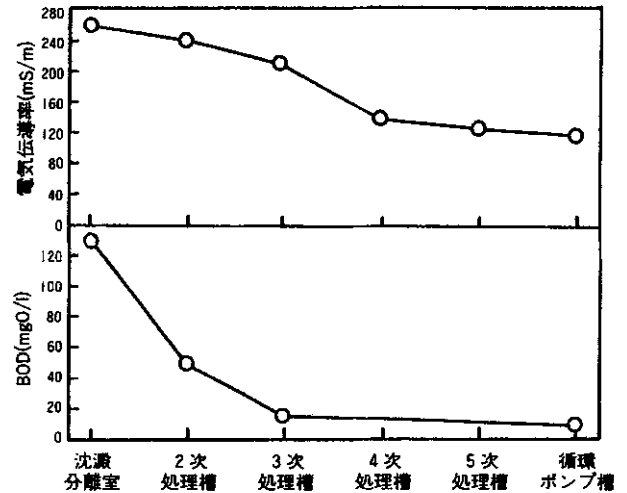


図2 立上げ中のBODと電気伝導率の槽別変化の比較

表3 再利用水の水質調査結果

採水日	水温 (°C)	透視度 (度)	pH	SS (mg/l)	色度 (度)	COD _{Mn} (mgO/l)	BOD (mgO/l)	NH ₄ ⁺ (mgNH ₄ ⁺ /l)	NO ₃ ⁻ (mgNO ₃ ⁻ /l)	PO ₄ ³⁻ (mgPO ₄ ³⁻ /l)	Cl ⁻ (mg/l)	大腸菌群数 (個/ml)
4月13日	7	100<	8.1	1>	1	2	1>	-	-	-	73	-
4月26日	9	100<	8.5	1>	2	5	1	14	4	3	70	2
5月10日	11	100<	8.8	1	15	10	7	63	56	12	200	33
5月17日	12	100<	8.0	1	19	12	9	75	300	22	240	-
5月24日	13	100<	5.7	1	35	55	8	41	425	13	220	不検出
5月31日	15	100<	6.7	1>	24	13	2	0.1>	613	33	260	不検出
6月7日	15	100<	7.3	1>	7	8	1	0.1>	500	10	330	1
6月14日	17	100<	6.9	1>	10	7	1>	0.1>	888	19	370	1
6月28日	18	100<	7.0	1>	16	8	1	0.1>	950	15	450	不検出
7月12日	19	100<	7.2	1	20	9	1>	0.1>	460	16	440	1
7月19日	19	100<	7.2	1>	17	8	1>	0.1>	713	17	450	3
7月26日	17	100<	8.7	1	9	3	1>	0.2	300	5	300	15
8月2日	21	100<	7.8	1	35	21	1	0.5	563	16	390	2
8月10日	23	100<	7.2	1	17	9	1>	0.1>	588	10	400	4
8月17日	24	100<	7.1	1	27	11	1>	0.1>	650	12	390	2
8月23日	24	100<	7.0	1>	20	10	1	0.1>	893	8	390	2
9月6日	25	100<	7.3	1	28	12	1	0.1>	963	10	410	1
9月20日	24	100<	8.3	1	17	7	1	0.1>	1210	5	520	2
10月11日	22	100<	7.7	1	33	10	1	0.1>	1180	6	540	9
10月25日	21	100<	7.5	1	30	12	1	0.1>	1170	6	580	1
11月8日	19	100<	7.5	1	36	14	1	0.1>	1310	8	630	不検出
11月29日	17	100<	7.3	1	46	18	1	0.1>	1150	9	650	不検出
1月11日	15	100<	7.6	1	40	18	1	0.1>	1080	12	550	不検出
2月7日	11	100<	7.5	1	32	12	1	0.1>	1110	10	510	不検出
2月28日	11	100<	8.0	-	32	14	1	0.1>	1110	12	600	不検出
4月4日	15	-	7.5	2	48	21	1>	0.1>	1210	13	720	-

ニウムイオン濃度は5月17, 24日にピークとなっているが、5月24日のATU - BODを測定したところ1mgO/lであることから、このピーク時のBODは大部分が硝化菌によるアンモニウムイオンの硝化に起因するものと考えられた。これ以降は年間を通じてBODは1mgO/l以下で、アンモニウムイオンは検出されなかった。以上の経過からこの排水処理装置の生物処理機能は使用開始から約2カ月後は定常状態に達したと思われる。

