

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「地球規模の環境課題の解決に資する研究」領域)

アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発

(ブルキナファソ)

平成 24 年度実施報告書

代表者：船水 尚行

北海道大学 大学院工学研究科・教授

<平成 21 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

プロジェクトの概要：

地球規模気候変動の影響を受け、貧困指数が最も高いサブサハラ・アフリカ地域のブルキナファソにおいて、「集めない」「混ぜない」を基本コンセプトとした水と衛生の新システム開発と実証を 2iE と共同して実施する。共同研究を通じた人材の育成と西アフリカ地域における共同研究拠点の形成を目的とし、最終的には、ミレニアム開発目標達成に貢献する。具体的には、農村モデルと都市モデルを提案し、技術のイノベーションサイクルを意識して、（１）要素技術開発（資源回収型低コストトイレ、太陽熱加温・ろ過用水供給装置、雑排水処理／再生システム）、（２）農村、都市モデルのシステム化と実証実験、（３）システムを支える社会システムの必要機能と地域適合方策と要素技術へのフィードバックを研究する。

プロジェクトの進捗状況と成果：

① 社会化要素技術開発チーム

- 農家のマテリアル（窒素、リン、水）フロー解析を行った結果、1)生活系で廃棄されている水が小規模菜園で使用されている水量に匹敵する、2)し尿として廃棄されている窒素・リンが小規模菜園に必要なリン・窒素量に匹敵する、3)耕作可能面積は水で制約される、ことを示した。
- 住民のバリューチェーン解析を行い、糞便のコンポスト化、尿の肥料としての利用、雑排水の灌漑用水としての再利用が現金収入を増加させ、衛生設備の導入のインセンティブになりうることを示された。
- 新しいビジネスモデルの提案
 - 衛生施設を Agro-Sanitation Asset と位置付け、この Asset を利用して、野菜栽培を行い、市場で販売することで収益を得る
 - この Agro-Sanitation Asset を導入するための資金は Micro-Finance の仕組みを利用して調達することとし、ローンの返済を野菜栽培からの収益を充てるのが可能となるような、Asset の価格を達成するための、ハードウェア開発を行う
 - Micro-Finance を行う Facilitating Organization はファイナンス事業のみでは持続性が無いいため、農業指導、ならびに野菜の Marketing Support も行い、農家の収益を確かなものとする
 - Facilitating Organization は Social Capitalist からの投資を受ける。この投資は少額の投資家の Cloud を形成することも想定される。
 - 衛生設備を作成する地域の産業も育成する
- 水システム導入の成功例として日本モデルの分析をおこない、日本におけるし尿処理の制度変遷を整理した。
- ブルキナファソの水・衛生に関わる法体系を整理した。
- 今後のワークショップ、住民との関係構築に役立てるため、2011年12月に3回開催した住民向けワークショップについての評価を行った。
- 農民の生活様式や、伝統的共同体の社会システムの実態を探ることを目的とし、関係省庁や地方自治体、NGO、農業生産者団体、女性団体、農民組織など、社会的アクターとなりうる人々とのインタビューを行い、次の知見を得た。
 - 人々の経済システムは自家消費型の小規模。
 - 伝統的首長は村の政策決定権があるが、一方で「農村アドバイザー」が地方行政と村の調整と連絡役を担っている。
 - プロジェクトでは家庭規模の経済システムや村の政策設定過程を疎外しないことが重要となる。
 - ブルキナファソの人々の新技術に対する適応能力に期待できる。
 - アフリカの農民が本プロジェクトに参加できる自律的アクターと認めることは、これまで国家政策だった水管理に国境を超えたネットワークを持ち込んだことになる。これらは、伝統と近代性の二重の社会と国家を克服するホスト・モダンの現象と位置付ける。

② サニテーション要素技術開発チーム

- 低コスト型コンポストトイレの試作機を北大にて作成し、性能評価を実施。マトリックス 40L で毎日 1kg の糞便をコンポスト化可能であることを実証。
- 北大で作成した試作機の費用は約 10,700 円（約 110 ユーロ）を達成。
- パイロットサイトにおいて、最初に設置したコンポストトイレ（しゃがみ式）のフィードバックを受けて、1 つの改良案として腰かけ式モデルを提供し、モデル改良のサイクルを 1 回まわすことができた。
- インターフェイスデザインを含めたブルキナファソ向けコンポストトイレのデザイン方法について基本機能および要求仕様の観点から検討すべき項目の整理を行った。ブルキナファソにて容易に入手可能なコンポスト反応用マトリックスとしてソルガム、ミレット等からの農業廃棄物の利用可能性を評価。
- コンポスト取り出し時に石灰投入することが病原菌不活化に有効であることを確認し、リスク評価の観点からコンポストトイレ 1 台あたりの石灰投入量を決定した。
- 石灰のコンポストトイレ中における混合特性を評価し、適切な投入法と反応時間を定めた。
- パイロットプラント用のコンポストトイレを設計した。
- コンポスト過程におけるプロトゾアならびに寄生虫卵の不活化速度の実測を行った。
- 取り出し後のコンポストの熟成について検討し、約 1 週間前後の熟成で発芽阻害がなくなるを実証した。
- コンポストの有機物特性について検討し、トイレ利用期間からフミン酸の蓄積と腐植化が起こることを確認。
- コンポスト肥効性について検討し、窒素肥効率は 20%、リン肥効率は 100% と見積もられ、コンポストのリン供給能力が高いことを実証。
- サヘル気候条件における尿貯留時の窒素成分と病原微生物の消長に関する実験を行った。
- 国内のみで実施している、尿の処理、栄養塩の回収に関する研究では
 - 自然エネルギーを用いた尿の濃縮法：装置設計法がおおよそ確立された
 - 尿中窒素から緩効性窒素肥料（ウレアホルム）を作成する方法を開発し、特許申請した。生成結晶の構造同定を行った。
 - 尿中窒素とホルムアルデヒドの混合比とウレアホルム生成の量論、反応速度の関係を得た。
 - 尿中リンを貝殻系カルシウムを用いて、結晶化させる方法を開発し、結晶構造解析の結果、DCDP の生成が確認された。
 - 貝殻系カルシウムの必要添加量とリン回収量の関係を得た。
 - 尿中医薬品の処理法として電解酸化法の有用性を確認した。
 - 電解酸化法の装置設計法（作用極、対極の面積、電極間距離、装置容量）を開発した。

③農村モデル用雑排水要素技術開発チーム

- 農業用灌漑用水としての雑排水の再利用におけるリスクファクター（人：病原微生物、作物：界面活性剤、灌漑システム：BDOC）を同定した。
- 実験室規模の傾斜土層方式による雑排水処理装置を用いて、処理実験を行い、有機物、LAS、指標微生物（バクテリア：E. Coli, ウィルス：MS2 フェージ）の処理特性を測定し、装置設計法確立の基礎となるこれらの除去モデルを定めた。LAS 濃度低減に関する反応モデルを構築し、傾斜土層サイズと処理水質の関係の推算から処理ユニットを設計する方法を確立した。
- パイロットプラント用の傾斜土層方式の雑排水処理装置を設計した。
- 傾斜土層処理装置内で植物阻害要因を引き起こす洗濯洗剤中の LAS が分解され、処理後の水質は植物成長阻害がないことを確認した。
- 篩分けの手間が少ない幅広粒径の土壌を用いた場合についての病原微生物の除去特性を把握した。
- 設計および O&M マニュアルを検討するための基礎情報として、土壌粒径と性能についての知見を整理することができた。
- Kologoudiesse 村において 5 つのコンセッションを対象に、飲料水使用量、雑排水発生量とその発生源寄与と濃度を測定し、雑排水発生基礎数値（井戸水使用量：21.5-41.3L/capita/day, 雑排水発生量：8.4-16.0L/capita/day, 雑排水発生源：水浴びが全体の 70%程度を占める）、ならびに水質と指標微生物濃度を得た。

④都市モデル用雑排水要素技術開発チーム

- 高速沈降性藻類池 (High Rate Settleable Algae Pond : HRSAP HRSAP) 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処理水質の向上と固形物回収率の効率化を確認した。
- ベンチスケール実験により、洗剤成分である LAS の分解速度に関する情報を得た。
- また、藻類が共存する場における紫外線による病原バクテリアの不活化速度を得た。
- 藻類の沈降特性・処理水性状と SRT の関係を得、装置の設計条件を設定し、パイロット試験装置を設計した。
- 2iE における HRAP パイロットプラントによる実験は、電気設備の実施設計の遅れや、現地の事情に合わせた改良のため進捗が遅れていたが、パイロットプラントが完成し、研究期間内で、建設、維持管理マニュアル作成が完了する予定である。

⑤用水要素技術開発チーム

- 複数水源 (深井戸水、浅井戸水、地表水 (ため池)、家庭内の水タンク) の水質を把握した結果、(1)地下水は硝酸性窒素濃度が高い、(2)地表水 (ダム湖水) は有機物 (DOC) 濃度と鉄・アルミなどの金属濃度が高いことが判明。地下水中の硝酸性窒素濃度はセラミック濾過では除去できないため、水質基準を超えた地下水は飲料水として利用できないことがあきらかとなった。
- 太陽光消毒+膜分離システムについて、水温と膜フラックスの関係を実測し、高温の水をろ過する本システムではろ過圧を小さくできることを確認。
- 現地で開発されているセラミックポットフィルターについて、その指標微生物ならびにヒ素の除去特性を明らかにした。

