

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2009～2013

課題番号：21226013

研究課題名(和文)「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

研究課題名(英文) Development of Resources Oriented Sanitation System Based on the Concept "Don't Mix" and "Don't Collect" Wastewater

研究代表者

船水 尚行 (FUNAMIZU, NAOYUKI)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10113622

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 84,300,000円、(間接経費) 25,290,000円

研究成果の概要(和文)：「混ぜない」, 「集めない」というコンセプトを適用した新しい資源回収型排水処理体系を提案し, 3つのモデル(水・衛生問題解決と資源回収を同時に行う途上国農村モデル, 途上国スラムモデル, 自然共生型日本里山モデル)に必要な要素技術とその評価法を開発した。開発した主要な技術は 糞便をコンポスト化するトイレ技術, 尿の濃縮技術, 尿中窒素とリンの回収技術, 回収資源の農業利用技術, 雑排水の再生利用技術, バイオアッセイによる毒性評価技術, 病原微生物不活化評価技術である。窒素, リン, 水フローの調査・解析により, プルキナファソ農村とインドネシアのスラム街での新システムの導入可能性が示された。

研究成果の概要(英文)： The new resources oriented sanitation system based on the concept "Don't mix" and "Don't collect" wastewater is proposed in this study. The newly developed element technologies for the resource oriented systems for three situations (rural area and urban slum area in developing countries and a rural area in Japan) include 1) composting type toilet; 2) urine volume reduction; 3) Nitrogen and Phosphorus recovery from urine; 4) farming technologies for wise reuse recovered urine and compost; 5) gray water reclamation; 6) bio-assay system for toxicity assessment of reclaimed water and 7) assessment method for evaluating inactivation level of pathogens in composting.

Material flow analysis on Nitrogen, Phosphorus and water has shown the feasibility of the newly developed system at the rural area in Burkina Faso and the urban slum in Indonesia.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・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

**(1)社会的背景** 開発途上国においては貧困の撲滅を目指したミレニアム開発目標の達成は国際社会が総力をあげて取り組むべき最優先の課題である。とりわけ、「水」と「サニテーション」に関する目標の達成が危ぶまれており、「水/サニテーション」問題は世界の緊急な課題となっている。特に、農村部においては、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、途上国農村モデルを構築する必要がある。また、途上国都市域の人口密度の高いスラムでは、現地でのコンポスト等の利用が難しいので、農村部とは異なるモデルを構築する必要がある。また、先進国においても日本の里山地域のような人口密度が高くない地域では、従来型のシステムは効率的ではなく、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)学術的寄与の必要性** 本申請では、「混ぜない(排水分離)」、「集めない(分散型)」を提案する。「混ぜない」は排水をし尿と雑排水に分離し、水や栄養塩の回収、再利用を容易にすることを意味する。これらのシステムの構築のためには、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サニテーション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が求められている。

## 2. 研究の目的

**(1)要素技術の開発:** 本研究では「混ぜない(排水分離)」、「集めない(分散型)」処理を実現するために途上国農村、途上国スラム、日本里山モデルを構想する。これらのモデルを実現する要素技術は(1)糞便を処理するコンポスト型トイレ(途上国、日本里山モデル向け)、(2)尿中リンや窒素資源の回収と微量汚染物質の処理、(3)雑排水を分離処理/処理水再利用する自然処理システム(途上国向け)と膜分離活性汚泥法、(4)途上国モデルでは回収尿・コンポストの農業利用技術である。これらの要素技術の開発と合理的設計法の検討を目的とする。

また、要素技術の評価を支えるモニタリング技術として(5)微量汚染物質のモニタリング手法、(6)衛生学的な運転管理指標が必要である。これはコンポスト、尿からの栄養塩の回収、雑排水処理水再利用、雑排水処理過程からの汚泥の農業利用等の資源循環においては、日常使用される医薬品等の化学物質の蓄積等の挙動を把握しておく必要があるためである。また、これまでの研究成果より、通常水環境で用いられる大腸菌群指標では

トイレを安全に管理することが困難であることが見出されていることによる。

**(2)モデルの評価:** 本研究で構想しているモデルの導入戦略の構築の、新しい仕組みにより、物質や価値の流れがどのように変化するか評価する必要があると考える。このための、本モデルに係る物質・価値の流れの評価法の開発とその適用をインドネシア・バンドン市(途上国都市モデル)とブルキナファソ(途上国農村モデル)で行う。

