

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国研究交流）

1. 研究課題名：「持続可能なサニテーションシステムによる環境リスク、健康リスク管理に関する研究」
2. 研究期間：平成21年12月～平成25年3月
3. 支援額： 総額 22,496,500 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	船水 尚行	北海道大学大学院工学研究 院	教授
研究者	高橋 正宏	北海道大学大学院工学研究 院	教授
研究者	木村 克輝	北海道大学大学院工学研究 院	准教授
研究者	岡部 聡	北海道大学大学院工学研究 院	教授
研究者	佐野 大輔	北海道大学大学院工学研究 院	准教授
研究者	石井 聡	北海道大学大学院工学研究 院	助教
参加研究者 のべ 27名			

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	王 曉昌	西安建築科技大学環境与市 政工程学院	教授
研究者	任 勇翔	西安建築科技大学環境与市 政工程学院	教授
研究者	陳 榮	西安建築科技大学環境与市 政工程学院	講師
研究者	劉永軍	西安建築科技大学環境与市 政工程学院	准教授
研究者	張崇森	西安建築科技大学環境与市 政工程学院	講師
研究者	劉言正	西安建築科技大学環境与市 政工程学院	T/R 助手
参加研究者 のべ 7名			

5. 研究・交流の目的

本研究は「混ぜない」、「集めない」をキーワードとし、廃棄物の最小化と資源回収・再利用の最大化を目指す持続可能なサニテーションシステムを確立することを目的とする。すなわち、発生源において（「集めない」）、糞便、尿、雑排水を「混ぜない」で、個々に処理・再生する方法が本研究における主要な対象である。

この、「混ぜない」、「集めない」システム、すなわち、分散型、かつ資源回収型のサニテーションシステムは、し尿を排水系から分離することにより、①し尿中に含まれる栄養塩の回収を効率的にする、②病原微生物の水系への拡散を防ぐ、③し尿を含まない雑排水は水の再利用が容易になり、

健康リスクを下げるができる、分散型にすることにより、④発生源における再利用が容易になり、かつ、⑤初期投資額の大きなパイプネットワークを不要とする、という特徴を有する。

本研究では、この「混ぜない」、「集めない」のコンセプトを日本側、中国側で共有し、

- 1) 持続可能なサニテーションシステムの最適デザインに関する理論的フレームワーク構築
- 2) さまざまな条件(地域、気候、都市・農村、宗教、文化...)ごとに適合する持続可能なサニテーションシステム構築に必要な要素技術開発
- 3) 持続可能なサニテーションシステムのケーススタディ・実証実験

を行うことを目的とする。

人材交流においては、若い世代の研究者・学生に国際的な共同研究の経験を積ませる機会を与えること主な目的とする。

以上のことを実施するために、研究活動、相互訪問、セミナー・シンポジウム等の開催を行う。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

ここでは、以下に示す成果が目的の項に示した3つの研究項目

- 1) 持続可能なサニテーションシステムの最適デザインに関する理論的フレームワーク構築
- 2) さまざまな条件適合する持続可能なサニテーションシステム構築に必要な要素技術開発
- 3) 持続可能なサニテーションシステムのケーススタディ・実証実験

に対応して以下に示す。また、以下に示す研究成果は科学研究費基盤研究(S)、地球規模課題の環境課題の解決に資する研究(JST/JICA:アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発)の援助も一部受けている。

(1)持続可能なサニテーションシステムの最適デザインに関する理論的フレームワーク構築

- 「資源回収型排水処理システム」のコンセプトを実現するモデルを開発：資源回収型排水処理システムについて、経済力、技術レベル、利用可能インフラにあわせたモデルを途上国都市スラムモデル、途上国農村モデル、日本農村モデルとにわけて組み立てた。特に、途上国モデルについて、マテリアルフロー解析、人類学的調査を組み合わせた方法を考案し、それぞれのモデルについて必要な要素技術に加え、導入のためのビジネスモデルを構築した。

