異なる負荷条件で運用した洗浄水自浄型トイレの比較評価

日本大学　学生会員　○横手　亮太
日本大学　　中村　和徳
日本大学　　橋本　純
日本大学　正会員　　中野　和典

1.　研究背景と目的

災害時等の非常時のトイレ事情として、ライフラインが寸断され使用可能なトイレの数は限られる。東日本大震災では、仮設された簡易汲み取りトイレが集中的に使用され、その汚水タンクが満タンになり、継続した使用が出来なくなる事態が起きた。そのような高負荷条件でも汚水をその場で浄化処理し、洗浄水として再利用する洗浄水自浄型トイレがあれば、非常時のトイレの問題の解決に貢献するものとなる。一方、観光地のトイレのように季節により利用者数が大きく変化するトイレでは、発生する汚水負荷量が一定でないため、汚水の浄化を担う活性汚泥の微生物を適正に維持することが難しく、下水道の代替として用いられる浄化槽を安定して使用する事が出来ない。そのような不安定な負荷条件でも汚水を安定に浄化処理できれば、洗浄水自浄型トイレを設置することが可能になる。本研究では、人工湿地技術を応用した浄化ユニットを簡易トイレと組み合わせた洗浄水自浄型トイレを製作し、高負荷条件及び不安定な低負荷条件で試験運用し、洗浄水自浄機能とトイレの快適性の維持について比較評価した。

2. 洗浄水自浄型トイレシステムの概要と異なる負荷条件での試験運用方法

不安定な低負荷条件における洗浄水自浄型トイレの試験運用は、福島第一原発事故により居住制限区域となった飯館村で行った。高負荷条件における洗浄水自浄型トイレの試験運用は、集中的なトイレの使用を計画的に実現できる日本大学工学部キャンパスで行った。飯館村及び工学部キャンパスで試験運用した洗浄水自浄型トイレシステムの概要を、それぞれ**図-1** 及び**図-2** に示す。どちらも 5 種類の濾材を充填した濾床によりトイレの洗浄排水を濾過処理し、処理水を洗浄水として再利用する完全閉鎖システムである。工学部キャンパスの洗浄水自浄型トイレでは、ポンプ内蔵型便器を採用することにより、飯館村の洗浄水自浄型トイレシステムで必要であった汚水タンクが不要となっている。

飯館村では、洗浄水自浄型トイレを設置した農家を不定期に訪れる人が自由にトイレ使用したのに対し、工学部キャンパスでは、週あたり大便 14 回・小便 42 回の使用頻度を計画的に満たすようにトイレを使用した。洗浄水自浄型トイレの洗浄水自浄機能を評価するため、飯館村のトイレでは毎月 1 回、工学部キャンパスでは 2 週間に 1 回、処理水タンクより採水し、洗浄水質を測定した。また、トイレの快適性を評価するため、ニオイセンサーによる臭気レベルを測定した。

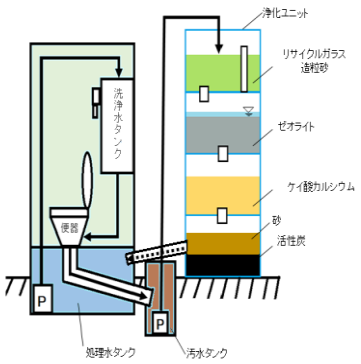

図-1　不安定な低負荷条件で試験運用した洗浄水自浄型トイレの概要

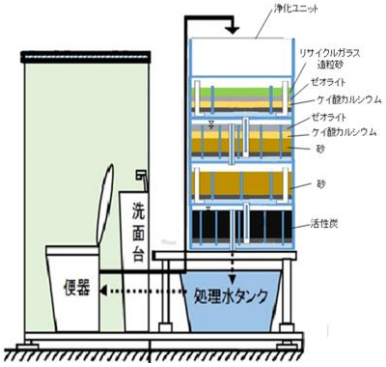

図-2　高負荷条件で試験運用した浄水自浄型トイレの概要

3. 調査結果と考察

3-1 洗浄水自浄型トイレの使用状況

飯館村及び工学部キャンパスに設置した洗浄水自浄型トイレの使用回数を**図-3** に示す。不安定な低負荷条件で試験運用した飯館村のトイレにおける負荷条件は、15 か月（446 日）間で大便 24 回、小便 88 回であったのに対し、高負荷条件で試験運用した工学部キャンパスのトイレにおける負荷条件は、89 日間で大便 130 回、小便 310 回であった。

3-2. 洗浄水自浄型トイレの洗浄水質の経時変化

洗浄水自浄型トイレの洗浄水質の経時変化を**図-3**に、試験運用終了後の洗浄水質を**表-1** に示す。不安定な低負荷条件で試験運用した飯館村のトイレの 15 か月後の洗

キーワード：トイレ、ゼロエミッション、省エネルギー
連絡先　〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地　日本大学工学部　環境生態工学研究室