## 3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、次のように研究体制を組織し、役割分担を明確にして研究を実施した。

### (1)要素技術 - 1:糞便処理技術

途上国用コンポストトイレ:伊藤竜生(連携研究者)

### (2)要素技術 - 2:尿処理技術

尿の濃縮,尿中リン・窒素の回収:船水尚行と大学院生(3名)

尿中医薬品の電解酸化法:柿本 貴志(連携研究者):

### (3)要素技術 - 3:雑排水再生技術

途上国都市モデル用自然処理:高橋正宏と大学院生(2名)

途上国農村モデル用自然処理:牛島 健と大学院生(2名)

日本モデル用膜分離活性汚泥法:牛島健,木村 克輝(連携研究者)

### (4)要素技術 - 4:尿・コンポスト利用技術:

尿の施肥方法:船水と大学院生(3名)

### (5)要素技術 - 5:微量物質モニタリング

高感度なバイオアッセイ系の構築と適用:磯田博子, Han Junkyu, 大学院生(1名)

生物処理過程で生成する毒性物質の制御:船水 尚行, Guizani Moktar(連携研究者)

### (6)要素技術 - 6:衛生学的管理手法

病原微生物の不活化機構の解明と衛生管理手法の提案:大瀧 雅寛と大学院生(1名)

### (7)モデルの評価:導入戦略とマテリアルフロー解析

途上国農村モデル・ブルキナファソ:牛島,伊藤, Prof. Maiga(2IE, Burkina Faso)

途上国都市モデル・バンドン:牛島, Dr. Neni (LIPI, Indonesia)

日本里山モデル(秩父):医薬品の挙動解析, 船水, 小野田 優(連携研究者), 柿本

## 4. 研究成果

まず、本研究により構築した途上国農村、途上国スラム、日本里山モデルを図-1, 2, 3に示す。

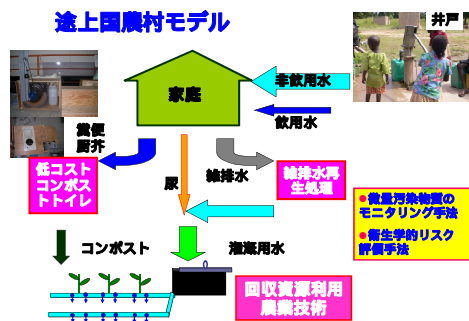


図.1 途上国農村モデル

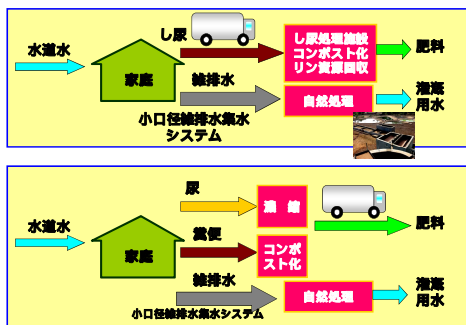


図.2 途上国スラムモデル

### 日本里山モデル

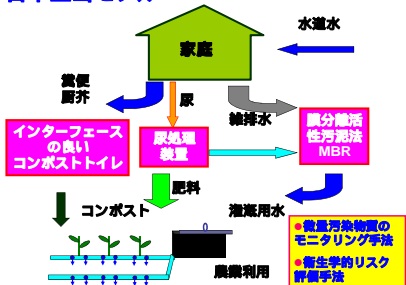


図.3 日本里山モデル

### (1)要素技術 - 1：糞便処理技術

#### 途上国用コンポストトイレ：

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．なお，試作機のコストは 10,390 円であった．



写真.1 低コストトイレの試作

病原微生物の不活化に対するマルチバリアとしてコンポスト取り出し時の石灰添加を検討した結果，特定酵素や細胞外膜への損傷など致命的な損傷をおこすことのできることで，感染リスクを WHO の水道水基準にのみ低下させるためには，コンポスト 1g に対して 30mg の石灰を投入すると良いことをリスク解析により明らかにした．

### (2)要素技術 2：尿処理技術

#### 尿の濃縮，尿中リン・窒素の回収：

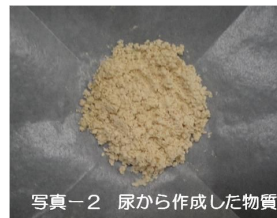
(a)自然エネルギーを用いた尿の濃縮に関する研究：尿だめに布を浸し，その布に自然換気にて通風する方法によって，水

