

「混ぜない」、「集めない」をコンセプトとした資源回収型排水処理技術の開発と評価

Development of Resources Oriented Sanitation System Based on the Concept "Don't Mix" and "Don't Collect" Wastewater

船水 尚行 (FUNAMIZU NAOYUKI)

北海道大学・大学院工学研究院・教授



研究の概要

「混ぜない・集めない」というコンセプトを適用した新しい排水処理体系を提案している。途上国農村モデル、途上国スラムモデル、日本里山モデルを提唱し、公衆衛生学、衛生工学に裏打ちされた工学技術と科学的知見の蓄積による本システムの理念の体系化、システムを支える要素技術の合理的設計法、システム評価法の基盤の確立を図る。

研究分野：衛生工学

科研費の分科・細目：土木環境システム

キーワード：水と衛生，排水分離，分散型，水循環，国際貢献

1. 研究開始当初の背景

貧困の撲滅を目指したミレニアム開発目標の達成努力の中で、「サニテーション」問題は世界の緊急な課題である。特に農村部では分散型の処理システムの必要性が強調され、新たな概念を基礎とした持続可能な分散型サニテーションシステムの開発が必要とされている。途上国都市域の人口密度の高いスラムでは、農村部とは異なるモデルを構築する必要がある。先進国においても日本の里山地域のような地域では、自然共生型で資源循環を実現するシステムが必要とされている。

2. 研究の目的

持続可能な排水処理は資源回収／排水再利用と微量汚染物質の管理を同時に満たす必要がある。このための方策として、糞便、尿、雑排水を発生源で分離し、資源回収する、「混ぜない・集めない」というコンセプトを適用した新しい排水処理体系を提案し、(1)開発途上国の衛生問題の解決と有用資源の回収を行う途上国農村モデル、(2)途上国スラム等都市域モデル、(3)先進国の自然共生型資源循環排水処理モデルの3つのモデル理念の確立とこれらに必要な(a)要素技術(糞便、尿、雑排水を対象とした処理技術)、(b)要素技術のシステム化、(c)微量汚染物質評価法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

システムを構成する要素技術を研究する(1)し尿処理技術チーム(コンポストトイレ、尿中資源回収と医薬品処理担当)、(2)雑排水

処理再利用技術チーム(傾斜土層、MBR、高速沈降性藻類池担当)、(3)モニタリング技術(バイオアッセイによる微量汚染物質モニタリング担当)、(4)モニタリング技術(衛生学的管理手法担当)を組織している。また、実証研究をインドネシア LIPI、ブルキナファソ 2iE の協力のもとに実施している。

4. これまでの成果

(1)し尿処理技術

(1-1)コンポストトイレ：本技術の合理的設計法の基盤となる反応モデルについて、これまでの研究により有機物、窒素、水分を記述することが可能となった。また、衛生学的管理手法検討成果を導入することで、病原微生物、秩父の実証トイレでの結果の集積から医薬品に関する総合的反応モデルへの目途がついている。手動攪拌、低コスト、現地制作可能な反応槽試作機が完成し、代替マトリクスを含めたコンポスト化反応実験により、従前の装置と同等の処理性能が確認された。

(1-2)尿の処理技術：自然エネルギーを利用する尿濃縮法を確立した。尿中尿素から緩効性窒素肥料を製造する方法を考案し、北大から特許出願した。貝殻をCa源とし、貝殻表面に尿中のリンを回収する方法を開発した。尿中医薬品を直接電解酸化できることを確認した。尿中窒素リンの回収の理論的基盤をほぼ達成した状況である。

(2)雑排水処理再利用技術

(2-1)途上国農村用傾斜土層ユニット：界面活性物質、病原微生物除去モデル化により合理

的設計が可能となった。発芽試験によりバイオアッセイにより、処理水が植物成長阻害を引き起こさないことも確認した。

(2-2)日本里山モデル用 MBR：調整槽とポンプを用いず、水位差を駆動力とした膜ろ過、かつ、排水の間欠流入で MBR（膜分離活性汚泥法）を適切な運転条件で長期間運転可能であることが確認された。

(2-3)途上国都市モデル用高速沈降性藻類池：沈降性の高い藻類の分離集積が可能で、かつ、この集積を SRT により制御できることを解明し、合理的設計法を確立した。