⑥農業要素技術開発チーム

- 糞便コンポストの土壌改良効果・植物成長効果を確認
- 雑排水由来の物質の中で洗濯洗剤由来界面活性剤 (LAS) の植物阻害リスクが高いことを確認
- LAS の植物生育阻害に対する直接的な無影響濃度は 10 mg/L と推定された
- 土壌栽培系においては LAS の分解が土壌中でおこり、灌漑水中 LAS が 0.2g/L 以下では植物生育を阻害しない
- 土壌栽培系において、根粒菌の窒素固定能の LAS 感受性は植物生育や根粒感染力よりも高いが、灌漑水中 LAS が 0.06g/L 以下では窒素固定能に影響を与えない。
- 尿の過剰投入を繰り返しても、1年スケール (3回連続栽培) では植物生育への影響は見られないが、余剰塩類の土壌蓄積は顕著に観察された。
- パイロットサイトでの尿と再生雑排水を使用した栽培においては、Na を含めカチオン類の投入は尿よりも雑排水に起因する可能性が高い
- パイロットサイトでの雨季野菜栽培後の土壌表層では、Na 蓄積および SAR 増加は見られなかったが、一部でカチオン類の蓄積 (EC の増加) が確認された
- 雨季に耐塩性および吸肥能力が高いソルガム栽培を輪作体系に組み込むことで、雨水洗浄およびソルガムによる除塩を期待できるモデルを作った。また、この体系から得られる収入の概算値を得た。
- ワガドゥグ雨季を想定したソルガム栽培をポット試験スケールで実施すると、Na は主に雨水洗浄により土壌から取り除かれた。
- SAR が 1-6 の Na 蓄積の低い土壌では、Ca 剤添加による土壌透水性改善効果は高くない
- ブルキナファソにおける換金作物情報を得た
- 現地洗剤成分の測定した。
- 土壌-植物系での抗マラリア薬の挙動を明らかにした。

⑦農村モデル実証実験チーム

- パイロットファミリーの選定と、世帯別の詳細調査を完了
- インフォメーションワークショップの開催 (2011年度)
12月19日 Ziniare Kolgonguesse 村 (プル語)、12月20日 Ziniare Barkoundouba 村 (モシ語)、12月21日 Ouagadougou Kamboinse 村 (モシ語) でワークショップを開催した。
- パイロット実験開始
 - コンポストトイレは5月までに3村6世帯に設置を終え、トレーニングワークショップを実施した後、本格的な利用を開始した。

- 傾斜土層および尿収集設備を兼ねたシャワールームも同様に設置を終え、トレーニングワークショップ（2012年4月5, 6, 10日）を実施した後、本格的な利用を開始した。あわせて、傾斜土層の流入水および処理水のサンプリングを開始した。
- 菜園は7月までに3村6世帯の全てに設置し、現地研究者による実演を各家庭で随時行いながら、野菜栽培を開始した。
- 各家庭でのモニタリングおよび聞き取り調査を行った。
- 傾斜土層処理水および保存尿の水質調査を行った
- インフラの使用方法やメンテナンスの方法を住民に示すことを目的としたトレーニングワークショップの開催（2012年度）
4月5・6・10日には雑排水について、5月8～10日にはコンポスト・トイレについて、そして10月24日には腰掛けるタイプのトイレについてであった。インフラの使用方法やメンテナンスの方法を住民に示すことを目的とした
- 導入インパクトを評価する手法として、生活時間調査を試行し、次年度以降の調査実施計画を作成した。
- パイロットファミリーにおける導入インパクトの評価について、導入1～2ヶ月時点での世帯内役割分担に関するインタビュー結果を得た。

⑧都市モデル実証実験チーム

- 実証実験プラントの設計基礎数値を得た
 - 2iEの学生128名にアンケートを行い、雑排水の発生量を調査した。食堂や洗濯室の使用水を含めた平均原単位は114L/人・日であったが、学生寮のみの排水については81L/人・日であった。
- 実証実験設備を建設し、実証実験を開始した。

⑨キャパシティ・デベロップメントチーム

- 共同研究を通じた研究者養成
- 講義共有の実施：北海道大学が実施しているサステナビリティ学に関する教育プログラム形成事業と連動し、遠隔講義システムを利用した講義を実施。
- 若手研究者の日本研修，相互交流
 - 国費留学生として2名選考，2010年10月入学
 - 若手研究者北大研修： 2010年度：2名， 2011年度 2名，2012年度 1名
- 国際シンポジウム開催：2010年9月パリにて国際シンポジウム開催，2011年10月北大にて国際シンポジウム開催，2011年10月インドネシア・バンドンにてワークショップ開催
- セミナー，ワークショップ開催：ワガドグにて4回開催
- 第6回世界水フォーラムで3つの活動を実施
- ブルキナファソ住民を対象としたワークショップ開催（3回）

アウトリーチ活動：

- 日本国内
 1. 2009年11月北海道大学サステナビリティウィーク オープニングシンポジウム を開催
 2. 2009年12月北海道大学—JICA 共同シンポジウムと提言書作成：Hokkaido University NEWS LETTERに掲載
 3. 2010年10月北海道大学サステナビリティウィーク オープニングシンポジウム Water and Well-being を開催
 4. 2011年10月北海道大学サステナビリティウィークにて 2nd Ameli-Eaur International symposium on sustainable water and sanitation system
 5. 2011年10月北海道大学にて Workshop on Application and diffusion strategy of Sustainable Sanitation（理解者・協力者連携促進）を開催
 6. 2012年11月函館市立南本通小学校にて小学4, 5, 6年生を対象に「アフリカの子どもたちの生活と、自分たちの毎日の生活を比べながら、トイレについて考える」と題する講演を実施
 7. 2012年11月立命館慶尚高等学校にて、文系の高校1, 2年生を対象に「How to attack the Cycle of Poverty? Challenges from Water and Sanitation sector」と題する講演を実施

8. 2012 年 12 月北海道立札幌北高校にて高校 1, 2 年生を対象に「How to attack the Cycle of Poverty? Challenges from Water and Sanitation sector」と題する講演を実施
9. 2013 年 1 月 TICAD V 学生プロジェクト主催イベント「Touch to Africa -アフリカの多様性に触れる-」で講演
10. 2013 年 3 月日本学術会議北海道地区委員会主催学術講演会「アフリカに暮らす人たちとその環境—北の大地からアフリカへの貢献—」の企画・運営, 講演

- 海外, ブルキナファソ国内

1. 2010 年 3 月 1st Ameli-Eaur workshop の開催 (関連機関, 日本大使を招待)
2. 2010 年 フィンランド TAMK における招待講義
3. 2010 年 9 月 2nd Ameli-Eaur workshop の開催
4. 2010 年 9 月 1st Ameli-Eaur International symposium on sustainable water and sanitation system の開催 (パリ)
5. 2011 年 10 月 ブルキナファソ農業大臣を北海道大学に招聘.
6. 2011 年 11 月 The 8th International symposium on sustainable water and sanitation system を LIPI と共同でインドネシア・バンドンにて開催
7. 2011 年 12 月 パイロットプロジェクトサイトにて Information Workshop を 3 回実施.
8. 6^{ème} Forum mondial de l' eau, December 20-22, 2011 に参加
9. 2012 年 3 月 マルセイユで開催された世界水フォーラムにて Sustainable sanitation for rural and urbain areas in sahelian countries を開催
10. 2012 年 7 月 Global Innovation Summit で新しいビジネスモデルについて報告
11. 2012 年 8 月 SAFE AND SUSTAINABLE SANITATION WORKSHOP (Finland, Tampere) にて招待講義
12. 2012 年 8 月 Dry Toilet Conference で集中発表 (10 件)
13. 2012 年 11 月 Global Social Business Summit に参加. 新しいビジネスモデルについて報告.

- ホームページとブルキナファソ通信

- チーム会合: 11 回開催

- 研究プロジェクトのHPにブルキナファソ通信欄を設置 (長期滞在研究者からの情報, 業務調整員からの月例報告) .
- 「現場で作れる災害時用簡易「うんち」専用コンポスト型トイレの作り方」を研究室HPにアップ. これは, アフリカ向けトイレ開発の知見を被災地用トイレに応用したもの.