病原微生物による健康リスク管理

- 水中の手足口病ウイルスを定量及び遺伝子型同定を行う手法の開発：中国でその流行が問題視されることをうけ、水中の手足口病ウイルスを濃縮し、その遺伝子を定量する手法、及び特定遺伝子領域を増幅・解析し、遺伝子型の同定を行う手法を日本で開発した。加えて、日本では流行が無く検出が難しいこのウイルスに対して、西安において本方法を適用することができ、新たに開発した方法の有効性が実証された。
- 病原細菌(大腸菌 O157:H7、サルモネラ、カンピロバクター、リステリア、レジオネラ、赤痢菌、コレラ菌、腸炎ビブリオ)を同時一斉に検出する手法を開発：通常、リアルタイム PCR を用いて病原細菌の菌数を測定する場合、病原細菌ごとに PCR による増幅条件が異なることが普通であり、菌の種類ごとに PCR を行う必要があった。今回開発した方法では、この点を克服し、複数細菌の同時一斉検出を可能としたところに新しさがある。

微量汚染物質管理

- 排水再利用時に問題となる微量汚染物質の毒性評価法を開発：資源回収型排水処理システムの開発においては、回収資源に元の排水に含まれる、もしくは処理過程で生成する微量汚染物質の評価を行う必要がある。この微量汚染物質評価法の一つにバイオアッセイがある。日本側はヒト細胞を用い、プロテオームアッセイによりヒト細胞が生物処理水に暴露されたときに生成するたんぱく質を測定し、毒性評価のためのバイオマーカーとして Heat-shock Protein47 が有効であることを見出し、これをマーカーとして実排水、再生水に適用した。一方、中国側は藻類やバクテリアを用いたバイオアッセイ法を適用し、その相互比較を行うことで、総合的な毒性評価法の開発への道筋を得ることができたと評価している。

(2)さまざまな条件適合する持続可能なサニテーションシステム構築に必要な要素技術開発

尿の処理技術

- **自然エネルギーを用いた尿の濃縮法を開発:**
都市域(特にスラム等)において、糞便と尿の分離回収を行う場合、都市域から農村部への輸送が大きなコスト要因となることが知られている。尿の濃縮法の一つである水分蒸発法について、熱・水分移動面積を増加し、周辺空気を用いた尿の濃縮法を開発した。従来の膜分離法、熱水分蒸発法に較べて、エネルギー消費を大幅に減少させることができる画期的な方法である。
- **尿中医薬品の電解酸化法を開発:**
水の電気分解が生じない電位差において電極表面において医薬品(今回はアモキシリン)の分解が可能であることを確認し、その分解経路や抗生物活性がなくなることを確認した。これにより、簡便な方法により、少ないエネルギーで尿中医薬品を分解できることとなった。
- **尿の窒素・リン回収法を開発:**
日本側と中国側が共同して、尿中 useful 資源である窒素・リン回収法を開発を行った。中国側は土壌の吸着能力を利用した、窒素・リンの回収法を検討し次の発表を行った (Characteristics of nitrogen and phosphorus absorption by soil particles for urine disposal and fertilizer production)。日本側では尿と貝殻を用いたリン肥料回収法を開発した。すなわち、尿中に貝殻を浸漬するだけで、貝殻表面に DCPD の結晶または HAP のアモルファスを形成できることを示した。これにより、農村モデルにおいて分散型で簡便な方法による尿中リンの回収が可能となる。また、尿中窒素を用いて緩効性窒素肥料を製造する方法を開発した。

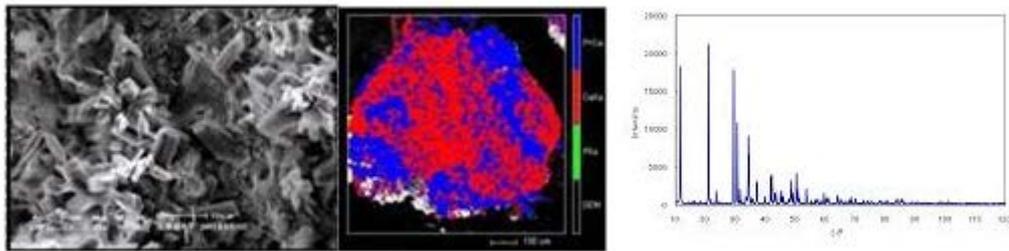


図-1 リンの回収:表面のSEM写真(結晶を確認), SEMによる元素分析, X線スペクトル

糞便コンポスト化技術(コンポストトイレ)