(3)微量汚染物質モニタリング

(3-1)バイオアッセイ系の構築：HSP47、HSP90B組み込み細胞の作成に成功し特許を申請した。Caco-2、MCF-7を用い、プロテオミクス手法により、24種類のたんぱく質がマーカーとして特定された。

(3-2)エンドトキシンの制御：毒性物質であるエンドトキシンが生物処理過程で生成することを確認し、エンドトキシン活性を有する有機物は微生物の代謝産物で分子量が大きくかつ疎水性の強い物質であることを同定した。

(4)衛生学的管理手法

コンポスト型トイレの担体中での病原細菌およびウイルスの損傷部位を大腸菌の濃度変化を異なる3種の培養培地を用いて測定する方法に加え、核酸修飾剤のPMAを使用する方法を開発し、その適用性を確認した。

(5)実証研究

(5-1)導入戦略：「衛生システムを利用者のvalue chainの中に組み込む」ことを途上国における衛生システム導入戦略の基本概念として提案し、これを支える社会システム調査と組み合わせたマテリアルフロー・value flow 解析方法を提案した。

(5-2)実証研究：2iE 研究者とパイロットファミリーの選定し、マテリアルフロー・value flow を解析した結果、新衛生システムで得られる、処理水、窒素・リン肥料を介した農業生産の増加による収入がシステムのハード（価格）を決定することを見出した。LIPI 研究者とバンドンのスラム域でのマテリアルフロー・value flow を解析した結果、新衛生システムを利用した資源循環がスラム域で実現可能なことが示された。LIPI によりコンポストトイレが試作され、運転されている。日本国内では、秩父の一般家庭で通常のトイレとしてコンポスト型トイレを使用している。その衛生学的安全性、医薬品の蓄積についてデータの収集を継続している。

5. 今後の計画

(1)し尿処理技術：コンポストトイレの有機物、窒素、水分、温度、病原微生物、医薬品の総合反応モデルへ展開する。尿中資源の回収では、実尿への適用課題の解決と

システム化へ進む。

(2)雑排水処理再利用技術：途上国農村用では灌漑システム管理の観点からの処理性の評価を行う。途上国都市用では、実証実験による最適運転条件の確認を行う。

(3)微量汚染物質モニタリング：新規細胞を他の微量汚染物質評価への適用とバイオマーカーのデータベース化を進める。

(4)衛生学的管理手法：新規開発の病原微生物損傷測定法の適用性をさらに確認し、管理指標や評価基準の提案に進む。

(5)実証研究と導入戦略：今回提案した途上国における衛生システム導入戦略の基本概念をケーススタディ（インドネシアのスラム、ブルキナファソ農村家庭を対象）により一層確かなものとする。秩父、インドネシアでの施設の運転を継続する。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）
発表論文：23 編

1. Guizani M., Nogoshi Y., Fahmi B.F., Han J., Isoda H. and Funamizu N.: Heat shock protein 47 stress responses in Chinese hamster ovary cells exposed to raw and reclaimed wastewater, *J. Environ. Monit.*, 14, pp. 492-498(2012)
2. Sene M., Hijikata N., Ushijima K., Funamizu N., Adequate human urine application pattern for agriculture, *International. Research. Journal of Agriculture Science and Soil Science*, 2(1): pp.038-045(2012)
3. Pahore M.M., Ushijima K., Ito R., Funamizu N.: Fate of nitrogen during volume reduction of human urine using an onsite volume reduction system, *Environmental Technology*, 33, pp.229-235(2012)
4. Guizani M., Dhahbi M and Funamizu N.: Characterization of endotoxic indicative organic matter (2-keto-3deoxyoctulosonic acid) in raw and biologically treated domestic wastewater, *Water Research*, 45, pp.155-162 (2011)
5. Hotta S. and Funamizu N.: Simulation of accumulated matter from human feces in the sawdust matrix of the composting toilet, *Bio-resource technology*, Vol.100, pp.1310-1314(2009) 他 18 篇

招待講演：12 回

Funamizu N.: Resources oriented sanitation System for those areas where economic and technical limitations. 3rd International Congress Wastewater in Small Communities, April 25-28, Sevilla, Spain, 2011 他 11 回

国際会議発表：42 件

産業財産権等：

- (1)細胞及び評価方法(HSP90b)
特願2009-242760号
- (2)尿中の窒素成分の固形状回収装置
特願2010-256364号

ホームページ等

<http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/UBNWT-RSE/>