

持続可能なサニテーションシステムの開発と 水循環系への導入に関する研究

研究代表者
船水 尚行

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に関する研究

北海道大学・工学研究科環境創生工学専攻サニテーション工学研究室 船水尚行

1. 研究構想「集めない」、「混ぜない」排水処理システムの開発^{1), 2), 3)}

1-1 新しいサニテーションシステムの必要性

「世界は水の危機に瀕している」という認識の中で、「水と衛生の問題」は重要な位置を占めている。すなわち、「世界中で約10億人の人々が安全な飲み水を得ることができない。」「約24億人の人々が適切な衛生状態におかれていない。」「これから25年間に人口はさらに20億人増加する。」「この増加は主に開発途上国の都市域で生じ、水問題の解決が無ければ、これらの人たちは貧困に苦しめられる運命にある。」「世界で発生する排水の90%は不完全な処理または全く処理されないで排出されている。」「開発途上国における疾病の80%、死亡原因の25%は汚染された水に起因している。」等の問題である。

この水の危機に対して、世界は大きな目標(Millennium Development Goals と呼ばれている)を設定して取り組みを開始している。そして、この問題に取り組むためには、新しいサニテーションシステムが必要とされている。

1-2 「集めない」、「混ぜない」排水処理(排水分離・分散型処理)⁴⁾

新しいサニテーションシステムの要件を、(a)世界経済の視点、(b)持続可能な水循環の視点、(c)水資源管理の視点、(d)栄養塩管理/再利用の視点、(e)処理技術の視点、(f)微量有害物質の管理の視点、(g)水にかかわる文化の視点から整理した。

そして、家庭からの排水を3つに分離、処理し、有用資源を回収する、「集めない」、「混ぜない」排水処理システムを構想した。分離・分散型排水処理システムのイメージを図-1に示す。すなわち、排水はし尿から成る Black water, 負荷の高い雑排水(台所排水と洗濯機排水)より成る Higher-load gray water, ならびに負荷の低い雑排水(洗面, 風呂, シャワー) Lower-load gray water に分離し、処理する。特にトイレからの排水は従来型システムとは異なり、水を輸送手段としないことから、排水というよりは、有機性廃棄物として

捉える。これは、トイレを水洗型からコンポスト型トイレに転換することにより達成される。

「集めない」、「混ぜない」排水処理システムの利点を水系や土壌系の汚染、資源循環、ならびに健康リスクなどの多くの観点から整理すると以下のようになる：

- a) し尿の輸送に水を用いないことから、水消費量を減少させ、水需要構造を転換することができる。
- b) し尿に多く含まれる栄養塩類を水循環過程から分離でき、水質保全効果をもつ。
- c) し尿は安定な有機物源(コンポスト)に変換され、コンポスト内に保持されている栄養塩を農業利用できる。
- d) し尿に多く含まれる微量有害化学物質(ホルモン類, 医薬品残渣)を水循環系から分離できる。また、化学物質の拡散を防ぐことが可能となる。
- e) 病原性微生物・有害物質が水循環系から分離されることにより、水利用に伴う健康リスクを低減する。
- f) 処理すべき雑排水量が減少し、処理装置のサイズが小さくなり、運転コストも低減。また、栄養塩のレベルも低下。
- g) 処理水を土壌系に排出することから地下水位の維持をはかり、再利用も可能となる。
- h) パイプを必要としない(下水道施設建設の70%を管路費用が占める)。

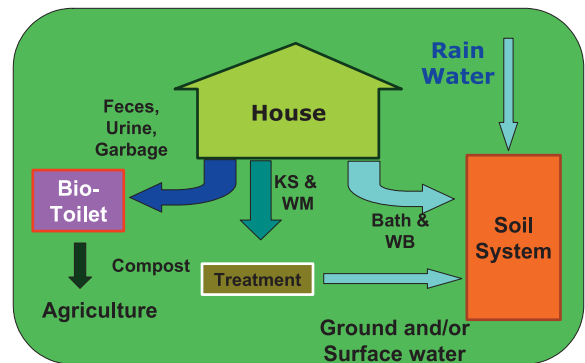


図-1 「集めない」、「混ぜない」排水処理システムのイメージ

2. 研究目的：実質味のある国際援助への道を日本発の技術により開く

本研究では、図—1のような「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た。これにより、アジアの開発途上国の社会基盤施設整備計画立案に貢献し、実質味のある国際援助への道を日本発の技術により開くことが可能となる。

3. 研究手法・体制

本研究のゴールを達成するために、参加研究機関ごとに研究を実施する要素研究とアドホックグループによる総合研究を行った。本プロジェクトのような新しいサニテーションシステムの開発とその導入に関する研究では、新システムを構成する各ユニットの開発研究と新システムの流域の水・物質循環に与える影響の評価手法の開発といった従来型の要素研究のみでは不十分と判断し、各研究機関からの参加者からなるアドホックグループによる総合研究を組織した。これは、新システムを構成する各ユニットをシステムとして機能させた場合の、物理的な性能評価に加えて、社会システム・生活システムとしての総合評価や日常生活パターン変動への対応性や維持管理性の評価といった極めて多角的な検討を同時にかつ実証的に行なう必要があるためである。また、実証研究の成果を要素研究にフィードバックすることも考慮した。

本プロジェクトを支えるハードウェアは(1)家庭等から排出されるし尿、生活雑排水ならびに厨芥を発生源で処理する分離・分散型処理システム(要素研究—1)、(2)処理システムで生産されるコンポジットの利用技術(要素研究—2)である。ソフトウェアとしては、(3)サニテーションシステムの水・物質循環機能を時空間的に評価、監視するためのモニタリング技術と健康リスク評価技術(要素研究—3)、ならびに(4)新システム導入効果を水循環・物質循環の観点から流域スケールで評価する手法(要素研究—4)が必要である。加えて、新システムをアジア諸国のある地域に導入していくための戦略も重要である。この導入戦略は地域の社会システムとの関連が極めて強く、かつ、一般的な理論構築よりも、学際的かつ実証的にケーススタディを通して検討していく方が適切と判断し、

アドホックグループによる研究(アドホックグループ研究—2)として位置付ける。また、国内においても、分離・分散型処理システムを設置した実証施設を建設し、要素研究で得られた知見を総合的にシステムとして実証することも行なう(アドホックグループ研究—1)。

各研究に参加した機関は次のようである：

(1)要素研究 コンポジット型トイレグループ

- 北海道大学(船水)：し尿を同時に処理するコンポジット型トイレに関する研究を担当。実証研究の結果を受け、糞便のみを処理するコンポジット型トイレの研究、尿の貯蔵/処理/資源回収に関する研究も追加した。
- 長崎大学(田辺)：ポータブルトイレの開発
- 東京大学((栗栖(長谷川))：生物相解析によるコンポジット型トイレの性能の検証
- 早稲田大学(榊原)：実証研究の結果を受け、尿中微量有害物質の電気化学的除去に関する研究を担当

(2)要素研究 バイオ・エコユニットグループ

- 国立環境研究所(徐)：傾斜土槽法による雑排水処理法の確立

(3)要素研究：コンポジット利用技術グループ

- 北海道大学(寺沢)：コンポジット利用技術の開発

(4)要素研究：リスク評価グループ

- お茶の水女子大学(大瀧)：病原リスク評価
- いであ株式会社 環境創造研究所(伊藤)：微量化学物質モニタリング技術の開発
- 筑波大学(磯田)：生物影響評価法の開発

(5)要素研究：流域グループ

- 東京大学(荒巻)：LCA, QMRA手法を用いたDALYsを指標とした検討
- 清華大学(Ni)：流出解析手法をもとに環境負荷、コストを指標とした検討
- 国土技術政策研究所(藤井)：国内流域を対象とした環境負荷評価

(6)実証研究：国内

- 特定非営利活動法人NPO小貝川プロジェクト21：小貝川実証実験
- ダム水源地環境整備センター：名護実証実験
- 北海道大学：小貝川、秩父、名護実証実験
- 国立環境研究所：秩父、名護実証実験
- 沖縄高等工業専門学校：名護実証実験
- お茶の水女子大学：秩父実証実験

(7)実証研究：海外

- 東京工業大学（石川 忠晴）：海外実証実験実施，総括
- 東北師範大学：長春
- 南京大学：南京
- 西安建築科技大学：西安
- インドネシア科学技術院：バンドン