2. 研究グループ別の実施内容

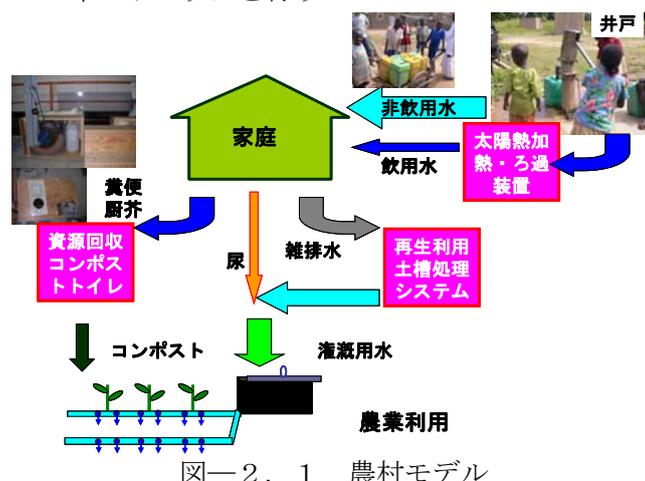
(1) 全体の研究計画、内容

(1-1) 基本コンセプト：分散型用水技術＋「集めない」、「混ぜない」排水処理＋農村モデル、都市モデル

新しい技術開発のコンセプトはパイプネットワークへの依存を少なくし、質に応じた水の分別である。用水側では、井戸のような分散型の水源の利用と現地浄水処理、飲用用途と非飲用用途の質的分別を行い、低コスト化と健康リスク管理を両立させることを目指す。一方、排水処理側では、分散型による現地での処理と排水の分別により、栄養塩の資源回収、水再利用、病原微生物による健康リスク管理を可能とすることを旨とする。また、農村域と都市域では、人口密度に大きな差があることに加え、インフラ整備のレベルにも差があることから、農村向けと都市向けのモデルを別々に用意する。

(1-2) 農村モデルと都市モデル

農村モデル：図－2. 1 のような、分散型の用水供給（井戸）＋衛生システムを提案する。本システムを支える要素技術は(1-1)し尿を分離処理／資源回収する低コストコンポスト型トイレ、(1-2)雑排水を分離処理／処理水再利用する自然を用いた処理システム、(1-3)井戸水を水源とし、飲用用途のみの水量を処理する低コスト太陽光消毒・膜ろ過ユニット）並びに、このように改良されたトイレ、地下水帯水層によるろ過、及び飲料水処理システムの組み合わせによる Multiple Barrier での感染微生物の低減効果を評価するための(1-4)リスク評価手法である。ここで、雑排水処理水は分離回収された尿を希釈して畑に施用するために用いる。また、トイレと井戸との間の地下水を經由した汚染に対するリスクを小さくするために、井戸とトイレの配置法も重要な課題である。本農村モデルの研究開発課題はこれら4つの技術的課題とこのシステムを支える社会システムの提案である。実証実験によりシステムとしての実証と、要素技術へのフィードバックを行う。



都市モデル：ブルキナファソの都市を想定し、(1)し尿は収集車で収集後、し尿処理場で資源回収する（肥料生産、汚泥のコンポスト化）、(2)雑排水はコミュニティスケールで集水し、自然処理後、農業用灌漑に用いる、(3)パイプネットワークで配水される水道水については、飲用用途のみを給水栓で処理する、都市モデルを提案する。本システムの技術開発課題は、雑排水を集水する小口径低コスト集水システムである。従来の下水道施設建設においては、初期費用の約70%が管路施設の費用である。集水システムの低コスト化が達成されなければ、都市域の雑排水収集は難しい。なお、低コストの集水システム構築の検討に加え、し尿収集車で定期的に雑排水を収集する方式を暫定的な方法として導入する可能性の検討も実施する。し尿収集、処理に関しては日本の技術が存在するが、これらの西アフリカ諸国への適用の可能性の検討が必要である。

ブルキナファソに代表されるサヘル地域では、イスラム教に代表される宗教的な理由により、し尿を含んだ排水の再利用は社会的に受容されにくい特徴を有している。そのため、本都市モデルにおいては、雑排水の農業灌漑利用を進めるため、し尿と雑排水を分離し、雑排水を処理・再利用するシステムを提案する。



図ー2. 2 都市モデル

(1-3) 導入戦略を定め、それを研究計画に展開する

技術開発の目標や開発のための境界条件は技術の導入戦略で大きく変化すると考えられる。本プロジェクトは将来の社会実装を想定した上での研究が必要であることから、導入のためのビジネスモデルの構築を検討内容に加えた。また、都市モデルと農村モデルではインフラの整備度合い、中央政府の対応、ならびに分散型（農村モデル）と集中型（都市モデル）の違いがあることから、その導入戦略も異なったものとなる。

・農村モデルと都市モデルの導入戦略（集中型施設と分散型施設の導入戦略の違い）

従来、日本をはじめとするいわゆる先進国における水・衛生施設の導入戦略は中央政府による政策決定のもと、地方政府が主体となって施設計画・建設・維持管理を行ってきた。また、このための資金は中央政府からの補助金、地方政府の起債、利用者負担によって賄われてきている。人的資源の確保と技術レベルの保証は業界団体と中央政府の協力関係の中で行われている。また、このような仕組みは、規模の大きな集中型の水・衛生施設の計画・建設・維持管理に適用されてきている。

すなわち、集中型の都市施設としての水・衛生施設の導入は政府（中央・地方）主導で行われてきており、資金調達、人材確保においてもこの政府主導型の方向が堅持されている。

一方、日本における浄化槽のような分散型施設の導入にあっては、導入の有無は個人の選択にゆだねられている。ただし、導入を誘導することを目的に、財政的な支援策が中央・地方政府により実施されている。

・都市モデル導入のための戦略

上記のようなこれまでの水・衛生施設導入戦略とブルキナファソをはじめとするサヘル地域の現状（経済力、インフラ整備状況、中央・地方政府のガバナンス能力・財政力・法制度、ならびに情報系インフラの整備状況）から判断し、都市モデルについては、政府主導の導入戦略を用いることが可能であろうと判断した。

・農村モデル導入のためのビジネスモデル提案

一方、農村部においては、これまでの水・衛生施設導入では経験していない外部条件であることから、新たな導入のためのビジネスモデル構築が必要と判断した。

ブルキナファソの農村地域では、衛生設備を有する人口は約6%程度と極めて低く、かつ、現地の言語には「トイレを示す語」が無いなど、トイレ等の衛生設備に関する概念も存在していない状況である。加えて、従来型の援助モデルには限界があることや、日本等のいわゆる先進国で用いられてきた施設導入モデルをそのまま適用できないとの判断から、衛生施設をどのように導入するかその戦略そのものが研究対象となると考え、農村部にいかに衛生施設を導入するかその新しいビジネスモデル構築を新たな研究テーマとして位置付けた。すなわち、農村モデルについて次のようなアプローチ方策を定めた：

- (1) Analyze user' s value chain
- (2) Include sanitation units into user' s value chain
→ motivate them to manage it by themselves
- (3) Design the linkage to agricultural activities
→ create value from sanitation
- (4) Analyze market of vegetables
→ maximize and stabilize user' s income
- (5) Estimate the income by sanitation units
→ show direct merits to users
- (6) Make a financial plan
→ realize and drive this model

- (7) Design sanitation units
→ adapt technology to this business model

(2)新システムの社会化

新しい水・サニテーションシステム導入，維持管理のための社会システムを提案し，新システムの実装に向けての準備を進める．このために，従来とは異なる導入のためのビジネスモデルを開発する．

加えて，新しいシステムの考え方を広く普及するために，多様な教育・研修プログラムを提案する．多様な考え方を持つ研究者・行政担当者・企業・住民との対話・討論により，新しい概念を一層深化させるため，成果の公表も含め最終年度に講演会，実証実験サイトにおいてworkshopの開催を行う．

(2-1)新システム導入，維持管理のための新ビジネスモデルの開発

ここでは農村モデルと都市モデルについて

- (1) 水・衛生システム＋農業＋流通＋金融・財政＋環境面からの政策・技術シナリオ作成と評価による新ビジネスモデル開発
- (2) 日本の水・衛生施設導入経緯と成功要因の整理によるマクロ政策の提案
- (3) マイクロファイナンス利用導入モデルのシナリオ作成とシミュレーション
- (4) 実証実験実施協力機関の組織化
- (5) 社会化：メディア，学校，女性団体
- (6) 住民のためのworkshop開催

を実施し，最終的に水と衛生のシステムについて導入のためのビジネスモデルを提案することを目的とする．

(2-2)教育・研修プログラム

ここでは，下記のような活動を行う：

- 水と衛生に関する教育研究センターの組織化
- 水と衛生システムに関与する各種グループの研修システムの提案
- JICAと共同して，水と衛生に関する技術者の研修コースの提案
- 水と衛生システムに関する博士課程プログラムの提案（2iEと日本教授陣の共同教育プログラムや集中講義計画も含む）
- 2iEと日本側研究者による国際雑誌投稿
- 国際シンポジウムの開催
- 2iEとのセミナー，ワークショップ開催

(3)農村モデル

(3-1)要素技術開発

要素技術開発では，以下の5項目について検討を行う．

- (1) 低コストコンポスト型トイレの設計法の確立，現地調達資材利用可能性の検討
- (2) し尿以外の雑排水を処理，再生利用するための，自然処理システムの合理的設計法の開発
- (3) 井戸水を水源とする太陽光消毒・低圧膜ろ過ユニットの開発と合理的設計法の確立
- (4) 地下水中での感染性微生物の挙動を考慮したリスク評価手法の確立
- (5) 土壌への塩蓄積を考慮した水管理と適切な作物選択