5.2 再利用水の暫定水質基準と年間水質の概況

再利用水を水洗便所洗浄水として使用する場合の暫定水質基準¹⁾を表4に示す。表3の調査結果と比較すると、大腸菌群数については基準を超える測定値は5月と7月にそれぞれ1回ずつあるのみで、8月以後は全て基準を満足している。pHも基準の範囲をわずかにはずれる測定値が3回あるが、そのほかはほぼ7~8の間で8月以後は全て基準の範囲内である。臭気については6月以降再利用水からアンモニウムイオンがほとんど検出されておらず、アンモニア臭で代表される尿臭はもとよりほとんど感じられなかった。外観のうち濁りに関係する透視度は終始100度以上あり問題はなかった。色度は調査期間の後半はほぼ30度から40度の範囲で着色が残っていた。し尿の黄褐色は、胆汁中に含まれる色素から生成されるステルコルビンによるもので、活性汚泥法ではほとんど除去できないとされており²⁾、本排水処理装置では活性炭吸着筒により吸着除去されていると考えられる。この公衆トイレではカラー便器を使用しているのでこの程度の色度であれば許容されると思われる。なお、現在は活性炭を従来のヤシガラ系より吸着能の高い石炭系に交換しており、低色度の再利用水が得られている。

以上のように、本排水処理装置で得られる処理水の水質は寒冷期にも低下せず、年間を通じて洗浄水として再利用可能であることがわかった。

5.3 主な調査水質項目の特徴

再利用水の水質が安定した6月以降の主な調査水質項目についてその特徴的な調査結果を以下に述べる。

(1) 水温

図3に冬期の各槽別水温測定結果の例を示す。各槽間の変化パターンは夏期も同様である。5次処理槽まで移流する間に水温が低下し、循環ポンプ槽では昇温していることがわかる。循環ポンプ槽では常時2台の循環ポンプによって槽内の水を活性炭吸着筒に循環通水しているため、ポンプの発熱によって加温されているものと思われる。2次~5次処理槽では曝気が行われており、放熱が促進され徐々に温度が下がると考えられる。しかし、年間を通じて10℃以上に保たれていた。

表4 再利用水の暫定水質基準（水洗便所洗浄水）

項目	基準
大腸菌群数	10個/ml以下
pH	5.8~8.6
臭気	不快でないこと
外観	不快でないこと

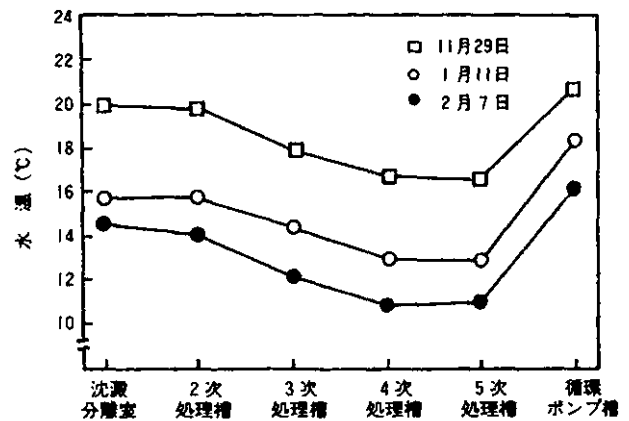


図3 各槽出口の水温変化

(2) 透視度・SS

沈澱分離室出口の透視度は10度以下であるが、生物処理によって3次処理槽に移流するまでは20~60度まで向上している。4次処理槽以降ではほとんどの測定結果が100度以上となっていた。SSは沈澱分離室出口で30~70mg/l、3次処理槽では10mg/l以下、4次処理槽以降ではほとんど1mg/l以下であった。透視度、SSとも4次処理槽での変化が大きい。4次処理槽にはカキ貝殻が密に充填されており、細かな懸濁物の除去に有効に作用しているためと思われる。

(3) pH

図4に各槽出口でのpH測定結果の例を示す。沈澱分離室出口では8~9と高いが、2次、3次処理槽で硝化が進み弱酸性域まで低下している。4次、5次処理槽ではカキ貝殻の主成分炭酸カルシウムによる中和が起きると考えられ、7~8とほぼ中性になっている。