4. 研究成果

技術のイノベーションの過程は「要素技術の開発研究」→「システム化，実証実験（利用者の視点）」→「制度・法制・社会システムといった制度設計」→「要素技術」→「システム化／実証」→「制度設計」→... というように，進んでいく．本プロジェクトにおいても，この過程を踏まえ，「(a)要素技術開発」→「(b)実施による実証研究」→「(c)実証研究からのフィードバック」→「(d)要素技術開発」と研究を進めることを目指した．各研究項目の進行には時間差があり，プロジェクトの実施期間も限られていることから，すべての技術開発においてこの過程を踏むことはできなかったが，し尿を処理するコンポスト型トイレについてはこの過程をある程度踏むことができた．

4-1. 要素研究の成果

まず，第一段階の要素研究で得られた主な結果を以下に整理する：

- ① 尿と糞便を同時に処理するコンポスト型トイレの合理的設計法が確立された．
- ② コンポストは安全である（病原微生物は不活化される．医薬品は分解する．）．
- ③ コンポストから生分解資材を作成できる．
- ④ 雑排水は簡単なシステム（傾斜土層法）で処理できる．
- ⑤ 新サニテーションシステム導入効果の流域スケールでの評価方法を確立した．

以下にこれらの概要を示す．

(1) 尿と糞便を同時に処理するコンポスト型トイレの合理的設計法⁴⁾

コンポスト型トイレに求められる機能は，(1)糞便に含まれる有機物の安定化・肥料化，(2)主として尿から供給される水分の蒸発，(3)病原性微生物の不活化，(4)肥料要素である窒素・リン成分の回収，(5)医薬品等の微量汚染物質の分解である．

これらの機能を発揮させるための必要条件について検討を行うため，(1)コンポスト反応に関わる

微生物の分解活性に関する知見を得るための実験，(2)糞便中有機物の解析方法の開発，(3)コンポスト反応の数学モデルの開発，(4)コンポスト反応の温度影響の把握とモデル化，(5)コンポスト反応に与える含水率の影響の実験的検討，(6)コンポスト反応における窒素の挙動の把握，(7)病原性微生物の不活化過程の実測とリスク評価，(8)コンポストに残存する有機物特性の評価の検討を行った．その結果，コンポスト反応を適切な状態に保持するため必要な，(a)温度，(b)含水率，(c)攪拌回数の範囲（運転操作条件）を定めることができた．

特に，これら三つの操作条件のうち，含水率がコンポスト化反応の進行に大きく影響することが明らかとなった．おが屑槽の含水率は主として尿の形で供給される一日当たりの投入水量と蒸発による一日あたり水分揮散量のバランスで決まることから，(9)水分の移動速度（乾燥速度）の測定と乾燥工学の知見をもとにしたモデル化に関する検討を行った．その結果，コンポスト型トイレの設計に必要な，(a)含水率を適正な範囲にすること，すなわち，おが屑槽からの所定の水分蒸発量を得る反応槽の表面積を計算することが可能となった．次に，トイレへの水分の供給，すなわち，一日のトイレ使用パターンの解析から，水分の供給には大きな時間変動があり，この変動下においても適切な含水率の上限を超えないという条件から，おが屑の必要体積が計算されるとした．

以上のことから，尿と糞便を同時に処理するコンポスト型トイレの設計法は次のように整理される：

- 設計条件の設定：一日あたりの使用人数と設置地域の気候条件（トイレに供給される空気の温度と湿度によって，水分の蒸発性能が変わることから気候条件が必要となる）．
 - おが屑槽の必要表面積，体積の計算：水分の乾燥速度のモデルを用い，一日あたりの水分投入量，トイレに供給される空気の温度，湿度から必要表面積を求める．トイレの使用パターンのモデルから，必要体積を求める．
- (2) コンポストは安全である（病原微生物は不活化する．医薬品は分解する）⁵⁾
 - (2-1) 病原リスク評価方法の確立とリスク管理のための指標微生物の検討

これまで多くの病原リスク評価は水洗式トイレを含んだ下水道を基盤システムとした水循環の中

で取り扱われてきているが、コンポスト型トイレは、いわゆる汲み取り式トイレや水洗式トイレとは、システム及び使用方法が大きく異なるために、これまでの病原リスク評価をそのまま適用することは難しく、コンポスト型トイレの使用に特化した病原リスク評価を新たに確立する必要が生じた。

まず、従来の病原リスク評価を基礎とした新しい病原リスク評価算定手法の提案と、その算定に必要な種々のパラメータ値（例えば、コンポスト型トイレ内のおが屑がどれだけヒト体内に摂取される可能性があるか、その量はどの位かといった値など）、を文献から引用したり、理論的に推定していく作業、パラメータ値の実測作業を行った。次に、確立したコンポスト型トイレの病原リスク評価手法を用いて、実際のトイレ使用をシミュレートした際の罹患リスクを算定した。

次に、トイレ内おが屑の物理的性状（pH、含水率、温度など）が病原微生物の増減にどの様に影響を与えるのかについて、詳しく検討を行った。その結果、その結果、ウイルスと細菌では、その挙動が大きく異なり、ウイルスの不活化の速度が細菌より遅いことが明らかとなった。

最後に、トイレ内における病原ウイルスの挙動を把握するための微生物指標の検討を行った。これは病原リスクを考える上では、ウイルスを考慮しなければならないという結果を反映したもので、従来の大腸菌や大腸菌群ではウイルスの代替指標としては不十分であるということから、実施したものである。その結果、糞便性連鎖球菌の代替指標としての適合性を、温度や含水率を変化させた様々な条件の下で検討し、その適性を評価することができた。

(2-2) コンポスト中医薬品等の測定法の開発とコンポスト反応過程における医薬品の挙動

ヒトから排泄されるし尿には、有機物や栄養塩類等の他に微量化学物質が含まれている。この微量化学物質としては、ヒト生体成分であるホルモン類や合成化学物質である医薬品及びこれらの代謝物等が挙げられ、近年では生理活性物質として注目を浴びている。特に医薬品類においては、年間を通じて大量に製造・使用されているものであり、これらは生体内で作用した後、原体もしくは代謝物として排泄され、最終的には水環境中に放出されている。

コンポスト型トイレを用いた場合、医薬品等生

理活性物質が残留していると、コンポストの農地還元により、農地の汚染が生じる可能性もある。また、抗菌剤や抗生物質がし尿中に排出された場合は、コンポスト型トイレ内の分解菌発育阻害によるし尿処理能力の低下や薬剤耐性菌の発生などの問題も考えられる。

分析対象物質としては、一般的に用いられており且つ生産量が多いと考えられる医薬品やわが国で今まで水環境中で検出されたとの報告がある医薬品を選定した。選定した医薬品は解熱鎮痛剤や抗てんかん薬、抗不整脈薬、抗生物質等計15物質とした。これらの物質についてLC/MS/MSによる測定における前処理法、測定条件の最適化、検出下限値の算出を行った。

次に、し尿中に含まれる高濃度医薬品の発生源における処理装置としてのコンポスト型トイレの有用性を評価することを目的に、(1)し尿のコンポスト化反応へ対する抗生物質の反応阻害効果と抗生物質分解性に関する検討、(2)し尿のコンポスト化反応を用いた抗生物質以外の医薬品の処理性能評価に関する検討を実施した。その結果、(1)コンポスト型トイレ反応槽内に高濃度に蓄積したリン酸、アンモニアなどにより抗生物質を失活させることができる、(2)これはコンポスト型トイレの特徴である、(3)コンポスト型トイレにおける抗生物質以外の医薬品は分解可能であり、反応槽内pHが8~9であるため、塩基性医薬品の分解に有利であること、が明らかとなった。

これらのことから、コンポスト型トイレは、し尿中医薬品の発生源処理装置として有用であること、ならびに、生分解性を有する塩基性医薬品の開発が望まれることが示された。

(3) コンポストから生分解資材を作成できる⁶⁾

熱圧縮機により加圧成型を試みた。その結果、接着剤なしにボードを作製することが出来た。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。また、接着剤を使用し、ポラスボードの成型を試みた。その結果、イソシアネート系接着材を用いて加圧を軽減しつつポラスボードの成型に成功した。