具体的には

(A) 低コストコンポスト型トイレの設計法の確立，現地調達資材利用可能性の検討

従来型コンポストトイレ（し尿とおが屑を混合し，水分を蒸発させ，し尿を安定化して肥料（コンポスト）を作成するトイレ）を開発途上国で使用するには次のような欠点が存在している：(1)電気エネルギーを必要し，運転経費が高いこと，(2)トイレそのものの価格が高価であること．これらの欠点を克服する方法として，糞便と尿とわけて処理することが有用であることが申請者によるCREST研究で明らかとなっている．また，低コスト化のためには人力による攪拌が必要となることから，累積糞便処理量と必要攪拌力の関係の実測を室内実験により行い，使用期間，糞便負荷と必要攪拌力の関係を定め，トイレ容量の設計方針を定める．また，現地取得可能な材料の選定が低コスト化に必須なことから，攪拌装置，反応装置材料の必要強度を攪拌力との関係で定める．

低コスト化のもう一つの要因に，使用するマトリックスがあげられる．従来はおが屑を用いてきたが，現地入手が容易なマトリックス（稲藁，とうもろこしの茎，小麦の茎，ココナツの殻，綿花の茎等）の利用可能性を，コンポスト化反応装置による反応速度の測定により検討する．また，実証実験結果を

もとに、水分管理、病原微生物管理の観点から、装置容量設計法の見直しを行う。

また、使用者がトイレから受ける病原リスクを許容範囲内に留めておくための管理手法の確立を目指す。そのための基礎的知見として、トイレ内での病原微生物の不活化メカニズムに関する知見を集積し、かつ病原微生物の不活化を促進するための手法を確立することが必要となる。具体的には、既に大腸菌で実証済みの石灰投入法を検討し、石灰投入による促進のメカニズムを解明する。

(B) し尿以外の雑排水を処理、再生利用するための、自然処理システムの合理的設計法の開発

開発途上国における雑排水の発生量や汚濁負荷についてはほとんど知見がない。有機物、栄養塩類などのデータも必要であるが、特に病原体がどの程度含まれているかは、雑排水の処理システムや再利用方法に大きな影響を与える。例えば、乳幼児や家畜の排せつ物の取り扱い如何によっては、雑排水中にも多量の病原体が存在する可能性があり、雑排水処理水を農地に散水すると地下水の汚染を引き起こす恐れがある。開発途上国の農村部において、ある程度給水が確保されている場合、どのような水量、水質の雑排水が発生しているかを確認するとともに、生活習慣や水使用量の違いによる特性を抽出する。また、雑排水中の感染性微生物の存在について調査を行う。

雑排水は処理後農業用灌漑用水として利用するため、従来の処理において処理対象であった BOD、窒素、リン成分よりは、農作物に影響を及ぼすことが知られている界面活性物質除去、灌漑施設の閉塞防止、病原リスク低減が処理の目的となるのが、従来の処理法開発とは異なる点である。このため、農村モデルでは礫等を用いた維持管理の労力の少ない簡単な処理システム（雑排水マイクロ処理・再利用システム）を開発する。特に農村モデルでは水使用量が一人一日約 30～50L と極めて少ないことから、戸別の従来型と比較して極めて小型のシステムとなる。利用可能な資材、コスト、ならびに社会経済条件を考慮し、実験により得られる反応速度式をもとに合理的な設計法を提案する。

(C) 井戸水を水源とするハンドポンプ使用低圧膜分離ユニットの開発と合理的設計法の確立

無電力で飲料用途のみの水を処理する太陽光消毒・小型膜ろ過装置を開発する。

①事前調査

地下水を主要な水源として想定していることから、地下水の現状について文献調査を含め、汚染状況や利用可能水量、必要となる処理の程度などを考えるために地下水調査を行う。深井戸については、花崗岩の分布をもとにフッ素濃度の調査を行い、深井戸水飲用による健康リスク評価を行う。

②装置開発

現地の予備調査に基づき、飲料水は深井戸または浅井戸の井戸水とし、ブルキナファソ政府の飲料水供給計画に従い、半径 300m 以内に住む 300 人に飲料水を供給するためのシステムを考える。飲料以外の水は各戸にある井戸水などを用いることとし、飲料水は各戸に持ち帰ることとするため、給水施設は建設しない。太陽光消毒システム(SODIS)は 1980 年ごろから提唱され、PET ボトルに詰めた水を屋根に乗せる方法が採用されているが、必ずしも住民に広く受け入れられていない。これは、消毒に 2～6 時間かかるために、飲みたい時に消毒された水が得られないことも理由とされている。そこで、本研究は SODIS を大型化し、給水拠点となる井戸付近には常に飲料水が得られるようにする。さらに、セラミックろ過と組み合わせることで、感染性微生物の低減を図る。ここでは太陽光により加温された 60℃～70℃に加温された水をろかするため、低い圧力での操作が可能であり、ハンドポンプなど人力によって供給される圧力により、膜ろ過および逆洗工程を一日の限られた時間のみ行う装置を考えている。このような装置では、膜ろ過を連続使用する場合において発生する深刻な膜ファウリングは発生しないことが予想され、適正な膜透過フラックスの設定法が主要な検討課題となる。本方式では、太陽光による消毒と膜によるろ過を組み合わせることで、より高い微生物の除去率を達成することを目指す。膜ろ過は装置の小型化が容易であり、井戸ごとの分散型処理が可能になることも大きな利点となる。本研究では、物理的な強度が非常に高いセラミック膜を用いて上記のような運転が可能となる小型膜ろ過装置を作成する。無電力型小型セラミック膜ろ過装置を作成し、事前調査結果をもとに試料水を作成（バクテリアオフエージの添加も含める）し、間欠ろ過実験に基づく基礎的検討を行う。

上記のハンドポンプ使用低圧膜分離ユニットでは薬品の使用や電力供給を前提としていない。そのため、従来の薬剤等を用いた消毒とは病原微生物の不活化機構や水運搬・貯留時の挙動が異なることとなり、どのような形で安全性が担保できるかについての評価手法を新たに確立する必要がある。

(D) 地下水流動を考慮したリスク評価手法の開発

西アフリカ地域では、トイレの使用後水で体を洗う習慣がある。このことは、トイレが水供給点をかねる場合があり、トイレが井戸の近くに設置される傾向がある。このため、地下水を媒介する井戸汚染を防ぐための方策、たとえば飲料水の給水拠点を選んで、飲料水はそこで処理して、各戸に持ち帰る方法を提案する。この場合も、各戸の畑に散布した雑用水から、地下水の汚染が起こらないよう、地下水

の流動を考慮したリスクの評価手法について検討する。

(E) 土壌への塩蓄積を考慮した水管理と適切な作物選択

本農村モデルでは、雑排水の処理水を尿の希釈用に用いて、農地への灌漑を行う。サヘル地域では降水量に較べて蒸発散量が多いため、尿の利用に伴う塩類の蓄積が懸念される。水管理による土壌中の塩類の洗浄法や塩分吸収能力を有する作物、耐塩性の高い作物について、その市場性を検討することにより、適切な水管理と作物選択を行う。

(3-2) 実証実験

実証実験施設の試作後、ブルキナファソ・ワガドゥ市に設置し、システムとしての衛生工学的評価ならびにアンケートによる受容性の評価を行い、技術改善点の洗い出しを行う。特に、乾燥地帯では節水が最も基本的な問題解決策であるため、水を使わない尿尿分離型のバイオトイレの実証プラントを設置し、半乾燥気候下での処理性能と維持管理を含めた適用性を持続性の評価を加えて検討する。平均気温が高く湿度の低い半乾燥気候下では、コンポスト型トイレの適用ポテンシャルは高いことが予想されるため、現地実験にて効率と効果と妥当性を実証する。

実証実験では、コンポスト化反応の制御に重要な有機物の安定化、水分収支、病原微生物不活化というコンポストトイレの基本性能の確認を行う。雑排水処理に関して、負荷変動への適用性を把握する。利用者へのアンケートによるトイレ、コンポスト、再生水の受容性を把握し、要素技術の問題点を明らかにする。

また、コンポスト、尿、雑排水の農業利用ではその肥効性の実証ならびに塩分対策の有用性を検討することも重要な項目である。

この実証実験における検討項目を以下に箇条書きする：

- 実証実験場所、実証実験施設の現地生産可能性の検討等の実証実験準備
- 新システムの事前評価
- 性能評価
- 社会的受容性評価
- コンポスト、尿、雑排水の農業側の評価

(3-3) 導入・設計・維持管理マニュアル

以上の成果を導入・設計・維持管理マニュアルとして整理する。

(4) 都市モデル

都市モデルについては、し尿収集システム、し尿処理システムは既に開発され、日本にその技術が存在する。そこで、本研究では、雑排水の収集、処理／再利用に関する研究を実施する。

(4-1) 要素技術開発

雑排水に関係する都市モデルを構成する要素技術は(1)地域素材を用いたコミュニティスケールの高速沈降性藻類池雑排水処理／再生利用（灌漑利用）ユニットの開発、(2)処理施設の低コスト化、(3)小口径雑排水集水システムであり、これらの技術開発を行う。