分を蒸発させ，尿を濃縮するシステムの開発を行った．水分移動と蒸発過程のモデル化により設計法を確立し，実験結果との照合によりその妥当性を確認した．気候条件により供給空気の温度と湿度を指定し，必要な布の面積を算定するモデルから，「乾燥気候の地域では，10 名の尿を 5 倍に 1 日で濃縮するために必要な面積は 3.5cm×86cm 程度」という結果を得た．また，濃縮された尿中では尿素の加水分解が抑制され，アンモニア態窒素成分の揮発も抑制できることが示された．

#### (b)尿中窒素を用いた緩効性窒素肥料の作成に関する研究：

尿中の尿素とホルムアルデヒドを酸性条件下で反応させて緩効性窒素肥料（ウレアホルム）を製造する方法を考案し，北大から特許出願した（特願 2010-256364）．写真 2 のような物質が製造され，NMR 解析，IR 解析，元素分析の結果，ウレアホルムを主成分としていることが確認された．

また，尿素とホルムアルデヒドの化学量論関係を調べ，モル比で 1：1 の場合に窒素の回収率が最大（90%程度）となり，ホルムアルデヒドが過剰になると窒素回収率が低下する，尿を濃縮すると窒素回収率が增加することを見出した．



#### (c)固層不均一反応による尿中リンの回収に関する研究：

簡便な固液分離を可能とするように，貝殻を Ca 源とし，この貝殻表面に尿中のリン酸イオンを回収する方法を開発した．貝殻表面に析出した結晶の XRD 解析から，相対的に貝殻の量が少ないときには DCPD が，貝殻の量が多い場合には HAP のアモルファスが生成し，リンを簡便に回収する方法を見出した．

#### 尿中医薬品の電解酸化法：

酸化力を制御でき，尿中に高濃度で存在する有機物による阻害が少ないと予想される直接電解法による医薬品分解の可否をサイクリック・ボルタメトリー法により検討し，電極間電圧 1.2V という低電圧条件で多くの医薬品の分解が可能であることを確認した．また，白金電極を用いた反応装置を作成し，電極枚数，電極間距離という装置条件と分解速度の関係を実測し，装置設計のための基礎数値を得た．

### (3)要素技術 - 3：雑排水再生技術

#### 途上国都市モデル用自然処理：

処理水の農業灌漑再利用を可能とする高速沈降性藻類池ベンチスケール実験装置を運転し，沈降性藻類への選択圧により沈降性の高い藻類を集積できることを確認し，処理水質の向上と固形物回収率の効率化を確認した．また，藻類の沈降特性・処理水性状と SRT の関係を得，装置の設計が可能となった．

#### 途上国農村モデル用自然処理：

実験室規模の傾斜土層システムによる処理実験により、有機物、界面活性物質、病原微生物（バクテリアとファージ）の除去モデル化を行い、本装置の設計法を開発した。また、発芽試験によるバイオアッセイにより、発芽阻害を生じない処理水中界面活性剤濃度を設定した。

#### 日本モデル用膜分離活性汚泥法：

分散型処理における雑排水処理の方法として、調整槽やポンプを利用せず、水位差のみで膜ろ過の圧力を得る間欠流入型の MBR（膜分離活性汚泥法）による雑排水処理実験により、本 MBR は一般家庭で想定される雑排水の流量変動の下でも、連続流入系と同等の処理能力を発揮できることが示された。

#### (4)要素技術 4：尿・コンポスト利用技術：

##### 尿の施肥と塩分管理方法：

コマツナの窒素要求量の3倍程度の尿施肥を行った場合について、コマツナ地上部乾燥重と土壌化学性の変化をモニタリングした結果、基準の3倍量の尿施肥を3回繰り返しても植物乾燥重への負の影響は見られなかった。土壌では、Na 蓄積および SAR 増加は緩やかに、土壌 EC の増加は顕著に確認された。

雨季ソルガム栽培を想定した際の塩分挙動をポット栽培にて評価した結果、ブルキナファソ・ワガドゥグ市の降水量で、Na はほぼ雨水洗浄により洗い流されることがわかり、蓄積した Na の管理においては雨水による洗浄が効果的であることを示唆する。