(4) 雑排水は簡単なシステム（傾斜土層法）で処理できる⁷⁾

図一2に示したように、傾斜土槽法は、底に傾斜がついた薄い箱型の容器に土壌等の浄化担体を充填し、排水を土壌内に浸透流下させて浄化する

水質浄化装置である。土壤微生物の機能を効率的に活用するため、土壤は10cm程度に薄層化して充填する。傾斜板の底には、総窒素除去、滞留時間の確保、および偏流（水みち）防止のために、高さ2cmの遮水板を設けている。また、傾斜土層は薄い容器でできており、排水がジグザグに流れるように、この傾斜土槽を交互に3段から5段程度に積み重ねて多段式に利用することができるため、他の生態工学技法と比べて広い面積を必要とせず、コンパクトな浄化装置としてシステム化することができ、コストやメンテナンスを最小限に抑えることが可能となる。

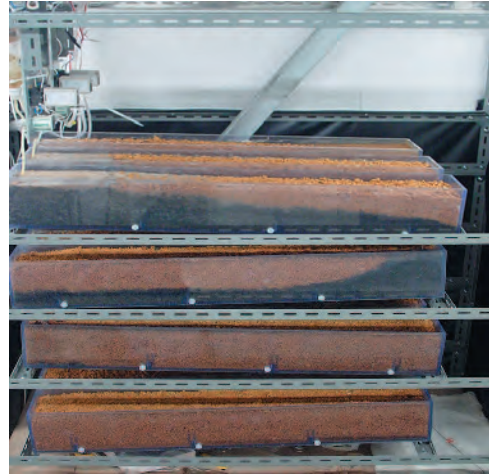
現場実証試験の結果を踏まえつつ、傾斜土槽法の処理性能の安定化および窒素等の除去性能の向上を図る上での最適条件を明らかにすることを目的として、室内実験系において、生活雑排水の流入パターンと処理性能および土槽内の微小動物特性等の関係について検討を行った。

試験に用いた模擬生活雑排水は、標準生ごみ、洗剤、ペプトン等を混合し、 $BOD\ 140\ mg \cdot l^{-1}$ 、 $SS\ 90\ mg \cdot l^{-1}$ 、 $T-N\ 10\ mg \cdot l^{-1}$ 、 $T-P\ 2\ mg \cdot l^{-1}$ 、 $ABS\ 7\ mg \cdot l^{-1}$ に調製した。原水の流入条件は、連続流入系と間欠流入系（7時間停止1時間流入）の2種類の実験を行った。また、実際の傾斜土槽装置において発生するミミズを投入する場合も実施した。

約10ヶ月の試験運転の結果、 BOD 、 COD_{Mn} 、 SS 、 $T-P$ に関しては、連続流入系と間欠流入系どちらにおいても除去率約80～90%と良好であることがわかった。各段からの流出水の窒素形態をみると、連続流入系においては、3段目までは NH_4-N が残り、4段目から NO_x-N の増加が見られ、硝化反応の進行が確認された。一方、間欠流入系においては、1段目から NO_x-N の増加が見られ、硝化反応がほぼ完了していることが確認された。

間欠系においては流入停止時間があり、酸化反応が十分に進行すること、原水が一度に流入するため、システム全体へ拡散しやすいことなどによる反応効率の向上により、処理性能が向上したと考えられた。さらに、維持管理性から見ても、間欠系では目詰まりによる運転トラブルや流出管の生物膜の肥大化等は見られず、運転および除去性能の安定性が明かとなった。一方、ミミズ投入効果として、ミミズの移動による土槽深部における

酸素移動効果を期待していたが、生息密度との関係もあるが、本条件では処理水質には有意な効果は認められず、今回は室内試験であったことも踏まえ、評価方法も含めたさらなる検討が必要であると考えられた。



図一2 傾斜土槽のモデル実験装置

(5) 新サニテーションシステム導入効果の流域スケールでの評価方法の確立^{8), 9)}

この研究では(a)マテリアルフローの解析と副的な環境影響の評価、(b)流域の水文・水質環境にあたる影響の評価、(c)病原微生物による健康リスクの評価とライフサイクルにわたる環境負荷との比較評価の方法論が確立された。これらの方法を適用した例を以下に示す。

(5-1) 北京市郊外小湯山町

北京市郊外の小湯山（Xiaotangshan）町を対象としたサニテーション施設導入による水文・水質環境への影響評価を行った。この町は、一部に集中型の下水道施設が整備されているものの大部分の家庭はSeptic Tankを利用している地区であり、生活雑排水や不適切なSeptageの管理、農地からの栄養塩負荷が問題となっている地域である。ここで、まず地域全体の水収支を捉えるモデルを構築するとともに、水質モデルを構築するための河川や地下水等の水質調査を行った。これらの結果をもとに、SWATモデルを用いて流域からの汚濁負荷計算を行った。また、現状（Septic tank）、従来型の下水道、コンポスト型トイレ、といったサニテーション施設の普及シナリオを設定し、表流水の水量・水質に与える影響を検討するとともに、コスト計算も行った。

その結果、コンポスト型トイレの普及は、生活

用水使用量の節約に貢献するとともに、栄養塩の負荷削減についても、従来型下水道より高い効果が得られるものと推定された。コンポスト型トイレについては初期投資が高いものの、雑排水量の増加するため運用時のコストは従来型下水道が高く、また将来的に水の価格の上昇することが予想されるため、コンポスト型トイレの優位性が増すことが予想された。

(5-2) 霞ヶ浦流域

下水道やコンポスト型トイレなどの整備を進めた場合に、霞ヶ浦へ流入する負荷量や霞ヶ浦の水質がどのように変化するかシミュレーションモデルを用いた検討を行った。下水道や高度処理合併浄化槽、バイオトイレ（し尿）+傾斜土層処理システム（雑排水処理）を以下の割合で整備する6つの代替案を設定し、現況との比較から各排水処理システムの負荷削減効果を把握した。

案1：下水道整備率100%

案2：現況での下水道未整備地域すべてに高度処理合併浄化槽を設置

案3：現況での下水道未整備地域すべてにバイオトイレ+傾斜土層処理システムを設置

案4：バイオトイレ+傾斜土層処理システム設置率100%

案5：現況での下水道未整備地域すべてにバイオトイレのみ設置

案6：バイオトイレのみ100%設置

図-3に示したCOD濃度の低下量で各案を比較すると、コンポスト型トイレのみを設置した場合の効果が最も低く、続いて、案1の下水道整備、案2の高度合併浄化槽、そして、最大の効果が期待できるのが案3、案4のコンポスト型トイレ+傾斜土層処理法という結果であった。

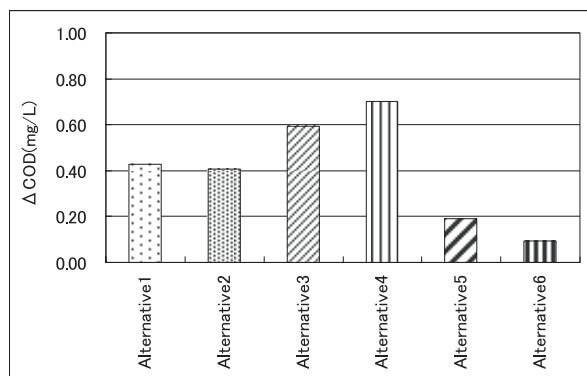


図-3 各代替案による湖心水質改善効果

窒素、リンの負荷という観点からは以下のように整理された：

- 下水道は、TN、TP 全てで処理能力が高く、負荷削減効果が高い。特に、霞ヶ浦流域の処理場はリンの高度処理を行っているため、リンは約95%除去されている。また、いくつかの下水処理場では、処理水を流域外へ放流しているため、他の処理方法と比較して流域内の河川、霞ヶ浦へ流入する水量は少なくなる。
- 高度処理合併浄化槽は、下水道よりはやや処理能力が劣るが、従来の合併処理浄化槽よりTN、TPの除去率が高いため、湖心水質は下水道整備の場合と同程度改善される。
- コンポスト型トイレは、し尿を完全に取り除くことができるためTN、TPの削減効果は非常に高い。また、水を使用しないため、水消費量を削減することができる。

4-2 実証実験の成果

国内実証実験の知見は以下のように整理される^{10), 11)}：

- ① 日常生活に使用しても、十分に機能を発揮する
- ② しかし、トイレにおけるエネルギー消費が多い
- ③ トイレへの落下等の安全性対策が必要であることが認識された。
- ④ また、気候により、エネルギー効率が異なることも確認された。