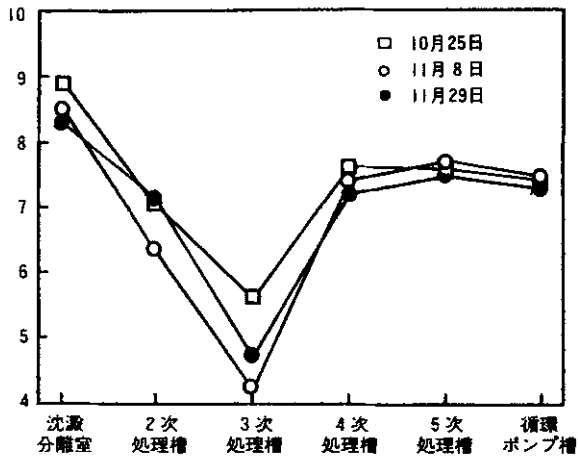


図4 各槽出口のpH変化

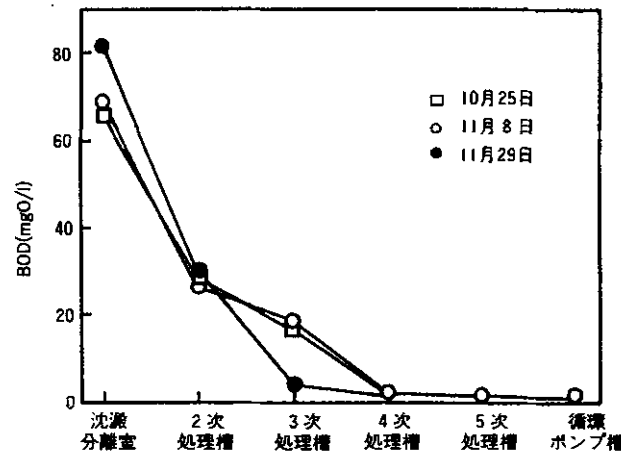


図5 各槽出口のBOD変化

(4) BOD

図5に各槽出口でのBOD測定結果の例を示す。沈澱分離室出口ではおよそ50~80mgO/lであるが、生物処理によって比較的速やかに除去され、4次処理槽以降ではほぼ1mgO/l以下である。

(5) NO₃⁻・PO₄³⁻

2次~5次処理槽は十分好気性に保たれているため、微生物による硝化作用によって硝酸イオンが生成する。このため徐々に硝酸イオン濃度が高くなっていく経過が表3よりわかる。しかし、9月下旬以降はほぼ一定になっていることから、沈澱分離室など嫌気性の部分で生物的な脱窒が行われていることがうかがえる。

磷酸イオンについては硝酸イオンのように蓄積していく傾向がみられない。この理由としてカキ貝殻のカルシウムイオンと反応し、カルシウムヒドロキシアパタイト³⁾として沈積している可能性がある。

(6) Cl⁻・電気伝導率

し尿中には4000mg/lほどの塩化物イオンが含まれている。塩化物イオンは本排水処理装置では除去できないので循環再利用によって蓄積し、し尿中の濃度に近づくと予想された。しかし、初期には徐々に高くなっていったが、約600mg/lに達した10月以降はあまり変化していない。表3には示していないが、電気伝導率も約400mS/mでほぼ一定になっている。この理由については明確ではない。

5.4 調査期間中のメンテナンス

7月、1月の2回、沈澱分離室の沈澱物、スカムを引き抜くため、沈澱分離室貯留物の全量を汲み出した後水道水が満たされた。循環ポンプ槽活性炭吸着筒の活性炭は、期間中4回交換した。

6.まとめ

洗浄排水を高度に処理して循環再利用するシステムを採用した公衆トイレを対象として、排水処理性能の評価を行った。調査した公衆トイレの排水処理装置は地下埋設されたFRP製の沈澱分離室1槽、生物処理槽4槽、循環ポンプ槽1槽から構成され、各槽の有効水深は2m、総有効容量は約80m³、水理的滞留時間は約9日間である。使用開始時から約1年間にわたって水質調査などを実施した。以下にその結果の概要を記す。

- (1) トイレの利用開始前に排水処理装置の微生物の馴養は特に行われず、全槽内に水道水を満たした状態で利用に供された。約2カ月後に生物処理機能が安定するまでの間、一時的にBOD、アンモニウムイオン濃度等が高くなったが再利用上の支障はなかった。
- (2) 本排水処理装置で得られる処理水の水質は、再利用水を水洗便所洗浄水として使用する場合の暫定水質基準を満たしており、寒冷期も含め年間を通じて洗浄水として再利用可能であることがわかった。

参考文献

- 1) (社)営繕協会編 排水再利用システム設計指針 P12 (財)全国建設研修センター (1982)
- 2) 須藤隆一ほか 活性汚泥法 P226 思考社 (1980)
- 3) 松本利通 用水廃水ハンドブック P545 産業用水調査会 (1979)