(A) 地域素材を用いたコミュニティスケールの高速沈降性藻類池雑排水処理／再生利用（灌漑利用）ユニットの開発

ここでは、高速沈降性藻類池による雑排水処理・資源回収システム構築を目的とし、①藻類の高度除去→新たな水資源としての再生水利用と②混合培養系藻類からのエネルギー回収を実現する。具体的には、ブルキナファソの雑排水の水量・水質の測定を行い、併せてその処理性（病原体、栄養塩類等）と再生水利用性（処理水量、利用障害等）等を検討する。続いて、雑排水の性状・気象条件に適した水処理、資源回収システムの構築を行うため、・水量、水質、水温、蒸発散量、・固液分離法、・栄養塩濃度の制御法、ならびに・油分回収 and/or メタン回収法を検討する。

(B) 処理施設の低コスト化

ここでは、高速沈降性藻類池の低コスト化をはかるために、攪拌装置の低コスト化、地域素材の利用の可能性について検討を行う。

(C) 小口径雑排水集水システム設計手法の確立

従来の下水管路は、ある程度大きな排水区を対象に、し尿を含む下水を自然流下で集水することを前提に設計されてきた。このため、し尿を含む腐敗性の強い排水を速やかに排除する必要性、ならびに地形条件に対応しつつも、ある程度深く埋設する必要（自然流下方式）がある。自然流下方式と異なる方式としては圧力式や真空式の下水管路方式も提案されている。これらの方式では、小口径管路を用いて、地形勾配に関わらず管路を配置できる利点が存在している。一方、ポンプ（圧力式）、真空システム（真

空式)の利用に伴う電力供給が必須であるという欠点も有している。

本申請では、都市モデルにおいて雑排水の集水に自然流下式と圧力式の両者の利点を生かす方法を検討する。すなわち、各住宅、建物から自然流下式で各地点に設置した一次貯留槽に集水、一次貯留槽から処理・再生施設までの圧力式による輸送という新しい方式を開発する。貯留槽を加えているのは、電力供給が不安定な状況に対応するためである。貯留槽を導入できるのは腐敗性の弱い雑排水のみを集水する利点である。

(4-2) 実証実験

2iEキャンパスに高速沈降性藻類池のパイロットスケール施設を建設し、本雑排水処理・資源回収システムの実証実験装置として運転し、システムとしての衛生工学的評価ならびにアンケートによる受容性の評価を行い、技術改善点の洗い出しを行う。

(4-3) 導入・設計・維持管理マニュアル

以上の成果を導入・設計・維持管理マニュアルとして整理する。

(5) 人材育成

(5-1) 研究者育成

共同研究活動を通じて、研究者の更なるキャパシティ増強をはかる。

(5-2) 若手研究者育成

若手研究者の日本研修の実施等、相互交流プログラムの策定し、実行する。

(5-3) コミュニティリーダー育成

講演会、workshopを通しての住民参加方策の評価を同時に行うとともに、コミュニティリーダーの養成を行う。

(2) プロジェクトの目標

プロジェクトの目標として「集めない」、「混ぜない」を基本コンセプトとしたサヘル地域に適合した水・衛生システムの開発と実証ならびにその導入準備を促進することを目的とする。この目標の達成度は

- ① 開発されたシステムの、従来の給排水システムに対する性能比較表及び適用のための手引き（特長、環境条件、維持管理方法、必要コスト等の情報をまとめたもの）
- ② ブルキナファソ政府に対して提出される開発されたシステムの導入の為の提案書
- ③ 2iEの研究スタッフがインパクトファクター付雑誌への論文発表状況
- ④ 農村レベルでのパイロットプラント運転実施管理状況

を指標として評価する。

そして、これらの目標のもと、次の4つのアウトプットを達成する。すなわち、成果と指標・目標値を下記のように設定する。

(1) サヘル地域の農村地域に適合した水・衛生システム(農村モデル)が開発される

指標：(1-1) 設計書(マニュアルを含む)付きの100ドルのトイレが完成する。

(1-2) 農村モデルの実証実験場所に設計書及び維持管理マニュアル付実証プラントができる。

(1-3) 国際学会において、開発された水・衛生システムが発表され、必要に応じ、議論結果が農村モデルに反映される。

(2) サヘル地域の都市地域に適合した水・衛生システム(都市モデル)のうち、雑排水関連モデルが開発される

指標：(2-1) 2iEのキャンパス内に設計書及び維持管理マニュアル付実証プラントができる

(2-2) 国際学会において、雑排水関連の都市モデルが発表され、必要に応じ、議論結果が都市モデルに反映される

(3) 水・衛生システムの研究開発及び維持管理に携わる関係者の能力・技術が向上する

指標：(3-1) 開発された農村モデル及び都市モデルを維持管理に関連するカウンターパートスタッフが自ら運転できる

(3-2) 農村モデルについて、各家庭に設置した設備の巡回管理と利用のアドバイスを行える人材が育成される

(3-3) 維持管理マニュアルのフランス語版が完成する

(4) 新たな水・衛生システムを導入するために研究・協力プログラムを含めたビジネスモデルが提案さ

れる。

指標：(4-1) 住民ワークショップを年2回開催する

(4-2) サヘル地域において新システムがメディア（新聞、ラジオ、テレビ等）で紹介される

(3)プロジェクトの推進方法

プロジェクト推進のために次の10グループを組織した。これらのグループは農村モデル、都市モデルに関わるテーマを有機的に実施してきている。

研究グループ：

- ① 社会化要素技術開発
- ② サニテーション要素技術開発
- ③ 農村モデル用雑排水要素技術
- ④ 都市モデル用雑排水要素技術
- ⑤ 用水要素技術
- ⑥ 農業要素技術開発
- ⑦ 農村モデル実証実験
- ⑧ 都市モデル実証実験
- ⑨ キャパシティデベロップメント
- ⑩ マニュアル作成

(4)JSTの目標

JSTと協議した本プロジェクトの目標、達成目標を図一2.3に示す。国際共同プロジェクトの目標に記したように、本プロジェクトのJST達成目標は「サヘル地域に適合した水・衛生システムを開発する」ことにある。また、上位の目標として、「日本発の水の安全保障を確保するシステムの開発と人材育成により西アフリカ地域の水・衛生設備計画に寄与し日本発の持続可能なサニテーションモデルが構築される。」ことを設定している。図では100%の到達度として、(1)サヘル地域の農村地域に適合した水・衛生システム(農村モデル)が開発される、(2)サヘル地域の都市地域に適合した水・衛生システム(都市モデル)のうち、雑排水関連モデルが開発される、(3)新たな水・衛生システムを導入するために研究・協力プログラムを含めた社会システムを提案する、の3項目をあげている。これは上記の4つのアウトプットに対応し、上記アウトプット(3)と(4)が100%達成度の社会システムの提案に対応したものである。

それぞれの項目について、100%達成のための道筋として、上記の各アウトプットに対応した指標が図一2.3には構造的に示されている。

(1) 社会化要素技術開発チーム

①研究のねらい

本研究チームは農村モデルと都市モデルについて

- (1) 水・衛生システム+農業+流通+金融・財政+環境面からの政策・技術シナリオ作成と評価による新ビジネスモデル開発
 - (2) 日本の水・衛生施設導入経緯と成功要因の整理によるマクロ政策の提案
 - (3) 従来援助方策の評価
 - (4) 維持管理システムの要因整理
 - (5) 住民のためのworkshop開催
 - (6) 実証実験実施協力機関の組織化
 - (7) 社会化：メディア，学校，女性団体
- を実施し，最終的に水と衛生のシステムについて導入のためのビジネスモデルを提案することを目的とする。

②研究実施方法

農村モデルについて：農村モデルに対するアプローチのうち，(1)利用者のバリューチェーンの解析，(6) 財政システムの検討に関する項目を担当し，他グループの検討結果とを総合化して，導入のためのビジネスモデルの提案に結びつける。また，日本における水・衛生施設導入を成功例としてとらえ，その成功要因を整理して，ブルキナファソにおける導入戦略作成へのインプットとする。

都市モデルについて：雑排水処理水の農業利用可能性を高める方策の検討の一つとして，処理水再生利用を進める上での障害の整理と促進方策に取り上げるべき要因を整理する。また，国の機関の各レベルにおける財政的，制度的要因について検討する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

パイロットファミリーの選定等の施設導入前，パイロット施設導入後現地調査を数多く実施してきている。また，パイロットファミリー向けのワークショップの数多く実施してきている。加えて，政府関係者，女性団体，NGOへヒアリングも多く実施してきた。以下に2012年度の主要な活動を整理する。

- 農家のマテリアル（窒素，リン，水）フロー解析を行った結果，1)生活系で廃棄されている水が小規模菜園で使用されている水量に匹敵する，2)し尿として廃棄されている窒素・リンが小規模菜園に必要なリン・窒素量に匹敵する，3)耕作可能面積は水で制約される，ことを示した。
- 住民のバリューチェーン解析を行い，糞便のコンポスト化，尿の肥料としての利用，雑排水の灌漑用水としての再利用が現金収入を増加させ，衛生設備の導入のインセンティブになりうることを示された。
- 新しいビジネスモデルの提案
 - 衛生施設を Agro-Sanitation Asset と位置付け，この Asset を利用して，野菜栽培を行い，市場で販売することで収益を得る
 - この Agro-Sanitation Asset を導入するための資金は Micro-Finance の仕組みを利用して調達することとし，ローンの返済を野菜栽培からの収益を充てることが可能となるような，Asset の価格を達成するための，ハードウェア開発を行う
 - Micro-Finance を行う Facilitating Organization はファイナンス事業のみでは持続性が無いため，農業指導，ならびに野菜の Marketing Support も行い，農家の収益を確かなものとする
 - Facilitating Organization は Social Capitalist からの投資を受ける。この投資は少額の投資家の Cloud を形成することも想定される。
 - 衛生設備を作成する地域の産業も育成する
- 水システム導入の成功例として日本モデルの分析をおこない，日本におけるし尿処理の制度変遷を整理した。
- ブルキナファソ国の水・衛生に関わる法体系を整理した。
- 今後のワークショップ，住民との関係構築に役立てるため，2011年12月に3回開催した住民向けワークショップについての評価を行った。