また、海外実証実験からは次の知見を得た¹²⁾：

- ⑤ おが屑以外の担体トウモロコシ残渣、南京では大豆残渣も利用可能
- ⑥ コストを下げる必要（初期の設備、維持管理）
- ⑦ 電力を使用しないシステムが求められる
- ⑧ コンポストは肥料として有効利用できる

以下にこれらの概要を記す。

- (1) システムは日常生活に使用しても、十分に機能を発揮する

図-4のような実証実験施設を秩父市山田橋本光夫氏宅に設置し、平成17年4月より総合的にデータ取得を行った。分離・分散型処理システム導入に関する仕組み作りでは、イノベータという役割を定義し、イノベータを中心とした自治体・住民・研究者の役割・導入への実施を検討した。

施設特性の総合的把握ではコンポスト型トイレについて、エネルギー・有機物・おが屑性状の把握、病原性微生物の把握とリスク評価、雑排水処理施設の運転・データ取得、インターネットを利用したセンシング+情報管理を実施した。使用者・自治体評価に関しては、イノベータを経由した使用者・住民との関係構築や地域システムの全体像の構築を行った。

**Pilot plant in Chichibu
Composting Toilet**



- Energy balance
- Material balance
 - H₂O (Drying rate)
 - C (CO₂), N(NH₃), salts (P, NaCl)
- Sawdust characteristics
 - Moisture content
 - Physical parameters

These pictures are prepared by Itoh

**Pilot plant in Chichibu
Slanted soil treatment system**



These pictures are prepared by Itayama

図-4 実証実験施設

約2年半の期間、実証実験施設は所定の機能を発揮し、トイレからのコンポストは橋本氏の畑に施用された。結果の一例として、図-5に含水率、大腸菌群数、*E. Coli* のカウント数の経過を示す。また、図-6には傾斜土槽法によるBOD除去の状況を示す。

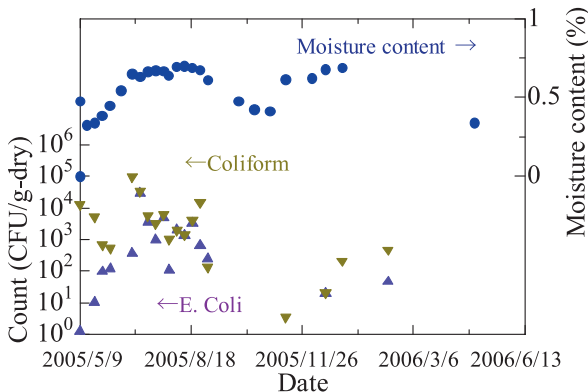


図-5 コンポストの含水率、大腸菌群数、*E. Coli*

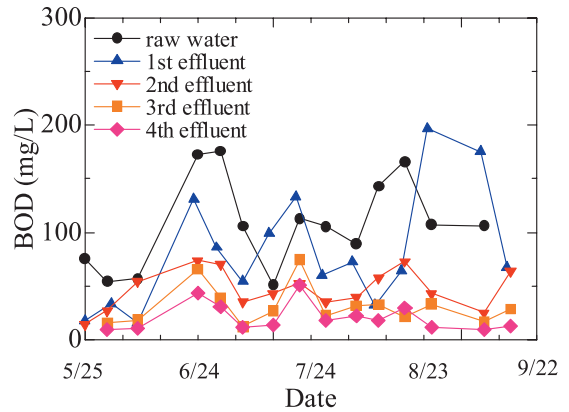


図-6 傾斜土槽法によるBOD除去

(2) コンポスト型トイレにおけるエネルギー消費

実証実験では、エネルギーのバランスを実測し、コンポスト型トイレのエネルギー構造の把握を試みた。図-7にエネルギー消費量の経日変化を示す。電気エネルギーの消費量は月90-270kWhであり、大きな値であった。また、消費エネルギーの90%以上はヒータで使用されていた。次に、電力エネルギーは何に使用されているか検討した結果を図-8に示す。この結果より、投入された電気エネルギーは水分の蒸発と排気温度の上昇に用いられていることが確認された。特に、投入エネルギーのうち水分蒸発に使用されたエネルギーの割合をエネルギー効率として定義し、効率の値を計算した結果、0.6~1.0の範囲であった。換気量の変化や設定温度の変更を行っても、この効率の値やエネルギーの消費構造は大きく変化しなかったことから、尿や糞便中の水分の投入量がエネルギー消費量を定めていることが明らかとなった。

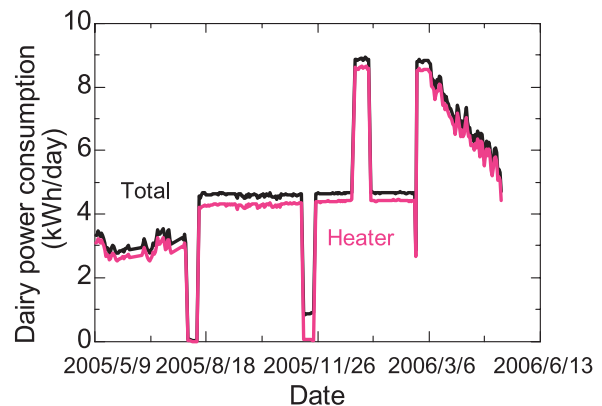


図-7 トイレのエネルギー消費

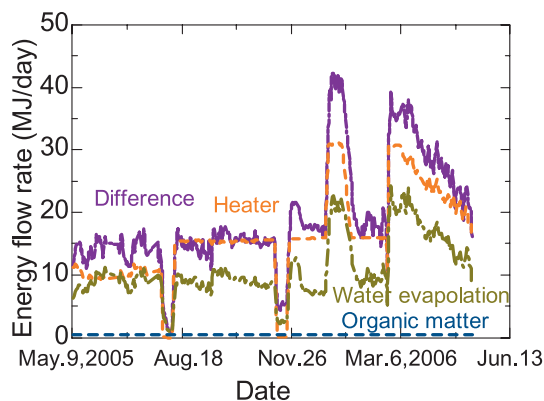


図-8 エネルギーの消費構造

(3) トイレへの落下等の安全性対策

トイレに幼児が一人で入り、便器開口部から転落し、気づく人がいないまま放置され、攪拌装置の運転に巻き込まれる事例は、非常に希なものと考えられるが、一旦起きてしまうと重大な事故となり、コンポスト型トイレの普及に大きく影響を与えることとなる。公営住宅の施設基準によると幼児の転落を防ぐため、階段等の手すりの隙間の幅は11cm以下とすることとなっているが、現在市販されているコンポスト型トイレは11cm以上の開口部を有していた。そこで、開口部そのものは11cm以上あっても、落下防止のバーを開口部に取り付けることで、11cm以下の開口部に分割する装置を開発した(図-9)。

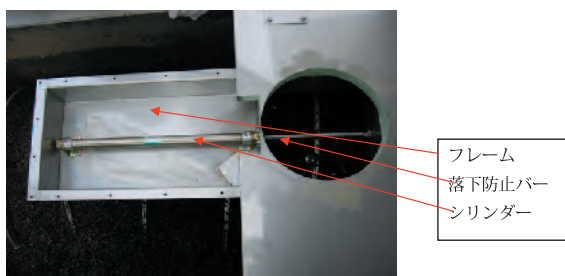


図-9 幼児落下防止装置 (丸い孔が便器の穴、フレームはトイレの床下に収納)

(4) 気候条件とコンポストトイレのエネルギー効率

水の蒸発に使用したエネルギー量を投入エネルギー量で除したものをエネルギー効率と定義した。また、トイレへ供給する空気中水分の蒸気圧とその空気の温度における飽和蒸気圧との差を乾燥能と定義して、エネルギー効率と乾燥能の関係を実測結果を用いて整理した。その結果、図-10中のプロットのような結果を得た。すなわち、乾燥

能が高いほどコンポストトイレのエネルギー効率が高くなるという結果であった。このグラフに世界各地の気候条件により定まる空気の性質から乾燥能の範囲を図示すると図-10のようになる。沖縄、ジャカルタより札幌の方が効率が良いとの結果であり、これは秩父、名護、札幌における実測結果との関係と一致していた。コンポスト型トイレは気候帯BW、BSのような乾燥域で効率が良くなることが予想される。

