

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成 14 年度採択研究代表者

船水 尚行

(北海道大学大学院工学研究科 教授)

「持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系への導入」

1. 研究実施の概要

本研究では、「混ぜない(排水分離)」、「集めない(分散型)」を前提とした、持続可能性の高い新しいサニテーションシステムの開発を目的としている。すなわち、(1)非水洗トイレによりし尿を水循環系からの分離、(2)し尿と厨芥のコンポスト化と物質循環ルート確立、(3)し尿以外の生活雑排水の適切な処理の実現を目指し、要素技術開発研究(水を用いないし尿と生ごみの処理・コンポスト資源化装置、グレイウォーター処理・資源化装置、コンポスト利用技術開発)、新システム評価手法開発(病原性微生物・微量化学物質モニタリング技術と健康リスク評価、流域の水・物質循環に対する寄与の評価手法)、国内・海外における実証研究(国内:4箇所、海外:中国3箇所、インドネシア)を実施してきた。現段階で(1)非水洗コンポスト型トイレの設計・維持管理手法の確立、(2)コンポストを用いた生物分解性資材製造、(3)コンポストに含まれる微量汚染物質の評価手法の確立(ヒト細胞を用いたバイオアッセイ、ホルモン類・医薬品類の分析手法)、(4)病原性微生物の健康リスク評価手法の確立、(5)傾斜土層法によるグレイウォーター処理の確立に目途がついている。実証研究はシステムの長期間の運転による処理性の評価に加え、事例研究を通しての導入戦略の検討も同時に行っている。社会現況調査、施設の運転の段階へと進んでいる。

2. 研究実施内容

「混ぜない(排水分離)」、「集めない(分散型)」を前提とした、持続可能性の高い新しいサニテーションシステムの開発を目的として、4つの要素研究と国内、海外実証研究、ならびにこの新しいコンセプトを広める活動を実施している。

要素研究－1(排水分離・分散型処理システムの開発)ではコンポスト型トイレによるし尿処理・資源回収、電気化学的方法による尿の処理、雑排水処理に関する研究を行っている。主要な成果を列記すると：

- コンポスト型トイレの設計・維持管理手法を確立できた。
- 窒素成分、微量汚染物質のコンポスト反応時の挙動について検討を行った。
- 糞便と尿を分離して処理するシステムの検討を開始し、尿の貯蔵過程におけるアンモニア生成、オゾンを用いた尿中微量汚染物質の分解、電気化学的方法の適用に関する検討を行った。

- 秩父と沖縄実証試験現場から採取したオガクズ中の細菌群集を PCR-DGGE, T-RFLP 法の組み合わせにより解析し、し尿のコンポスト化に寄与している細菌について検討した。
- 傾斜土層システムによる雑排水処理実験を行い、有機物、窒素、リン、洗剤成分の除去性を整理した。
- Membrane Bio-Reactor による台所排水処理実験により、有機物負荷と有機物・窒素・リンの除去、反応槽内への有機物の蓄積、膜ファウリングの関係に関する知見を得た。

要素研究—2(コンポスト利用技術開発)では最終産物であるコンポストの有効利用について検討し、次の知見を得た：

- コンポストの成型： 接着剤なしにボードを作製することが出来、リンの多いコンポストからのボードは、燃えにくいことが分かった。
- コンポストの有機肥料としての適性： 使用後のマトリックスは、野菜の発芽試験において障害を示さず、肥料としての使用に支障がないことを確認した。
- コンポスト中のフミン質の蓄積挙動： トイレの運転継続により、マトリックス中に微細粒子としてフミン質の蓄積を確認し、フミン質の増加→保水性の増加→嫌気条件の生成→マトリックスの交換の必要性という、一連の過程を明らかにした。

要素研究—3(病原性微生物・微量化学物質モニタリングと健康リスク評価)では、コンポストトイレ内での病原性微生物の不活化、コンポスト中の微量汚染物質の測定法の開発を行い、