#### (5)要素技術 5：微量物質モニタリング

##### 高感度なバイオアッセイ系の構築と適用：

Heat shock protein (HSP) プロモーター導入細胞作製を行った。具体的には、ヒト肝臓由来 HEK293 細胞に HSP47 及び HSP90 のプロモーターの導入を、ヒト腸管上皮 Caco-2 細胞に HSP47 及び HSP90 のプロモーターの導入を試み、それぞれ 10 Line 以上の「HEK293-HSP47 細胞」、「HEK293-HSP90 細胞」、「Caco-2-HSP47 細胞」、「Caco-2 HSP90 細胞」の作製に成功した。（特許出願済み：特願 2009-242760 号）。バイオアッセイ系を異なる再生処理法の処理水に適用した結果、毒性は高分子の有機物が発現しており、その除去には、凝集処理や NF 膜・RO 膜処理が有効であることが示された。

##### 生物処理過程で生成する毒性物質の制御：

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。次いで、これらのエンドトキシン活性を有する物質の除去法について検討した。また、で開発した HSP47 によるアッセイ系を用い、生物処理水中に含まれる微生物の代謝産物がレスポンスに寄与し、生物処理水の毒性発現と微生物代謝産物の関係を得た。

#### (6)要素技術 6：衛生学的管理手法

病原微生物の不活化機構の解明と衛生管理手法の提案： 通常指標微生物とし

て用いられる大腸菌はウイルスと耐性が大きく異なるため、ウイルス指標としては不十分であることが知られている。そこで、糞便性連鎖球菌と大腸菌ファージのコンポスト過程、石灰処理過程での挙動を比較し、糞便性連鎖球菌がウイルスの指標として適していることを示した。

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測定する方法を新たに開発した。この方法により、致命的な損傷を与える運転条件を検討した結果、1)大腸菌は低含水率条件、および高 pH 条件（pH9.6 以上）では、核酸や必須代謝機能の損傷といった致命的な損傷を受ける、2)大腸菌ファージ Q はカプシド損傷が主な機構であることが明らかとなった。これにより、消毒剤が細菌細胞へ与える損傷メカニズムがどの程度の割合で生じるかということの評価でき、病原細菌への消毒効果をより確実に論じることができるようになった。

#### (7)モデルの評価：導入戦略とマテリアルフロー解析

##### 途上国農村モデル・ブルキナファソ：

農業とリンクした衛生システムを設計・評価するために、水、栄養塩のサブスタンスフロー分析を行い、農業生産を高めるポテンシャルリソースと追加可能な耕作可能面積を予測した。その結果、1)現在の化成肥料使用量と同等以上の肥料成分がし尿として廃棄されている、2)主に乾季の灌漑用水と同規模の生活雑排水が存在する、3)本研究のシステム導入で追加可能な耕作面積は再生水供給に強く依存することを明らかにした。

##### 途上国都市モデル・バンドン：

インドネシアの 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価格の面で実現可能なことが示された。

##### 日本里山モデル・秩父：医薬品の挙動解析

秩父のパイロット家庭のトイレで約1年間にわたりトイレへ 15 種の医薬品を添加し、コンポストに残留する医薬品のモニタリングを実施した。その結果、高い分解率を示したものはアセトアミノフェン、プラパスタチン、アテノロール、クラリスロマイシンであった。室内実験による化学的分解性の検討結果と照合することにより、アセトアミノフェン、プラパスタチン、アテノロールは生物分解可能性が確認された。また、クラリスロマイシンはコンポスト過程で化学的に分解されることが見いだされた。

#### (8)成果の国内外における位置づけとインパクト

世界における位置付け： 世界においてはドイツ、スウェーデンなどヨーロッパのグループが類似研究を実施している。日本国内ではこの研究を活発に進めているは本チーム以外にはない。本研究の特徴は次のように整理される：

- 本研究のように同じコンセプト(混ぜない, 集めない)で, 社会条件の異なる3つのモデルを検討している例はなく, 世界的に極めてユニークである.
- おが屑や農業廃棄物をマトリックスとするコンポスト型トイレの学術研究はほぼ皆無である. そのため, 病原微生物のリスク評価も含め, 本研究の成果が貴重なデータを提供する.
- 従来の尿中リン・窒素の利用は単純な尿の散布のみが議論されてきた. 本研究で実施している尿中リン・窒素の回収に関する研究は, 尿の利用を大きく拡大する可能性がある.
- 雑排水の処理に関しては, ヨーロッパのグループは人工湿地に関する検討が多い. 一方, 本研究グループにおいては傾斜土壌法や膜分離活性汚泥法のような再利用を目的としている点に特徴がある.
- 微量汚染物質に対する対応を同時に検討し, 処理性の評価をバイオアッセイ等で行っているグループも少ない. この研究成果は循環型社会形成のための重要な知見を与えると考ええる.