- 農民の生活様式や、伝統的共同体の社会システムの実態を探ることを目的とし、関係省庁や地方自治体、NGO、農業生産者団体、女性団体、農民組織など、社会的アクターとなりうる人々とのインタビューを行い、次の知見を得た。
 - 人々の経済システムは自家消費型の小規模。
 - 伝統的首長は村の政策決定権があるが、一方で「農村アドバイザー」が地方行政と村の調整と連絡役を担っている。
 - プロジェクトでは家庭規模の経済システムや村の政策設定過程を疎外しないことが重要となる。
 - ブルキナファソの人々の新技術に対する適応能力に期待できる。
 - アフリカの農民が本プロジェクトに参加できる自律的アクターと認めることは、これまで国家政策だった水管理に国境を超えたネットワークを持ち込んだことになる。これらは、伝統と近代性の二重の社会と国家を克服するホスト・モダンの現象と位置付ける。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

2010年3月、9月、2011年3月、2012年3月に実施した、workshopにおいてこれまで日本側で実施してきた、社会科学的なアフリカ研究成果を共有した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

(1) 新しい課題の設定：「新しい水・サニテーションシステム導入、維持管理のための社会システムを提案し、新システムの実装に向けての準備を進めるために、導入のためのビジネスモデルを開発する。」ことを課題に加えた。

ここでは、下記のような活動も含める：

- 地域のマテリアルフロー解析
- BOPビジネスモデル、Micro Finance Modelの調査
- 水システム導入の成功例として日本モデルの分析
- 新しいモデルに対する、ブルキナファソの財政、社会・経済、衛生・環境面からの政策シナリオの評価

(2)2011年10月29日にWorkshop on Application and diffusion strategy of Sustainable Sanitationを北海道大学工学部アカデミックラウンジで開催した。本ワークショップは、プロジェクトの協力者・理解者になっていただきたい各種専門家(BOP ビジネス、NGO、国際協力などの経験および知見をもつ方々)を招き、社会実装のための戦略・モデルについて議論するために開催された。

理解者・協力者になっていただきたい方(5名)、プロジェクトメンバーおよび学生(17名)の合計22名が参加した。ここでは、①プロジェクトの説明、ビジネスモデル(案)のコンセプト説明、②水・衛生施設の社会実装の方法について、そのビジネスモデルについての議論を行った。今後はFriends of SATREPS上および定期的なワークショップにおいて議論を継続していくことが合意された。

(2) サニテーション要素技術開発チーム

①研究のねらい

本研究チームは農村モデルに用いる

(1) 低コストコンポスト型トイレの設計法の確立，グローバルは資材調達可能性の検討を実施する．また，日本国内において分離回収した尿を対象に

(2) 尿の処理，栄養塩の回収法の検討

も行う．

②研究実施方法

(2-1) 低コストコンポスト型トイレの設計法の確立，現地調達資材利用可能性の検討

室内実験により，コンポスト化反応を円滑に進めるために必要な水分管理法，累積糞便処理量と必要攪拌力の関係の実測を行い，トイレ容量の設計方針を定める．低コスト化のもう一つの要因に，使用するマトリックスがあげられる．現地入手が容易なマトリックス（稲藁，とうもろこしの茎，小麦の茎，ココナツの殻，綿花の茎等）の利用可能性を，コンポスト化反応装置による反応速度の測定により検討する．また，実証実験結果をもとに，水分管理，病原微生物管理の観点から，装置容量設計法の見直しを行う．また，トイレ内での病原微生物の不活化メカニズムに関する知見を集積し，かつ病原微生物の不活化を促進するための手法を確立する．具体的には，既に大腸菌で実証済みの石灰投入法を検討し，石灰投入による促進のメカニズムを解明する．

(2-2) 尿の処理，栄養塩の回収法の検討（日本のみで実施）

尿の処理に関する検討では，1. 体積の減少（濃縮），2. 窒素・リンの回収，3. 医薬品等の処理の3項目が必要である．これら3項目について，日本国内において実験室規模の実験を行う．体積の減少法については，布等の媒体を用いた水分蒸発法と電気透析法について検討する．窒素・リンの回収法では尿から直接回収の方法を検討する．医薬品等の処理では電解法を検討する．

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 低コスト型コンポストトイレの試作機を北大にて作成し，性能評価を実施．マトリックス 40L で毎日 1kg の糞便をコンポスト化可能であることを実証．
- 北大で作成した試作機の費用は約 10,700 円（約 110 ユーロ）を達成．
- パイロットサイトにおいて，最初に設置したコンポストトイレ（しゃがみ式）のフィードバックを受けて，1 つの改良案として腰かけ式モデルを提供し，モデル改良のサイクルを 1 回まわすことができた．
- インターフェイスデザインを含めたブルキナファソ向けコンポストトイレのデザイン方法について基本機能および要求仕様の観点から検討すべき項目の整理を行った．ブルキナファソにて容易に入手可能なコンポスト反応用マトリックスとしてソルガム，ミレット等からの農業廃棄物の利用可能性を評価．
- コンポスト取り出し時に石灰投入することが病原菌不活化に有効であることを確認し，リスク評価の観点からコンポストトイレ 1 台あたりの石灰投入量を決定した．
- 石灰のコンポストトイレ中における混合特性を評価し，適切な投入法と反応時間を定めた．
- パイロットプラント用のコンポストトイレを設計した．
- コンポスト過程におけるプロトゾアならびに寄生虫卵の不活化速度の実測を行った．
- 取り出し後のコンポストの熟成について検討し，約 1 週間前後の熟成で発芽阻害がなくなるを実証した．
- コンポストの有機物特性について検討し，トイレ利用期間からフミン酸の蓄積と腐植化が起こることを確認．
- コンポスト肥効性について検討し，窒素肥効率は 20%，リン肥効率は 100% と見積もられ，コンポストのリン供給能力が高いことを実証．
- サヘル気候条件における尿貯留時の窒素成分と病原微生物の消長に関する実験を行った．
- 国内のみで実施している，尿の処理，栄養塩の回収に関する研究では
 - 自然エネルギーを用いた尿の濃縮法：装置設計法がおおよそ確立された
 - 尿中窒素から緩効性窒素肥料（ウレアホルム）を作成する方法を開発し，特許申請した．生成

結晶の構造同定を行った。

- 尿中窒素とホルムアルデヒドの混合比とウレアホルム生成の量論，反応速度の関係を得た。
- 尿中リンを貝殻系カルシウムを用いて，結晶化させる方法を開発し，結晶構造解析の結果，DCDPの生成が確認された。
- 貝殻系カルシウムの必要添加量とリン回収量の関係を得た。
- 尿中医薬品の処理法として電解酸化法の有用性を確認した。
- 電解酸化法の装置設計法（作用極，対極の面積，電極間距離，装置容量）を開発した。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

これまでの workshop においてこれまで日本側で実施してきた，コンポストトイレの機能（有機物分解特性，水分移動特性，窒素挙動，病原微生物不活化機構，医薬品分解機構）に関する研究成果を共有した。また，コンポスト化反応速度測定装置，コンポストトイレ攪拌力測定装置を日本より移送した。また，2iE の技術員を日本国に 2 名招き，大腸菌不活化速度測定法（寒天培地），コンポスト分析法（pH，EC，Total C，Total N）の技術移転を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合，その内容と展開状況（あれば） 特になし。

（3）農村モデル用雑排水要素技術開発チーム

①研究のねらい

本研究チームは農村モデルに用いる

(1) し尿以外の雑排水を処理，再生利用するための，自然処理システムの合理的設計法の開発を実施する。

②研究実施方法

開発途上国における雑排水の発生量や汚濁負荷についてはほとんど知見がない。有機物，栄養塩類などのデータも必要であるが，特に病原体がどの程度含まれているかは，雑排水の処理システムや再利用方法に大きな影響を与える。例えば，乳幼児や家畜の排せつ物の取り扱い如何によっては，雑排水中にも多量の病原体が存在する可能性があり，雑排水処理水を農地に散水すると地下水の汚染を引き起こす恐れがある。開発途上国の農村部において，ある程度給水が確保されている場合，どのような水量，水質の雑排水が発生しているかを確認するとともに，生活習慣や水使用量の違いによる特性を抽出する。また，雑排水中の感染性微生物の存在について調査を行う。