浄水の COD_{Mn}、総窒素（T-N）及び総リン（T-P）濃度は、それぞれ 0mg/l、69mg-N/l、及び 1mg-P/l であり、良好な水質を維持できていた。大腸菌群数は 7 個/ml とわずかであるが検出された。これらの結果から、本研究で試験運用した洗浄水自浄型トイレシステムでは、浄化槽が使用できない不安定な低負荷条件でも、問題なく洗浄水の再生が行なわれ、持続的なトイレの使用が可能であることが実証された。

高負荷条件で試験運用したトイレの洗浄水の COD_{Cr}、T-N、T-P 濃度及び大腸菌群数は、トイレの使用回数に伴い増加し、低負荷条件とは異なる傾向となった。運用開始から 89 日後の洗浄水の最終水質は、COD_{Mn}、T-N、T-P 及び大腸菌群数は、それぞれ 29mg/l、149mg-N/l、7.3mg-P/l 及び 0 個/ml であった。これらの値をトイレの使用回数で割った大便 1 回あたりの、COD_{Mn}、T-N 及び T-P 蓄積濃度は、それぞれ 0.3 mg/l、1.2mg-N/l、0.06mg-P/l であり、小便 1 回あたりでは、それぞれ 0.1mg/l、0.5mg-N/l、0.02mg-P/l となった。このように、高負荷条件で運用しても、トイレ使用回数 1 回あたりに洗浄水に残存する汚濁濃度は非常に低い事が確認できた。運用開始から 30 日後の大腸菌群数は 500 個/ml であったが、大腸菌数は 23 個/ml であったことから、大腸菌群の大半はふん便由来の大腸菌ではなく、濾材を充填した浄化ユニット内の細菌であることが示唆された。運用開始から 89 日後の洗浄水の大腸菌群数は 0 個/ml であり、増加しなかった事から、衛生的安全性についても確認することが出来た。これらの結果から、本研究で試験運用した洗浄水自浄型トイレシステムは、高負荷条件でも問題なく汚水をその場で浄化処理し、持続的なトイレの使用が可能であることが実証された。

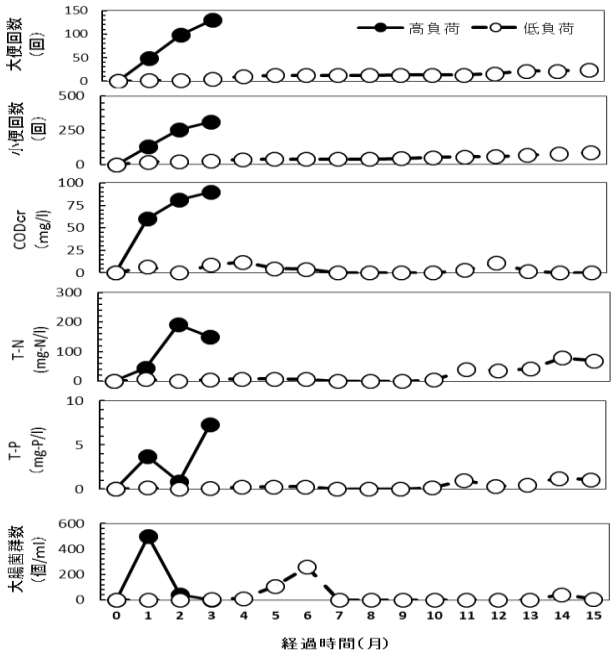

図-3 洗浄水自浄型トイレの使用回数と洗浄水質の経時変化

3-3. 洗浄水自浄型トイレの快適性の比較評価

トイレの快適性は臭気によって左右されると考え、本調査では快適性の評価にニオイセンサによる臭気測定を採用した。**表-1** に示すように、試験運用最終日の洗浄水自浄型トイレの臭気レベル値は、高負荷条件で 10、低負荷条件では 12 であり、一般家庭のトイレの臭気レベル値（45 程度）よりも低かった。高負荷条件で運用した場合には浄化ユニット上層に堆積物が蓄積したが、この結果より、堆積物はトイレの臭気環境に影響を及ぼさず、トイレの快適性が維持できていた事が実証された。

表-1 異なる負荷条件で運用した洗浄水自浄型トイレの洗浄水の最終水質

負荷条件	使用日数	使用回数		最終洗浄水水質						臭気レベル値
		大便	小便	COD_{Cr}	COD_{Mn}	T-N	T-P	大腸菌群数	大腸菌	
	（日）	（回）	（回）	(mg/l)	(mg/l)	(mg-N/l)	(mg-P/l)	（個/ml）		
高負荷条件	89	130	310	90	29	149	7.3	0	0	10
低負荷条件	466	24	88	0	0	69	1	7	-	12

5. まとめ

本研究により、試験運用した洗浄水自浄型トイレシステムが、負荷条件に関わらず洗浄水を再生することが可能であり、持続的なトイレの使用を可能とすることが実証された。今後、長期運用した場合に生じる堆積物の蓄積速度を明らかにし、洗浄水自浄型トイレの持続的な運用手法を確立する事で、非常時や観光地におけるトイレの問題を解決するシステムとして貢献するものとなることが期待できる。

謝辞 本研究は、平成 29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(S1391007)の支援を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。