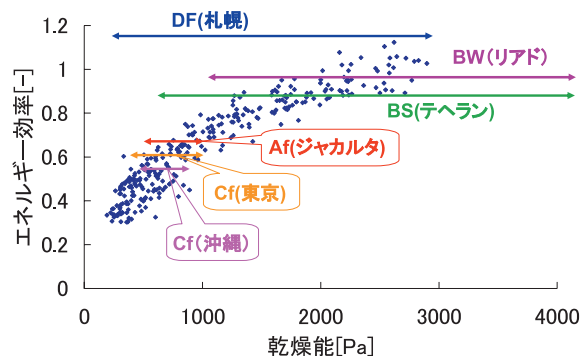


図-10 乾燥能とエネルギー効率の関係

(5) おが屑以外の担体トウモロコシ残渣、南京では大豆残渣も利用可能

おが屑が手に入りにくい地域(今回の実証では長春と南京)におけるコンポスト型トイレの使用を想定し、オガクズに代わるマトリクスとして使用可能な材料を挙げ、その材料をマトリクスとして使用して運転を試みた。代替マトリクスとして使用したのは長春ではトウモロコシ残渣、南京では大豆残渣で、いずれもオガクズと1:1で混合して用いた。その結果、オガクズのみを使用した場合と同程度の効果があることがわかった。

(6) コストを下げる必要(初期の設備、維持管理)

コンポスト型トイレを市民に紹介し(promotion video, 現地の公園等への設置)、インタビューおよびアンケートによる調査を行った。

4箇所におけるアンケートで共通して得られた傾向として、理論立てて説明すればコンポストトイレの環境負荷低減効果を理解してもらうことはできた。しかし、実際に自宅のトイレとして導入したいかという質問に対しては都市部においては水洗のほうがよいという回答が多く、農村部でも現在のコンポストトイレの価格では購入不可能であるという回答が多く見られた。

インドネシアでは寄宿型のイスラム教の宗教学校にコンポスト型トイレを設置して使用者へのア

ンケートを行った。イスラム教特有の汚物への嫌悪感から不満が多く出ると予測したが、使用上の不快感を訴えるような回答は日本や中国のそれと比べてもそれほど多くなく、将来的な使用に対して本体価格さえ適正であれば十分に許容するという回答も得られた。

また、中国において実際に購入可能な価格について質問したところ日本円にして75,000円前後という回答が多かった。これは日本製コンポストトイレの1/20程度の価格である。

(7) 電力を使用しないシステムが求められる

糞便と尿を同時に処理するコンポスト型トイレは、尿の水分を蒸発させるため電力消費量が多い(秩父の実証では90-270kWh)。海外実証実験を実施した4都市における家庭での平均的電力消費量を地域での供給電力を世帯数で割ると、2.5kWh/日(長春)、5.0kWh/日(西安市街)、0.8kWh/日(西安農村部)、0.8kWh/日(南京; 宣興市)、3.5kWh/日(バンドン)となっており、トイレの電力消費は家計に対して大きな負担になる。

特に本研究で普及推進地域としているのは農村部とスラムで共にその住民の所得は平均値より低いほうに属するため電気使用料増の重みはより一層重く感じられることとなる。例えばバンドンのスラムで行った生活実態調査によれば、平均的な世帯の一人当たり月収は約2000円で、水代、電気代、ゴミ収集費がそれぞれ1~6%、4~7%、0.1~0.7%を占め、現状においても電気は非常に高価なサービスとなっている。これにさらにコンポスト型トイレが導入された場合、電気使用料は一人当たり100円(収入の5%)増を生み、家計を圧迫することは確実である。

(8) コンポストは肥料として有効利用できる

長春・東北師範大学とその周辺の農家においてトウモロコシの生育試験を行った。試験は3区画用意し、無施肥、トイレから出たコンポストを施肥、化学肥料を施肥の3条件で施肥状態を変え、他の条件はすべて一緒に152日間生育した。その結果、株の大きさ、光合成速度、蒸散率、収穫後の実の重量と数など、すべてにおいてコンポストがもっとも優秀な成績を残した。また、同様に施肥条件を変えてハウレンソウとアブラナの生育実験も行った。これらについてもコンポストを施肥した場合がもっとも成績が良かった。

4-3 実証実験結果を受けての要素研究の成果

コンポスト型トイレでは、使用されるエネルギーのうち、投入されたし尿中の水分の蒸発に大部分のエネルギーが使用されていることが、実測より明らかとなった。すなわち、コンポストトイレに投入された水分に相当するエネルギーの投入が最低限必要である。このため、現在電気エネルギーの形態で投入しているエネルギー量を削減する方策として、

- a) 尿と糞便を分離し、糞便のみをコンポスト化することにより、投入する水分量を削減する。
- b) 有機性廃棄物を同時に投入し、化学物質の形でエネルギーを投入する。

を考えた。その結果、次のような成果を得た：

- ① 糞便のみをコンポスト化するトイレの設計方法を確立した。
- ② 糞便と尿を同時に処理する場合には、米ぬかのような有機性廃棄物をエネルギー源として利用できる。
- ③ 分離した尿の濃縮方法、尿中医薬品の処理法を開発した。

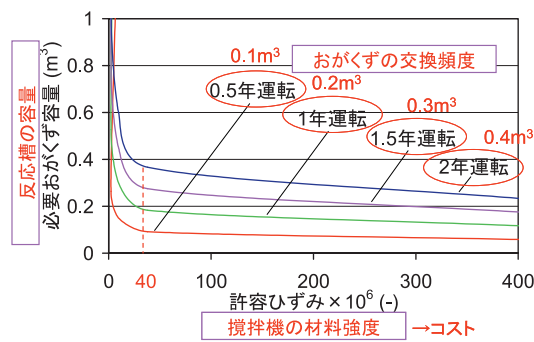
以下に、これらの概要を示す。

(1) 糞便のみをコンポスト化するトイレの設計方法¹³⁾

糞便のみをコンポスト化するトイレでは、尿により供給される水分が無いため、水分蒸発が設計要因とはならない。そこで、設計要因であるコンポスト反応槽の容量とおが屑の交換頻度、すなわち、おが屑あたりどれだけの糞便を処理量することが可能であるかを、おが屑の物理的特性：(a)おが屑の粒径分布形状の変化、(b)保水率、(c)乾燥特性、(d)おが屑の攪拌に関連するおが屑同士の付着力、ならびに、重金属等の蓄積に伴うおが屑の化学的特性を検討した。

その結果、(1)コンポスト化過程において最も変化しやすいおがくず担体の物理特性は付着応力であること、(2)付着応力の増加はT/S比(おが屑あたりの処理糞便量)に依存し、このT/S比が1.5~2付近で付着力が顕著に増加すること、(3)また、この時点で担体の集塊の形成、攪拌時のきしみが確認されること、が判明した。この知見をもとに、図-11に示すように、糞便のみを処理するコンポスト型トイレの装置の材料強度(図中では許容ひずみ)、おがくずの交換頻度、反応槽

の容量のおおよその関係を推定することができた。

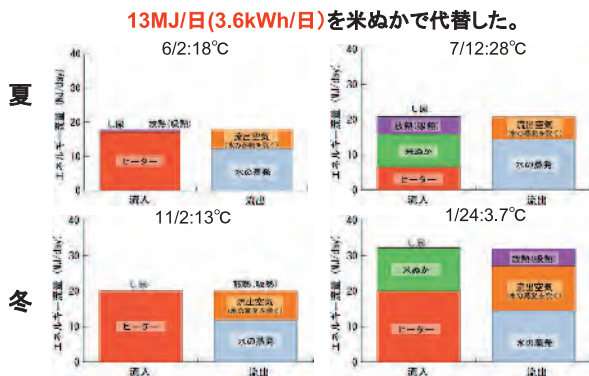


図一11 必要反応槽容量

(1) 糞便と尿を同時に処理する場合のエネルギー源としての有機性廃棄物

次に、有機性廃棄物をエネルギー源とする方法の有用性を検討した。廃有機物の低位発熱量、分解性、生物反応時の発熱量を測定し、米ぬかを実験対象とすることとした。そして、北海道大学内に設置、運転されているコンポスト型トイレに米ぬかを連続的に投入し、電気エネルギーの削減量を測定した。その結果、(1)有機性廃棄物には米ぬかのような含水率の低いものが好ましい、(2)米ぬかを投入した場合、反応槽の大きさによらず約40%が生物分解により二酸化炭素まで酸化されることが明らかとなった。また、エネルギーの消費構造を米ぬかをを用いない場合（図-12の各季節の左側）と米ぬかをを用いる場合（図の右側）を比較した。その結果、(3)米ぬかを毎日900g投入することにより13MJ/日のエネルギーを供給することが可能である（図の右側の米ぬかの部分）ことが明らかとなった。