雑排水は処理後農業用灌漑用水として利用するため，従来の処理において処理対象であったBOD，窒素，リン成分除去よりは，農作物に影響を及ぼすことが知られている界面活性物質除去，灌漑施設の閉塞防止，病原リスク低減が処理の目的となるのが，従来の処理法開発とは異なる点である。このため，農村モデルでは薬等を用いた維持管理の労力の少ない簡単な処理システム（雑排水マイクロ処理・再利用システム）を開発する。特に農村モデルでは水使用量が一人一日約30～50Lと極めて少ないことから，戸別の従来型と比較して極めて小型のシステムとなる。利用可能な資材，コスト，ならびに社会経済条件を考慮し，実験により得られる反応速度式をもとに合理的な設計法を提案する。

雑排水処理に関する検討は，日本国内における実験室規模実験，パイロットスケール実験，ならびに2iEにおけるパイロットスケール実験により実施する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 農業用灌漑用水としての雑排水の再利用におけるリスクファクター（人：病原微生物，作物：界面活性剤，灌漑システム：BDOC）を同定した。
- 実験室規模の傾斜土層方式による雑排水処理装置を用いて，処理実験を行い，有機物，LAS，指標微生物（バクテリア：E. Coli，ウイルス：MS2 フェージ）の処理特性を測定し，装置設計法確立の

基礎となるこれらの除去モデルを定めた。LAS 濃度低減に関する反応モデルを構築し、傾斜土層サイズと処理水質の関係の推算から処理ユニットを設計する方法を確立した。

- パイロットプラント用の傾斜土層方式の雑排水処理装置を設計した。
- 傾斜土層処理装置内で植物阻害要因を引き起こす洗濯洗剤中の LAS が分解され、処理後の水質は植物成長阻害がないことを確認した。
- 篩分けの手間が少ない幅広粒径の土壌を用いた場合についての病原微生物の除去特性を把握した。
- 設計および O&M マニュアルを検討するための基礎情報として、土壌粒径と性能についての知見を整理することができた。
- Kologoudiesse 村において 5 つのコンセッションを対象に、飲料水使用量、雑排水発生量とその発生源寄与と濃度を測定し、雑排水発生基礎数値（井戸水使用量：21.5–41.3L/capita/day, 雑排水発生量：8.4–16.0L/capita/day, 雑排水発生源：水浴びが全体の 70%程度を占める）、ならびに水質と指標微生物濃度を得た。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
workshop においてこれまで日本側で実施してきた、土壌処理に関する研究成果を共有した。また、2iE の技術員を日本国に 2 名招き、植物毒性評価（発芽試験）、水質分析(COD, TP)の技術移転を行った。

また、2011 年 10 月から約 2 ヶ月間、2iE の David Monienga が来日し、北大で研修を行った。彼は、ブルキナファソで入手した石鹼および洗剤を用い、CN コーダーを用いた炭素、ICP-AES を用いた陽イオン分析、HACH システムを用いたリン分析、および発芽試験による植物生長阻害試験を行い、その技術を習得した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）
特になし。

（４）都市モデル用雑排水要素技術開発チーム

①研究のねらい

本研究チームは都市モデルに用いる

- （１） 地域素材を用いたコミュニティスケールのオキシデーションディッチ、安定化池、仕上げ池雑排水処理／再生利用（灌漑利用）ユニットの開発
- （２） 小口径雑排水集水システム設計手法の確立

を実施する。

特に、サブサハラの都市部における水と衛生の改善のためには、し尿の適正な処理・再利用とともに、今後の水道の普及とともに増大する雑排水対策が必要である。高速酸化池はサブサハラの気候に適した簡易な処理法であるが、処理水中に高濃度の藻類が含まれるため、都市内で処理水を再利用する場合さまざまな障害を起こす可能性が高い。処理水中の藻類を除去することによって、再生水の用途が広がるとともに、除去した藻類からメタンガス、栄養塩類といった資源を回収することが可能となる。

本研究では、高速酸化池処理水から簡易な方法で藻類を高効率に回収する技術を開発するとともに、除去した藻類から有価資源を回収する技術を開発する。

②研究実施方法

通常、酸化池処理水からの藻類除去には凝集剤を添加した微細気泡浮上分離法が用いられるが、コストや適正技術の面からサブサハラにおいての適用性は低い。本研究では活性汚泥法のように、沈殿池にて沈殿した藻類を酸化池に返送する方法で凝集性の高い藻類を選択的に酸化池内で増殖させる「活性藻類法」を開発する。ベンチスケール実験装置を製作し、運転を行うとともに、Ouagadougou の 2iE 内にてパイロットプラントを建設し、その性能の実証と装置設計へのフィードバックを得る。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 高速沈降性藻類池（High Rate Settleable Algae Pond：HRSAP HRSAP）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処理水質の向上と固形物回収率の効率化を確認した。
- ベンチスケール実験により、洗剤成分である LAS の分解速度に関する情報を得た。

- また、藻類が共存する場における紫外線による病原バクテリアの不活化速度を得た。
 - 藻類の沈降特性・処理水性状と SRT の関係を得、装置の設計条件を設定し、パイロット試験装置を設計した。
 - 2iE における HRAP パイロットプラントによる実験は、電気設備の実設計の遅れや、現地の事情に合わせた改良のため進捗が遅れていたが、パイロットプラントが完成し、研究期間内で、建設、維持管理マニュアル作成が完了する予定である。
 - HRAP によって、都市農業に適した点滴灌漑をおこなうことが可能な処理水質を得るためのベンチスケール実験が予定通り行われている。今後は、紫外線に加え、自然死滅の効果も含んだ消毒効果の評価について、大腸菌やウイルスを対象に実施する。
- ④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
HRSAP ベンチスケール実験装置の運転、解析にあたっては 2iE の学生を北海道大学工学院の博士課程に在学してもらい、共同で実施している。
- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）
特になし。

（5）用水要素技術開発チーム

①研究のねらい

本研究チームは農村モデルに用いる

- (1) 井戸水を水源とする太陽光消毒・低圧膜ろ過ユニットの開発と合理的設計法の確立
- (2) 地下水中での感染性微生物の挙動を考慮したリスク評価手法の確立

を実施する。

②研究実施方法

東京大学において、プロセス開発の基礎的な実験を行い、現地での実験を 2iE が行う。

(1) 井戸水を水源とする太陽光消毒・低圧膜ろ過ユニットの開発と合理的設計法の確立

無電力で飲料用途のみの水を処理する太陽光消毒・小型膜ろ過装置を開発する。そのために、事前調査、装置開発を実施する。

事前調査では、地下水を主要な水源として想定していることから、地下水の現状について文献調査を含め、汚染状況や利用可能水量、必要となる処理の程度などを考えるために地下水調査を行う。深井戸については、花崗岩の分布をもとにフッ素濃度の調査を行い、深井戸水飲用による健康リスク評価を行う。

装置開発では、現地の予備調査に基づき、飲料水は深井戸または浅井戸の井戸水とし、ブルキナファソ政府の飲料水供給計画に従い、半径 300m 以内に住む 300 人に飲料水を供給するためのシステムを考える。飲料以外の水は各戸にある井戸水などを用いることとし、飲料水は各戸に持ち帰ることとするため、給水施設は建設しない。本研究は SODIS を大型化し、給水拠点となる井戸付近には常に飲料水が得られるようにする。さらに、セラミックろ過と組み合わせることで、感染性微生物の低減を図る。ここでは太陽光により加温された 60°C~70°C に加温された水をろ過するため、低い圧力での操作が可能であり、ハンドポンプなど人力によって供給される圧力により、膜ろ過および逆洗工程を一日の限られた時間のみ行う装置を考えている。このような装置では、膜ろ過を連続使用する場合において発生する深刻な膜ファウリングは発生しないことが予想され、適正な膜透過フラックスの設定法が主要な検討課題となる。本方式では、太陽光による消毒と膜によるろ過を組み合わせることで、より高い微生物の除去率を達成することを目指す。膜ろ過は装置の小型化が容易であり、井戸ごとの分散型処理が可能になることも大きな利点となる。本研究では、物理的な強度が非常に高いセラミック膜を用いて上記のような運転が可能となる小型膜ろ過装置を作成する。無電力型小型セラミック膜ろ過装置を作成し、事前調査結果をもとに試料水を作成（バクテリオファージの添加も含める）し、間欠ろ過実験に基づく基礎的検討を行う。上記のハンドポンプ使用低圧膜分離ユニットでは薬品の使用や電力供給を前提としていない。そのため、従来の薬剤等を用いた消毒とは病原微生物の不活化機構や用水運搬・貯留時の挙動が異なる

こととなり、どのような形で安全性が担保できるかについての評価手法を新たに確立する必要がある。
 (2) 地下水中での感染性微生物の挙動を考慮したリスク評価手法の確立

西アフリカ地域では、トイレの使用後水で体を洗う習慣がある。このことは、トイレが水供給点をか
 ねる場合があり、トイレが井戸の近くに設置される傾向がある。このため、地下水を媒介する井戸汚染
 を防ぐための方策、たとえば飲料水の給水拠点を選んで、飲料水はそこで処理して、各戸に持ち帰る方
 法を提案する。この場合も、各戸の畑に散布した雑用水から、地下水の汚染が起こらないよう、地下水
 の流動を考慮したリスクの評価手法について検討する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 複数水源（深井戸水、浅井戸水、地表水（ため池）、家庭内の水タンク）の水質を把握した結果、
 (1)地下水は硝酸性窒素濃度が高い、(2)地表水（ダム湖水）は有機物（DOC）濃度と鉄・アルミな
 どの金属濃度が高いことが判明。地下水中の硝酸性窒素濃度はセラミック濾過では除去できない
 ため、水質基準を超えた地下水は飲料水として利用できないことがあきらかとなった。
- 太陽光消毒+膜分離システムについて、水温と膜フラックスの関係を実測し、高温の水をろ過す
 る本システムではろ過圧を小さくできることを確認。
- 現地で開発されているセラミックポットフィルターについて、その指標微生物ならびにヒ素の除
 去特性を明らかにした。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