- **低コストコンポストトイレの開発:**
両国でコンポスト型トイレの研究を実施した。日本側では、コンポストトイレの低コスト化を推進した。その結果、次項の社会への波及効果において示すように、アフリカサヘル地域にあるブルキナファソ国におけるパイロットスタディに進展した。

排水再利用技術

- **雑排水処理を行う傾斜土層法的设计法を開発:**
土壌粒子を充填した層に雑排水を流化させるのみで、植物成長阻害作用を低減(洗剤中のLAS等の界面活性物質の除去)させることを確認し、その反応速度から必要層長の計算法(设计法)を確立した。
- **実排水を用いた膜分離活性汚泥法(MBR)による排水再利用の検討:**
日本側、中国側ともにそれぞれの国の実排水を用いて、膜分離活性汚泥法のパイロットスケール施設を運転し、膜の目詰まり(Fouling)に関する研究を実施した。

(3)持続可能なサニテーションシステムのケーススタディ・実証実験

- **実規模の排水再利用システムを西安郊外の大学キャンパスに導入:**
本プロジェクトで提案している「資源回収型排水処理システム」の一つの実現の形として、キャンパス内に飲用可能水とトイレ洗浄水の2重水供給ラインを用意し、MBRを用いた排水再

利用を中国側の努力により実現させた。加えて、この排水再利用システムには、水を用いた景観構成と環境湖の概念(池を修景と水の高度処理と貯留に用いる)も実現した。このシステムは大きなパイプネットワークに依存しない分散型のシステム可能性を大きく示したものと考えられる。

- **都市スラムにおけるサニテーションモデルの提案:**

インドネシアのバンドン市に存在するスラム[ケラチョンドン]を対象に、イスラム社会において本プロジェクトで提案している概念が適用可能性を検討した。すなわち、(1)インドネシアのイスラム教指導者に本プロジェクトのコンセプトである、「糞便・尿・雑排水の分離回収＋輸送＋農業利用＋し尿を利用した野菜の流通はイスラムの教義から問題はないか?」、「『ナジス』であるし尿はどうすれば『ハラール』になるか?」等の質問をし、本プロジェクトのコンセプトがイスラム教義の中でも問題がないことを確認した、(2)コンポスト化した糞便、尿のスラム内での収集コスト推算、都市域から農村域への輸送コスト推算、農家におけるコンポスト・し尿の利用可能性のインタビューを総合し、都市スラム用のビジネスモデルを提案した。

- **ブルキナファソにおけるパイロットスタディ(低コストコンポストトイレの開発＋雑排水処理装置の開発＋尿・コンポストの利用技術)を開始:**

ブルキナファソのジニアレにおいて、パイロットスタディを下図のようなシステムで開始した。これにより、新しいコンセプトによる仕組みの実現性が一層高まった。



図—2 途上農村モデル(左からコンセプト, 尿と雑排水システム, コンポストトイレ)