エネルギー構造



図一12 コンポストトイレのエネルギー消費構造と米ぬかによりエネルギー供給

(2) 尿の濃縮方法、尿中医薬品の処理法¹⁴⁾

糞便と尿を分離して処理する場合、尿の貯蔵や尿中医薬品のような汚染物質の処理が必要となる。(2-1) 尿の貯蔵過程における特性変化

尿の性状は健康状態、時間帯、個人間における差が比較的大きいことが指摘されていた。尿貯蔵プロセスを議論するためには新鮮尿の一般的な性状が求められることから、不特定多数(189名)から短時間の間に採取した新鮮尿をして一般的な尿の性状を約60の項目によって示した。

貯蔵過程における変質については、(1)アンモニア生成速度(アンモニア生成ポテンシャル)は、貯蔵の過程において増加、減少、定常状態の三つの段階が存在する、(2)酸の添加により尿素加水分解(アンモニアの生成)を阻害できる、(3)新鮮尿中有機物はその約80%が100Da以下の有機物へ分解される、(4)一方、0.45 μm以上の有機物も約60%残存すること、が示された。

(2-2) 電気透析処理による尿の濃縮

尿を回収し、肥料化することが考えられる。この場合、回収コスト、頻度が問題となり、できるだけ体積を減少させることが望まれる。そこで、エネルギー消費の少ない尿の濃縮法として、イオンを移動させて回収する電気透析法の適用の可能性を実験室スケールで検討した。その結果、(1)最大消費電力は0.1W、必要電圧は3.4Vの条件で、4Lの尿を24時間で10倍に濃縮するために必要な膜面積は400cm²と少ないという結果を得、電気透析により尿を濃縮する可能性が確認された。

(2-3) 電解酸化法による尿中医薬品の処理

尿中の女性ホルモン及び抗生物質に対する電解酸化処理の可能性並びに処理性能について実験的検討を行った。本研究では、17βエストラジオール(E2)とテトラサイクリン(TC)を対象とした。

Pt電極とグラッシーカーボン電極を用いて人工尿および生尿の回分処理実験並びに連続処理実験を行った。その結果、電解処理により、尿中のTC及びE2を安定して除去することが可能であり、電解エネルギーは供試尿に対して約1~50Wh/m³であった。また、Pt電極とグラッシーカーボン電極の電解性能を比較したところ、両者の性能はほぼ等しかった。

尿に対する微量有害物質の処理技術は、膜処理や沈殿処理、オゾン処理等の酸化処理等が検討さ

れている。分離処理における処理中のエネルギー消費量は、電気透析で約30kWh/m³、ナノろ過で約6kWh/m³程度である。本電解酸化におけるエネルギー消費量は、これらに比べて数桁程度以上小さかった。これは電極表面で直接電解反応が進行すること、尿中の主要成分である尿素には無関係にTC、E2、および尿酸が選択的に処理されることによると考えられた。

5. 引用文献

- 1) Naoyuki Funamizu: Bio-toilet: A key technology for sustainable sanitation. Water Supply, Sanitation and Health: Public Health Aspects, Commission on Sustainable Development, 12th Session, UN Department of Economic and Social Affairs, New York, Tuesday 27 April 2004
- 2) Naoyuki Funamizu: Development of sustainable sanitation system and its implementation to Asian countries - an interdisciplinary research project, Keynote Lecture, IWA Conference Xi'an 2005, Future of Urban Wastewater Systems - Decentralization and Reuse, May 18-20, 2005, Xi'an, China
- 3) Naoyuki Funamizu: Developing Sustainable Sanitation System based on the concept: "don't collect" and "don't mix" wastewater, Keynote lecture at East South Asian Water Forum on September 1st, 2005
- 4) 6. 主要成果論文 9, 12, 14, 22, 23, 25, 26, 36, 44, 45, 50, 52, 55, 59, 61, 62, 72, 73, 74, 78
- 5) 6. 主要論文 4, 5, 6, 8, 11, 13, 15, 17, 24, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 40, 43, 48, 51, 53, 57, 58
- 6) 6. 主要論文 10, 41, 42
- 7) 6. 主要論文 6, 35, 54, 67, 69
- 8) 6. 主要論文 20, 34, 60, 63
- 9) Tsuyako FUJII, Masahiro TAKAHASHI, Koh-ichi FUJITA: Study on the effects of Bio-toilet on water environment in Kasumigaura Basin, IWA International Conference 2005 Xi'an 2005.5. 18 ~ 19
- 10) Ryusei Itoh, Mii Fukuda, Naoyuki Funamizu, Tomoaki Itayama, Masato Kiji, Mitsumasa

Yokota: A Pilot study of the onsite wastewater differentiable treatment system in Chichibu city, Japan, Proc. Of the 9th International Conference - ECOSAN, pp.98-105 (2005)

- 11) Ryusei Itoh, Naoyuki Funamizu, Mitsumasa Yokota: Energy analysis of composting toilet from full scale demonstration project on onsite differentiable treatment system for annual operation. Full paper in CD-ROM, at 4th International Symposium on Sustainable Sanitation, 2006
- 12) 6. 主要論文 1, 7
- 13) Yusuke Ino, Ryusei Itoh, Naoyuki Funamizu: Study of physical characterization of sawdust matrix for bio-toilet system, Full paper in CD-ROM, at 4th International Symposium on Sustainable Sanitation, 2006
- 14) 6. 主要論文 2, 3

6. 主要な成果報告等

- (1) 論文 (国内誌 22件, 海外誌 56件)
 - 1) 牛島健, 入江光輝, Neni Sintawardani, Jovita Turiastuti, 石川忠晴: バンドン市のスラム地区における尿尿コンポスト収集輸送システムの検討, 環境工学論文集, vol. 44 (印刷中)
 - 2) 小野大樹, 林雅樹, 榊原豊: 尿中の微量有害物質の電気化学的除去に関する研究, 環境工学論文集, vol. 44 (印刷中)
 - 3) 柏村斉, 榊原豊: 低濃度内分泌攪乱物質の電気化学的連続処理に関する基礎的研究, 環境工学論文集, vol. 44 (印刷中)
 - 4) 小野田優, 伊藤竜生, 佐藤修之, 伊藤光明, 船水尚行: LC/MS/MSによるコンポスト試料中医薬品の分析法の検討, 環境工学論文集, vol.44 (印刷中)
 - 5) 伊藤竜生, 船水尚行: おが屑担体を用いたし尿のコンポスト化過程におけるエストロゲン類の挙動, 環境工学論文集, vol.44 (印刷中)
 - 6) 柿本貴志, 船水尚行: コンポスト型トイレにおける酸性医薬品, 塩基性医薬品の挙動, 用水と廃水, 用水と廃水, vol.48, No.12, pp.65-70
 - 7) 牛島健, 入江光輝, Neni SINTAWARDANI, Jovita TURIASUTUTI, 石川忠晴: バンドン市のスラム地区における生活雑排水の現地