- コンポスト反応槽中の大腸菌の挙動と使用期間、含水率、水分活性、温度の関係の検討を行い、トイレの使用期間が3～4ヶ月を越えると大腸菌の不活化速度が大きくなることが確認された。
- 大腸菌の不活化を促進する方法の一つとして生石灰の投入を検討した。
- 運転中のコンポスト型トイレの指標微生物とおが屑物性の挙動を測定し、大腸菌数と含水率および槽内温度との相関が高いことが、実証実験によっても確かめられた。
- ウイルスの挙動について、4種の大腸菌ファージで検討した結果、4種のうち T4 ファージのみが含水率依存性が大きいことがわかった。また4種とも温度依存性が大きいことがわかった。
- 体内より排出される医薬品代謝物の定量分析を行うため、解熱鎮痛剤(6 種)、抗不整脈薬(2 種)、抗生物質(4 種)等について、LC/MS/MS を用いた測定条件(イオン化条件、カラム・溶離液の選択等)の検討を行い、測定法を確立した。

要素研究—4(新システムの流域水・物質循環に対する寄与の評価法開発)では、サニテーションシステム導入効果と波及的な環境影響間のトレードオフの評価手法を確立し、その手法を各地の流域への適用を開始した。

- タイ東北部 Roi-et 県におけるサニテーション施設(Septic tank, 改良型システム)の LCA 評価を実施した。
- 中国 Xiaotangshan 地区における水収支モデルの構築とサニテーションシナリオの評価(下水道施設の普及状況を調査とともに表流水の水質モデルの構築、Septic tank, 従来型の下水道、コンポスト型トイレットの普及シナリオの作成)を行った。
- スリランカ Kelani 川流域への河川水質モデル(QUAL2K)を適用した。

- QMRA と LCA を用いたサニテーションの普及による健康影響の改善と副次的な環境影響の統合評価を試みた。

国内実施設による実証研究では、埼玉県秩父市、名護市に実証施設を設置し、その維持管理性、処理性能を実証している。また、コンポスト型トイレのエネルギー消費構造を明らかにし、消費エネルギー低減方策について試行を行った。また、新しいシステムの導入戦略について、イノベータの役割について検討している。

海外における実証研究では中国、インドネシアの合計4研究機関にコンポスト型トイレを設置し、

- おが屑に代わる代替マトリクスの検討の結果、コーンストーク、大豆残渣、現地木材などで日本におけるコンポストトイレと同等の性能が得られた。
- 南京では小学校、西安では水道のない自然公園、インドネシアではイスラム宗教学校に大型バイオトイレを設置し、運転をしている。
- 南京ではバイオトイレに関する中学生の研究を南京大学の学生が指導し、中国全土のコンテストで金賞を受賞した。また、インドネシアでは研究が一般雑誌に掲載された。
- 西安とインドネシアにおいてバイオトイレの現地試作を行い、それぞれ、コストを日本製の約 1/10, 1/5 程度することができると実証した。
- バイオトイレから生産されるコンポストの性能試験を行った（長春：トウモロコシ、南京：野菜、西安：観賞用盆栽）。長春では無施肥に比べてトウモロコシの収量増加を確認した。



インドネシア製プロトタイプ

コンセプトを広める活動では3rd International Symposium on **バイオトイレ** Sustainable Sanitation (JST, 南京大学, 東北師範大学, 西安建築科学技術大学, Indonesia Institute of Science)を中国西安市で開催した。

3. 研究実施体制

バイオトイレグループ

- ①研究分担グループ長：船水 尚行（北海道大学大学院工学研究科、教授）
- ②研究項目：し尿分解過程の反応工学的解析に基づく合理的設計法の開発

バイオ・エコユニットグループ

- ①研究分担グループ長：稲森悠平（（独）国立環境研究所、室長）
- ②研究項目：分離・分散型処理システムの開発
（アジア諸国で適用性の高い排水処理システムの開発）