インパクト: 本研究の成果に関連し14件招待講演を実施した. これにより, 本研究のコンセプトならびに具体的な成果が広く世界で認知されはじめたものと理解している. 特に, WHOが主催したウランパートナールでの会議, 第6回世界水フォーラム, TICAD VIは世界の水・衛生政策に関わる会合であり, 水・衛生政策担当者へのインパクトも期待できる.

#### (9)今後の展望

本研究では「混ぜない(排水分離)」, 「集めない(分散型)」という考え方を適用した途上国農村, 途上国スラム, 日本里山モデルの3つのモデルを構想した. これらのモデルでは, 糞便, 尿, 雑排水を資源として再生利用するための工学的技術を新たに開発する必要があった. 本研究により, 糞便資源回収のためのコンポストトイレ, 尿の直接利用技術と輸送・収集を考慮した尿の濃縮技術, 尿中窒素・リンの回収技術, ならびに雑排水再生利用技術を開発することができた.

今後は開発したモデルのシステムの妥当性の検討をより広範に実施する必要がある.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計31件)

- 1) Derabe Maobe H., Onodera M., Takahashi M., Satoh H. and Fukazawa T.: Control of algal production in high rate algal pond: investigation through batch and continuous experiments, *Water Science & Technology* (in press), DOI: 10.2166/wst2014.174(査読有)

- 2) Hijikata N., Fujii T., Sangare D., Sou M., Ushijima K., Funamizu N.: Salts monitoring and management for human urine fertilization and treated greywater irrigation in sub-Sahel region, *Journal of Arid Land Studies*, (in press) (査読有)
- 3) Ito R., Takahashi E. and Funamizu N. (2013): Production of slow-released nitrogen fertilizer from urine, *Environmental Technology*, **34**(20), 2813-2820(査読有)
- 4) Ushijima K., Ito K, Ito R, Funamizu N. (2013): Greywater Treatment By Slanted Soil System, *Ecological Engineering*, **50**:62-68(査読有)
- 5) Ushijima K., Irie M., Sintawardani N., Triastuti J., Ishikawa T., Funamizu N. (2013): Sustainable design of sanitation system based on material and value flow analysis for urban slum in Indonesia, *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, **7**(1), 120-126(査読有)
- 6) Guizani M., Nogoshi Y., Ben Fredj F., Han J., Isoda H. and Funamizu N. (2012): Heat shock protein 47 stress responses in Chinese hamster ovary cells exposed to raw and reclaimed wastewater, *J. Environ. Monit.*, **14**, 492-498(査読有)
- 7) Isoda H., Ben Fredj F., HAN J., IRIE M., Funamizu N. and Ghrabi A. (2012): Assessment of wastewater-irrigated soil containing heavy metals and establishment of specific biomarkers, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **84**, 54-62(査読有)
- 8) Kazama S. and Otaki M. (2012): Inactivation mechanisms of *E. coli* in the sawdust used in composting toilet, *Journal of water and Environ. Tech.*, **10**(4), 363-374(査読有)
- 9) Guizani M., Dhahbi M. and Funamizu N. (2011): Characterization of endotoxic indicative organic matter (2-keto-3-deoxyoctulosonic acid) in raw and biologically treated domestic wastewater, *Water Research* **45** (1), 155-162(査読有)
- 10) Masoom P., Ito R. and Funamizu N. (2010): Rational design of an onsite volume reduction system for source-separated urine, *Environmental Technology*, **31**(4), 399-408(査読有)
- 11) 牛島健, 吉川宙希, A.P. Huelgas, 伊藤竜生, 船水尚行 (2010): 生活雑排水のオンサイト処理を想定した間欠流入下におけるMBRの処理特性, *環境工学論文集*, **47**, 719-726(査読有)
- 12) 風間しのぶ, 大瀧雅寛 (2010): コンポスト型トイレにおける病原ウイルス指標, *土木学会*

論文集 G, 66, 179-186, (査読有)

〔学会発表〕(計 84 件, 内, 招待講演 14 件)