- 調査, 水工学論文集, vol.50, pp.1075-1080 (2006)
- 8) 柿本貴志, 船水尚行: コンポスト型トイレにおける抗生物質の分解に及ぼすリン酸, アンモニア, pH の影響, 環境工学研究論文集, vol.43, pp. 429-436 (2006)
 - 9) 伊藤竜生, 小川真吾, 船水尚行: おがくずマトリックスの乾式コンポスト型トイレにおける乾燥特性, 環境工学研究論文集, vol.43, pp. 437-442 (2006)
 - 10) 寺澤実, 橋井敏弘: おがくずを用いた乾式し尿処理装置の開発, 環境研究, Vol.39, pp.13-19 (2005)
 - 11) 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コンポスト化反応に与える影響, 環境工学論文集, 第 42 卷, pp.315-323 (2005)
 - 12) 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 卷, pp.325-333 (2005)
 - 13) 成田裕樹, 船水尚行, 高桑哲男, 国本学: 活性汚泥法の自己酸化過程における毒性物質の生成とその由来に関する研究, 水環境学会誌, Vol.28, No.2, pp93-99 (2005)
 - 14) 堀田真也, 寺澤実, 船水尚行: コンポスト型トイレにおけるアンモニアガスの揮発特性に関する基本的研究, 環境工学研究論文集, Vol.41, pp69-78 (2004)
 - 15) 今井陽介, 船水尚行, 成田裕樹, 柿本貴志, 国本学: おが屑をマトリックスとした非水洗ドライトイレコンポストへのバイオアッセイの適用, 用水と廃水, Vol.46, No12, pp.1044-1049 (2004)
 - 16) T. Saito, T. Itayama, N.Sugiura, Y. Inamori, M. Matsumura, Characteristics of Biodegradation of Cyanobacterial Toxin Microcystin LR in Environmental Water under the River-Die-Away Test. *Jpn. J Wat. Tret, Biol.* Vol.39, pp. 1-8 (2003)
 - 17) 中川直子, 山越一乃, 大江華, 大瀧雅寛: コンポスト型トイレにおける病原微生物の二次感染リスク評価, 土木学会論文集, No.748/VII-39, pp.91-98 (2003)
 - 18) 吉川勝秀: 技術リポート 自然共生型流域圏・都市再生のための基盤 GIS 情報「コモニデータベース」の作成について, 土木学会誌, Vol.88.4, pp40-42 (2003)
 - 19) 吉川勝秀: 「自然共生型流域圏・都市の再生」, 土木技術資料, Vol.45, No.5 pp.14-23 (2003)
 - 20) 辻倉祐喜, 田中伸治: 湖沼流域管理のための総合的な水循環・物質流動モデルの構築, 土木学会水工論文集, 第 47 卷, pp.217-222 (2003)
 - 21) 成田裕樹, 船水尚行, 高桑哲男: 汚泥処理返流水の栄養塩除去への効果的な利用方策に関する研究, 環境工学研究論文集, Vol.39, pp.267-278 (2002)
 - 22) Lopez Zavala Miguel Angel, Naoyuk Funamizu, Tetsuo Takakuwa: Characterization of feces for describing the aerobic biodegradation of feces, *J. Environ. Syst. And Eng. JSCE*, No.720/VII-25, pp.99-105 (2002)
 - 23) S.Hotta, N.Funamizu: Evolution of ammonification potential in storage process of urine with fecal contamination, *Bioresource Technology* (in press)
 - 24) Takashi Kakimoto, Naoyuki Funamizu: Antibiotic effect of amoxicillin on the feces composting process and reactivation of bacteria by intermittent feeding of feces, *Bioresource Technology* (in press)
 - 25) Shinya Hotta and Naoyuki Funamizu: Biodegradability of fecal nitrogen in composting process, *Bioresource Technology* (in press)
 - 26) S.Hotta, T.Noguchi, N.Funamizu: Experimental study on nitrogen components during composting process of feces, *Water Science and Technology*, vol.55, No.7, pp181-186 (2007)
 - 27) Takashi Kakimoto and Naoyuki Funamizu: Factors affecting the degradation of amoxicillin in composting toilet, *Chemosphere*, vol.66, pp.2219-2224 (2007)
 - 28) Hiroki Narita, Terence P.N. Talorete, Junkyu Han, Naoyuki Funamizu and Hiroko Isoda: Human intestinal cells incubated with activated sludge and lipopolysaccharide

- express Hsp90b, *Environmental Sciences*, vol.14, No.1, pp.35-39 (2007)
- 29) F. Ben Fredj, T. P.N. Talorete, Y. Abe, M. Ozaki and H. Isoda: Evaluation of a domestic wastewater treatment system for arid and semiarid lands by in vitro bioassays. *Journal of Arid Land Studies* 16-3:149-156 (2006)
 - 30) Takuya Shibata, Masuo Ozaki, Hideaki Higashino, Mitchell Jones, Yukuo Abe and Hiroko Isoda: Adjustment of the Water Environment by Wastewater Treatment, *Journal of Arid Land Studies*, 15-4, 355-358 (2006)
 - 31) K. P. Oliveira-Esquerre, H. Narita, N. Yamato, N. Funamizu and Y. Watanabe: INCORPORATION OF THE CONCEPT OF MICROBIAL PRODUCT FORMATION INTO ASM3 AND THE MODELING OF A MEMBRANE BIOREACTOR FOR WASTEWATER TREATMENT, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol.23, No.4, pp.461-471 (2006)
 - 32) K.Kakimoto, Y.Imai, N.Funamizu, T.Takakuwa and M.Kunimoto: Toxicity assessment of the extract of compost as a final product from Bio-Toilet, *Water Science and Technology*, vol.54, No.11-12, pp.421-428 (2006)
 - 33) H. Narita, J. Abe, N. Funamizu, T. Takakuwa and M. Kunimoto: Toxicity assessment of constituents in wastewater treatment plant using cultured human cell lines, *Environmental Monitoring and Assessment*, DOI: 10.1007/s10661-006-9428-x
 - 34) Toshiya Aramaki, Mona Galal and Keisuke Hanaki. Estimation of reduced and increasing health risks by installation of urban wastewater systems, *Water Science and Technology*, Vol.53, No.9, 247-252 (2006)
 - 35) Tomoaki Itayama, Masato Kiji, Aya Suetsugu, Nobuyuki Tanaka, Takeshi Saito, Norio Iwami, Motoyuki Mizuochi and Yuhei Inamori: On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water, *Water Science & Technology*, Vol.53, No.9, pp.193-201 (2006)
 - 36) M.A. Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu: Design and Operation of the Bio-Toilet System, *Water Science & Technology*, Vol.53, No.9, pp.55-61 (2006)
 - 37) X.C. Wang and P.K. Jin. Water shortage and needs for wastewater re-use in the north China. *Water Science & Technology*, Vol.53, No.9, pp35-44 (2006)
 - 38) 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* Vol. 18, No.6, pp. 1088-1093, (2006)
 - 39) N. Nakagawa, M. Otaki: Application of Microbial Risk Assessment on a Residentially Operated Bio-toilet, *J.of Water and Health*, Vol.4, pp.479-486 (2006)
 - 40) H. Isoda, T.P.N. Talorete, J. Han, K. Nakamura: Expressions of Galectin-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)
 - 41) M. Terazawa: Development of Bio-toilet for Cattle Manure — A New Cattle Manure Decomposer-Extinguisher Using Sawdust as an Artificial Soil Matrix — , *Proceedings of Biomass-Asia*, in Tokyo, pp.88-93 (2006),
 - 42) S. Horisawa, Y. Tamai, M. Terazawa: Mushroom Cultivation Using Compost Produced in the Garbage Automatic Decomposer-extinguisher (GADE), *Eurasian J. of For. Res.*, 9(2), 61-67 (2006),
 - 43) 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)
 - 44) 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)
- 45) 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)
 - 46) H.Narita, N.Funamizu, T.Takakuwa: Inert Soluble Organic Matter in Return Flow from Sludge Treatment Process and Its Control by Coagulation, *Environmental Engineering Science*, Vol.22. No.5, pp.689-698 (2005)
 - 47) 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)
 - 48) Hiroko Isoda, Terence P.N. Talorete, Han Junkyu, Shuichi Oka, Yukuo Abe, Yuhei Inamori: Effects of Organophosphorous Pesticides Used in China on a Variety of Mammalian Cells, *Environmental Sciences*, Vol.12 No.1 (2005)
 - 49) N. Funamizu, T. Takakuwa: Mathematical Model for Describing Reactions of Residual Chlorine with Organic Matter in Reclaimed Wastewater, *Water Science and Technology*, Vol.50, No.2, 195-201 (2004)
 - 50) M. A. Lopez Zavala, N. Funamizu, T. Takakuwa: Biological activity in the composting reactor of the bio-toilet system, *Bioresource Technology*, Vol.96/7, pp805-812 (2004)
 - 51) H. Narita, N. Funamizu, T. Takakuwa. M. Kunimoto: Role of Hydrophilic Organic Matter on Developing Toxicity in Decay Process of Activated Sludge, Full paper in CD-ROM, 4th World Water Congress, Marrakech, Morocco (2004)
 - 52) M.A. Lopez, N. Funamizu, T. Takakuwa: Nitrogen Transformations in the Composting Reactor of the Bio-Toilet System, Full paper in CD-ROM, 4th World Water Congress, Marrakech, Morocco (2004)
 - 53) T. Kakimoto, Y. Imai, N. Funamizu, T. Takakuwa, M. Kunimoto: Toxicity Assessment of the Extract of Compost as a Final Product from Bio-Toilet, Full paper in CD-ROM, 4th World Water Congress, Marrakech, Morocco (2004)
 - 54) W. Ruangyuttikarn, P.R. Hawkins, Y. Peerapornpisal, T. Itayama: Comparison of Method for Detecting Microcystin and Microcystin -Producing Cyanobacteria, *Chiang Mai University Journal*, Vol.3, No.3, pp.217-223 (2004)
 - 55) M. A. Lopez Zavala, M. Terazawa, N. Funamizu, T. Takakuwa: Temperature effect on aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix, *Water Research*, Vol.38, NO.9, pp.2406-2416 (2004)
 - 56) M.A. Lopez Zavara, N. Funamizu, T. Takakuwa: Modeling of Aerobic Biodegradation of Feces Using Sawdust as a Matrix, *Water Research*, Vol.38, No.5, pp. 1327-1339 (2004)
 - 57) Mun'im A., Isoda H., Seki M., Negishi O. and Ozawa T.: Estrogenic and acetylcholinesterase -enhancement activity of a new isoflavone, 7, 2',4'-trihydroxy- isoflavone-4'- O- β -D -glucopyranoside from *Crotalaria sessiliflora*, *Cytotechnology*, Vol.3, No.1-3, pp.127-134 (2004)
 - 58) Cui Y., Abe Y., Kojima A., Yasuda H. and Isoda H.: Evaluation of vertical subsurface drip irrigation in sandy soil on soil moisture distribution and evaporation under arid condition, *J. Arid Land Studies*, Vol.13, No.3, pp.153-161 (2004)
 - 59) Miguel Angel Lopez Zavala, Naoyuki Funzmizu, Tetsuo Takakuwa: Modeling of aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix, *Water Research*, Vol.38, No.5, pp.1327-1339 (2004)
 - 60) Mara Regina Mendes, Toshiya Aramaki, Keisuke Hnaki: Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling Sao Paulo City as determined by LCA, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.41, Issue1, pp47-63 (2004)
 - 61) M. A. Lopez Zavala, M. Terazawa, N.