6-2 人的交流の成果

- **若手研究者育成の場:**
若手研究者と学生の育成のために「Young researchers and Students Symposium of NSFC-JST Joint research Program - Environmental and Health Risk Management by Sustainable Sanitation Approaches」(第1回 2011年3月4日西安, 第2回 2012年3月8日西安, 第3回 2013年3月7日西安)を開催した。このシンポジウムでは日本側と中国側の若手研究者・学生が研究発表・討論を英語で実施し、座長も学生・若手研究者が担当し国際会議参加のためのトレーニングの機会ともしている。このシンポジウムでは毎回平均 15 件の発表を行い、本プログラムの目的と相互の役割を確認する機会となった。特に学生レベルの研究交流は有効であった。
- 日本側若手研究者の英語プレゼンテーション力が極めて増進した: 上記の Young researchers and Students Symposium of NSFC-JST Joint research Program を開催したことにより、日本側学生のトレーニングの効果が現れ、2012年にフィンランドで開催された Dry Toilet の国際会議に 10 件の口頭発表することに繋がった。
- 日本側・中国側の交流実績として632人・日の達成(当初の目標合計360人・日): 中国側の若手研究者・学生の北海道大学への長期滞在, 若手研究者・学生のシンポジウムへの日本側若手研究者の参加により達成することができた。
- 北海道大学大学院工学研究院と西安建築科技大学の間に学術交流協定を締結した: 平成22年6月に北海道大学大学院工学研究院長が西安建築科技大学を訪問し、学術交流協定を締結した。この交流協定は、本プログラムによる研究交流が基となったものであり、長期的に

研究・ヒトの交流を進めることがシステムとして可能となった。特に学生レベルの交流協定も締結し、単位互換を含め、多様な交流が可能となっている。

- 国際会議を4回共同開催し、研究成果の世界に発信：本プログラムの実施にあたり、研究成果を広く世界に発信することも重要と考え、下記の4回の国際会議を日本側と中国側で共催した：
 - 1) 7th Interanational Symposium on Sustainable Water and Sanitation System (2010年9月21, 22日, Espaces Vocation Haussmann Saint-Lazare (パリ・フランス), ブルキナファソ, インドネシア, フランス, フィンランド, 中国, 日本の研究者から22件の発表)
 - 2) IWA International Conference Cities of the future Xi'an(2011年9月11日—15日, Renmin Square Hotels Xi'an (中国, 西安) 世界水協会と共催して, 将来の都市の水問題に関するシンポジウムを開催。世界各地から参加があり, 発表件数は150件にのぼった。会議参加者は300名)
 - 3) 8th International Conference on Water and Sustainable Sanitation (2011年10月28日 (Hokkaido University (Japan, Sapporo), 11月1日, 2日 LIPI (Indonesia, Bandung), アフリカ, インドネシア, 日本研究者によって持続可能なサニテーションに関する研究討論を実施)
 - 4) Japan and China Joint Symposium Sustainable Sanitation and Environment and Human Health Risk Management (2012年10月15日 (Hokkaido University (Japan, Sapporo), 日中の研究者による16件の発表)
- 終了後の交流計画：部局間交流協定に基づく研究交流が既に開始されている。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合：著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合：知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	Ji, Z., Wang, X., Zhang, C., Miura, T., Sano, D., Funamizu, N. and Okabe, S., Occurrence of hand-foot-and-mouth disease pathogens in domestic sewage and secondary effluent in Xi'an, China, <i>Microbes and Environments</i> , 2012, 27(3), 288-292	共著
論文	Ushijima K, Ito K, Ito R, Funamizu N: Greywater Treatment By Slanted Soil System, <i>Ecological Engineering</i> , 50:62-68,2013	
論文	Ushijima K, Irie M, Sintawardani N, Triastuti J, Ishikawa T, Funamizu N.: Sustainable design of sanitation system based on material and value flow analysis for urban slum in Indonesia, <i>Frontiers of Environmental Science and Engineering</i> , 7(1):120-126.2013	
論文	Mokhtar Guizani, Yosuke Nogoshi, Fahmi Ben Fredj, Junkyu Han, Hiroko Isoda and Naoyuki Funamizu: Heat shock protein 47 stress responses in Chinese hamster ovary cells exposed to raw and reclaimed wastewater, <i>J. Environ. Monit.</i> , 2012,14, 492 -498	
論文	Simultaneous quantification of multiple food and waterborne pathogens by use of microfluidic quantitative PCR, Ishii, S., Segawa, T., and Okabe, S., <i>Applied and Environmental Microbiology</i> , accepted	