- 1) Funamizu N.: Agro-sanitation system for effective use of water and nutrients: Case rural area in Burkina Faso, 9<sup>th</sup> IWA international conference on water reclamation and reuse, 28-29 October, Windhoek, Namibia, 2013(Invited)
- 2) 船水尚行: 持続可能な社会を支える資源回収型排水管理技術 - アグロ・サニテーションによる BOP イノベーションを例に -, 2013 年中日韓グリーンテクノロジーフォーラム, 2013 年 11 月 15 日, 北京 (招待講演)
- 3) 船水尚行: 「集めない」, 「混ぜない」をコンセプトとした資源回収型排水処理技術とミレニアム開発目標達成への貢献, 第 25 回環境工学連合講演会, 日本学術会議, 東京, 2012 年 4 月 12-13 日, 招待講演
- 4) Funamizu N., Ushijima K: Resources Oriented Sanitation System for those area where Economic and Technical Limitations, Inter-country workshop on sanitation in cold climate countries, October 20-21, 2011, Ulaanbaatar, Mongol. (Invited)
- 5) Funamizu N.: Resources oriented sanitation system for those areas where economic and technical limitations, 3<sup>rd</sup> International Congress Wastewater in Small Communities, April 25-28, Sevilla, Spain, 2011 (Invited)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

- (1) 産業財産権の名称: 細胞及び評価方法 (HSP90b), 発明者: 磯田博子, 森尾貴広, 韓峻奎, 船水尚行, 権利者: 筑波大学, 産業財産権の種類, 番号: 特願 2009-242760 号, 出願年月日: 2009 年 10 月 29 日, 国内・外国の別: 国内
- (2) 産業財産権の名称: 尿中の窒素成分の固形状回収装置, 発明者: 伊藤竜生, 高橋恵理, 船水尚行, 権利者: 北海道大学, 産業財産権の種類, 番号: 特願 2010-256364 号, 出願年月日: 2010 年 11 月 17 日, 国内・外国の別: 国内

〔その他〕

- (1) ホームページ等: URL : [http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/UBN\\_WTRSE/project/kaken/index.htm](http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/UBN_WTRSE/project/kaken/index.htm)
- (2) 主な公開行事 (9 回開催)
  1. 2011 年 11 月 1,2 日: The 8th International symposium on sustainable water and sanitation system part 2 を LIPI と共同でインドネシア・バンドンにて開催. 参加者 45 名.
  2. 2012 年 3 月 13 - 15 日: 第 6 回世界水フ

ォーラムにて Sustainable sanitation for rural and urban areas in Sahelian countries を開催. 参加者 40 名. また, ブルキナファソ政府展示スペースでコンポストトイレを展示.

3. 2013 年 6 月 TICAD V にてサイドイベント (Integrated Water Resource Management for Food Security), 展示を実施. 展示とその説明内容が YouTube にて公開されている.

(3) 高校生向講義 (計 4 回)

立命館慶尚高等学校にて, 2012 年 11 月, 2013 年 12 月に 2 回公演. 2012 年 12 月北海道立札幌北高校, 2014 年 1 月に登別明日高校にて講演

6. 研究組織

(1) 研究代表者

船水尚行 (FUNAMIZU Naoyuki) 北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 1 0 1 1 1 3 6 2 2

(2) 研究分担者

高橋正宏 (TAKAHASHI Masahiro) 北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 8 0 3 5 5 9 3 2

大瀧雅寛 (OHTAKI Masahiro)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号: 7 0 2 7 2 3 6 7

磯田博子 (ISODA Hiroko)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号: 0 0 3 7 5 4 2 9

牛島健 (USHIJIMA Ken)

北海道大学・大学院工学研究院・特任助教

研究者番号: 2 0 5 8 6 7 2 1

(3) 連携研究者

木村克輝 (KIMURA Katsuki)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 1 0 2 9 2 0 5 4

伊藤竜生 (ITO Ryusei)

北海道大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 7 0 3 7 4 5 7 7

グイザニモクタル (GUIZANI Mokhtar)

北海道大学・サステイナビリティ学教育研究センター・博士研究員

研究者番号: なし

韓峻奎 (HAN Junkyu)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授

研究者番号: 4 0 4 5 5 9 2 8

柿本貴志 (KAKIMOTO Takashi)

埼玉県環境科学国際センター・主任

研究者番号: 0 0 4 6 2 7 4 7

小野田優 (ONODA Yu)

いであ株式会社・環境創造研究所・研究員

研究者番号: なし