コンポスト利用技術グループ

- ①研究分担グループ長：寺沢 実（北海道大学大学院農学研究科、教授）
- ②研究項目：コンポスト利用技術の開発

リスク評価グループ

- ①研究分担グループ長：大瀧 雅寛（お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科、助教授）
- ②研究項目：バイオトイレにおける病原リスク評価，微量化学物質のモニタリング技術の開発，サニテーションシステム開発における生物影響評価に関する研究

流域グループ

- ①研究分担グループ長：長谷川 聖（東京大学大学院工学系研究科、助手）
- ②研究項目：有機性廃棄物管理の視点にたった総合環境評価システムの構築

アドホック-1

- ①研究分担グループ長：船水 尚行（北海道大学大学院工学研究科、教授）
- ②研究項目：秩父，名護実証実験サイトにおける実証実験，実施設による実証実験（国内），ダム水源地流域における分離・分散型処理システムの適用に関する研究，亜熱帯域における分離・分散型処理システムの適用に関する研究

アドホック-2

- ①研究分担グループ長：石川 忠晴（東京工業大学大学院総合理工学研究科、教授）
- ②研究項目：海外における実証実験

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1）論文（原著論文）発表

- Nakagawa N, Otaki M, Miura S, Hamasuna H, Ishizaki K: Field survey of a sustainable sanitation system in a residential house, *J of Environmental Sciences* (in press)
- N. Nakagawa, M. Otaki: Application of Microbial Risk Assessment on a Residentially Operated Bio-toilet, *J. of Water and Health* (in press)
- H. Isoda, T.P.N. Talorete, J. Han, K. Nakamura: Expressions of Galection-3, Glutathione S-transferase A2 and Peroxiredoxin-1 by Nonylphenol-incubated Caco-2 Cells and Reduction in Transepithelial Electrical Resistance by Nonylphenol, *Toxicology in Vitro*, vol.20, No.1, pp.63-70(2006)
- H. Narita, N. Funamizu, T. Takakuwa, M. Kunimoto: Role of hydrophilic organic matter

- on developing toxicity in decay process of activated sludge, *Water Science & Technology*, Vol.52, No.8, pp63-70 (2005)
- H. Narita, M.A. Lopez Zavala, K. Iwai, R. Ito, N. Funamizu: Transformation and Characterization of Dissolved Organic Matter during the Thermophilic Aerobic Biodegradation of Faeces, *Water Research*, Vol.39, No.19, pp.4639-4704(2005)
 - M.A. Lopez Zavala, N. Funamizu: Effect of Moisture on the Composting Process in the Bio-Toilet System, *Compost Science & Utilization*, Vol.13, No.3, pp. 208-216(2005)
 - H.Narita, N.Funamizu, T.Takakuwa: Inert Soluble Organic Matter in Return Flow form Sludge Treatment Process and Its Control by Coagulation, *Environmental Engineering Science*, Vol.22.No.5,pp.689-698(2005)
 - H.Narita, I. Isshiki, N.Funamizu, T.Takakuwa, H.Nakagawa, S-I.Nishimura: Organic Matter Released from Activated Sludge Bacteria Cells during their Decay Process, *Environmental Technology*, Vol.26.pp.433-439(2005)
 - 寺澤実, 橘井敏弘: おがくずを用いた乾式し尿処理装置の開発, 環境研究, vol.139, pp.13-19(2005)
 - 柿本貴志, 大澤輝真, 船水尚行: し尿中に放出される抗生物質が糞便のコンポスト化反応に与える影響, 環境工学研究論文集, 第 42 巻, pp.315-323 (2005)
 - 堀田真也, 野口友寛, 船水尚行: 糞便の好氣的分解過程における窒素挙動に関する実験, 環境工学研究論文集, 第 42 巻, pp.325-333 (2005)

(2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積件数 : 2 件)