- Funamizu, T. Takakuwa: Achievements on the Onsite Wastewater Differentiable Treatment System (OWDTS). Full paper in CD-ROM, *Proceedings of IWA 6th Specialist conference on small water and wastewater systems and 1st international conference on onsite wastewater treatment and recycling*, Australia. (2004)
- 62) Miguel Angel Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu, Tetsuo Takakuwa: Moisture content effect on aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix. Full paper in CD-ROM, *Asian Waterqual 2003*, Bangkok, Thailand. (2003)
- 63) Mara Regina Mendes, Toshiya Aramaki, Keisuke Hnaki. Assessment of the environmental impact of management measures for the biodegradable fraction of municipal solid waste in Sao Paulo City, *Waste Management*, Vol.23, No.5, pp.403-409 (2003)
- 64) T.Saito, N.Sugiura, T. Itayama, Y. Inamori, M. Matsumura: Degradation Characteristics of Microcystins by Isolated Bacteria from Lake Kasumigaura, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUQ*, Vol.52, No.1, pp.13-18 (2003)
- 65) T.Saito, N. Sugiura, T. Itayama, Y. Inamori, M.Matsumura: Biodegradation of Microcystins and Miceocystins by Indigenous Nanoflagellates on Biofilm in a practical Treatment Facility, *Environmental Technology*, Vol.24, pp.143-151 (2003)
- 66) T. Saito, K. Okano, P-D Park, B.P. Burns, B.A. Neilan, T. Itayama, Y. Inamori, N.Sugiura, Detection and Sequencing of microcystin LR-degrading Gene, mlrA, from new bacteria isolated from Japanese lakes. *FEMS Microbiol. Lett.* 229, pp.271-276 (2003)
- 67) T. Saito, T. Itayama, N.Sugiura, Y. Inamori, M. Matsumura: Characteristics of Biodegradation of Cyanobacterial Toxin Microcystin LR in Environmental Water under the River-Die-Away Test. *Jpn. J Wat. Tret, Biol.* Vol.39, pp. 1-8 (2003)
- 68) Sugiura N., Isoda H. and Maekawa T.: Degradation Potential of Musty Odor in Drinking Water Source by Biofilm Methods, *J. Water Supply*, Vol. 52, No.3, pp.181-187 (2003)
- 69) Isoda H., Oka S., Kido H., Yokota S., Kitahara M. and Abe Y.: Anti-allergy Effect of Snow Lotus *Saussurea involucrate* from Tian Shan Mountain in China, *J. Arid Land Studies*, Voll3,, No.2, pp.139-146 (2003)
- 70) Talorete T., Isoda H., Nakamura K.: Tow-dimensional Electrophoresis of Proteins from Human Intestinal Caco-2 Cells Exposed to the Known Xenoestrogen nonylphenol, *Animal Cell Technology*, Vol.13, pp.375-379 (2003)
- 71) Naoyuki Funamizu, Tomonari Iwamoto, and Tetsuo Takakuwa: Decline of Residual Chlorine in Artificial Stream Flow Sustained by Reclaimed Wastewater: Field Study in Sapporo, *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol.3, No3, pp.79-84 (2003)
- 72) Sonoko Nakata, M. A. Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu, M. Otaki, T. Takakuwa Temperature effect on pathogens decline in the bio-toilet system. *Proceedings of Dry Toilet 2003, 1st International Dry-Toilet Conference*, pp.131-139, Tampere, Finland. (2003)
- 73) Miguel Angel Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu, Tetsuo Takakuwa: Aerobic biodegradation of feces in the bio-toilet system. *Proceedings of Dry Toilet 2003, 1st International Dry-Toilet Conference*, pp.168-172, Tampere, Finland. (2003)
- 74) Miguel Angel Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu, Tetsuo Takakuwa: Temperature effect on aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix. *Proceedings of 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*, pp.421-424. Lubeck, Germany. (2003) .
- 75) Isoda H., Talorete T., Kimura M., Maekawa T., Inamori Y., Nakajima N., Seki H.: Phytoestrogens genistein and Daidzin

Enhance the Acetylcholinesterase Activity of the Rat pheochromocytoma Cell Line PC12 by Binding to the Estrogen Receptor, *Cytotechnology*, Vol.40, pp.117-123 (2002)

- 76) Kameyama K., Sugiura N., Isoda H., Maekawa T.: Effect of Nitrate and Phosphate Concentrations on Microcystins Production by *Microcystis Viridis* NIES 102, *Aquatic Ecosystem Health and Management*, No.5, Vol.4, pp.443-449 (2002)
- 77) Kitamoto D., Isoda H., Nakahata T.: Functions and Potential Applications of Glycolipids Biosurfactants- from Energy-saving Materials to Gene Delivery Carriers, *J.Bioschi. Bioeng.*, Vol.94, pp.187-201 (2002)
- 78) Lopez Zavala Miguel Angel, Naoyuki Funamizu and Tetsuo Takakuwa: Onsite Wastewater Differentiable Treatment system: modeling approach, *Water science and Technology*, Vol.46 , No.6-7 pp.317-324 (2002)

<その他著作物>

- 1) 船水尚行：“混ぜない”，“集めない”をコンセプトとした排水処理システム， pp.223-232, 自然と共生した流域圏・都市再生，（自然と共生した流域圏・都市再生ワークショップ実

行委員会編著），山海堂（2005年）

- 2) 船水尚行／橋本健 監訳 虫明功臣：分散型サニテーションと資源循環 概念，システムそして実践，技報堂出版（2005年）
- 3) 船水尚行：水，衛生そして健康，平成16年度北海道大学公開講座「健康を支える科学と技術」， pp15-19（2004）
- 4) Y. Watanabe, N. Funamizu: Water Resources and Water Supply in the 21st century, Hokkaido University Press (2003)
- 5) 船水尚行：第9章都市水施設系の過去・現在・未来，循環型社会構築への戦略（田中勝，田中信壽編著）， pp.234-265，中央法規（2002）

他 27 件

- (2) 口頭発表（招待講演；海外 19 件，国内 260 件，海外 215 件，中国，インドネシア 6 件）

(3) 特許出願（国内 3 件）

(4) 受賞等

- 船水尚行，寺沢実，橋井敏弘，他 7 名：「下水道を必要としないバイオトイレ「バイオリックス」の開発，第 2 回ものづくり日本大賞（優秀賞）（2007）
- 北海道大学，正和電工(株)：「おがくずを用いた乾式し尿処理装置の開発」，平成 17 年度環境賞（環境大臣賞・優秀賞）（2005）

新聞報道等 15 件