日本側からは、日本のセラミック膜を用いた基礎実験の結果、並びに太陽熱を利用した膜ろ過システ
 ムの基本概念について説明を行った。また、2iE 側からは、セラミックポットを用いたろ過について、
 ブルキナファソでの生産施設が稼働を始めたことの説明があった。日本側が行った CPF ろ過実験の結果
 を相手国カウンターパートに送付し、実験の方法や結果の解釈法について、情報を提供した。また、2iE
 側からは、セラミックポットを用いたろ過について、実験を始めたことの説明があった。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

乾季と雨季とでは、地下水の水位が大きく異なっており、乾季には地表水がほとんどなくなるため、
 涵養源が喪失する。一方、比較的深い帯水層は、乾季でも水を蓄えており、それらの帯水層に関する詳
 しい情報を入手する必要がある。

セラミックポットフィルター（CPF）の透過水量は想定していたよりも低く、汚染が進んだ場合はさ
 らに透過性が低下する。このため、CPF1 台で一日 6 時間ろ過した場合に得られる水量は 1 L 程度となる。
 今後は、CPF の透過性を高め、また汚染を防ぐ方策についてさらに検討が必要である。

(6) 農業要素技術開発チーム

①研究のねらい

本研究チームは農村モデルで必要となる

- (1) 尿・コンポスト中塩類・医薬品の土壌中挙動の解明による蓄積制御法（水管理・クリーンアップ作
 物）開発
- (2) 水・衛生システム+農業+流通+金融・財政+環境面からの政策・技術シナリオ作成と評価によ
 る新ビジネスモデル開発のうちの農業関連技術シナリオの作成・評価を実施する。

②研究実施方法

本農村モデルでは、雑排水の処理水を尿の希釈用に用いて、農地への灌漑を行う。サヘル地域では降
 水量に較べて蒸発散量が多いため、尿の利用に伴う塩類の蓄積が懸念される。水管理による土壌中の塩
 類の洗浄法や塩分吸収能力を有する作物、耐塩性の高い作物について、その市場性を検討することによ
 り、適切な水管理と作物選択を行う。また、農作物の市場性、輪作体系等の農業技術と衛生技術の橋渡

しを行う。

このため、最初に、コンポストの農業生産への有効性の確認と雑排水処理水灌漑利用のための処理レベル設定といった衛生工学的課題と農業との関連を検討する。また、尿の利用方法と塩分・医薬品等の土壌蓄積、作物移行メカニズムの解明といった課題に取り組む。また、換金性の高い農作物など農業経済的側面の調査を行い、最終的には収入・塩分管理・資源制約（水、栄養塩）を考慮した輪作体系の構築へと進む。

モデル試験地における病原菌に対する問題と土壌の塩類集積による問題が主要な環境リスクになるため、対象作物の種類や作付け組み合わせを現地で予備的に検討した後に、複数年に亘る現地実証モデル実験とモニタリングを行い、問題と課題を分析し、大学や政府との連携のもとにコミュニティーの住民が自立的・持続的に対応可能な社会システムの具体的なモデルを提案する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 雑排水由来の物質の中で洗濯洗剤由来界面活性剤（LAS）の植物阻害リスクが高いことを確認
- LAS の植物生育阻害に対する直接的な無影響濃度は 10 mg/L と推定された
- 土壌栽培系においては LAS の分解が土壌中でおこり、灌漑水中 LAS が 0.2g/L 以下では植物生育を阻害しない
- 土壌栽培系において、根粒菌の窒素固定能の LAS 感受性は植物生育や根粒感染力よりも高いが、灌漑水中 LAS が 0.06g/L 以下では窒素固定能に影響を与えない。
- 尿の過剰投入を繰り返しても、1 年スケール（3 回連続栽培）では植物生育への影響は見られないが、余剰塩類の土壌蓄積は顕著に観察された。
- パイロットサイトでの尿と再生雑排水を使用した栽培においては、Na を含めカチオン類の投入は尿よりも雑排水に起因する可能性が高い
- パイロットサイトでの雨季野菜栽培後の土壌表層では、Na 蓄積および SAR 増加は見られなかったが、一部でカチオン類の蓄積（EC の増加）が確認された
- 雨季に耐塩性および吸肥能力が高いソルガム栽培を輪作体系に組み込むことで、雨水洗浄およびソルガムによる除塩を期待できるモデルを作った。また、この体系から得られる収入の概算値を得た。
- ワガドゥグ雨季を想定したソルガム栽培をポット試験スケールで実施すると、Na は主に雨水洗浄により土壌から取り除かれた。
- SAR が 1 - 6 の Na 蓄積の低い土壌では、Ca 剤添加による土壌透水性改善効果は高くない
- ブルキナファソにおける換金作物情報を得た
- 現地洗剤成分の測定した。
- 土壌-植物系での抗マラリア薬の挙動を明らかにした。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

国際協力機構（JICA）地域特設集団研修コース：POLICYMAKING OF WATER AND ENVIRONMENT MANAGEMENT IN MIDDLE EAST AND AFRICAN COUNTRIES にブルキナファソ国枠を 2009 年から設定し、毎年 2 名の研修生を 2iE と農業水資源省から受け入れている。

2iE の研究員を 2 名日本国に招き、水質分析（界面活性剤測定法、全リン測定）、土壌分析（土壌 pH・EC 測定法、保水性試験、微量物質抽出法）、植物栽培法（ポット栽培、発芽処理方法）、病原菌検出法（PCR 法）の技術移転を行った。

また、現地にて 2iE の技術員および技士に植物栽培法（ポット栽培）の技術移転を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

これまでの調査により、ブルキナファソ農村域において水使用量は一日一人あたり 30-50L と少量であることが分かっており、再利用可能な雑排水はそれより少ないと考えられる。そのため、雑排水処理装置の簡易化が求められているが、処理水の浄化基準は定まっていない。そこで、雑排水の農業再利用時の浄化基準を定めることを目標とし、各種雑排水の植物毒性を事前に日本国内で評価した。結果は 3.2 現時点での成果の項を参照願いたい。

これまでの調査により、現地では抗マラリア薬の消費が多いことが明らかになった。医薬品の一部は

尿中から排出されることから、尿の農業再利用の際には尿中由来の抗マラリア薬が農地に混入することが想定される。そこで本研究では尿中由来抗マラリア薬の農地での動態を調査することを目的に、土壌-植物系内での医薬品の挙動を調査した。その結果、クロロキン、キニーネ、ピリメタミン、サルファドキシンは土壌中での分解性が高かったが、ドキシサイクリン、アルテスネート、メフロキン、ルメファントリンは土壌中での分解性が悪かった。土壌中での分解性が悪かった医薬品のうち、ドキシサイクリン、アルテスネート、メフロキンは植物体内への移行が検出されたが、ルメファントリンは植物体地上部への移行が検出されなかった。一般的に土壌分解性の低い医薬品が植物体地上部に移行されることが報告されているが、ルメファントリンのように土壌分解性が低いもので植物体地上部に移行しにくい物質についての知見は少ない。ルメファントリンが植物体地上部に移行しなかった原因の一つとして、疎水性の高く、土壌表面との吸着あるいは根への吸着が考えられるが、さらなる検証が必要である。

また、滅菌土壌を使用して同様に土壌分解性の試験を行ったところ、医薬品分解が著しく低下した。さらに、コンポストを追加した土壌において同様の試験を行ったところ、医薬品の分解が促進された。以上の結果より、抗マラリア薬の土壌分解は生物的反応によるものが起因する可能性が示唆され、コンポスト添加により生物活性が高まり、抗マラリア薬の分解が促進されたと考えられた。

(7) 農村モデル実証実験チーム

①研究のねらい

本研究チームは実証実験により農村モデルを次の観点から評価することを目的とする。

- (1) 物理的な処理性能
- (2) 社会的受容性
- (3) コンポスト・尿・雑排水の農業側性能
- (4) 経済性

また、これらの成果を要素研究にフィードバックするための情報整理を行う。

②研究実施方法

実証実験施設の試作後、ブルキナファソ国内に設置し、システムとしての衛生工学的評価ならびにアンケートによる受容性の評価を行い、技術改善点の洗い出しを行う。

実証実験では、コンポスト化反応の制御に重要な有機物の安定化、水分収支、病原微生物不活化というコンポストトイレの基本性能の確認を行う。雑排水処理に関して、負荷変動への適用性を把握する。利用者へのアンケートによるトイレ、コンポスト、再生水の受容性を把握し、要素技術の問題点を明らかにする。

また、コンポスト、尿、雑排水の農業利用ではその肥効性の実証ならびに塩分対策の有用性を検討することも重要な項目である。なお、実証実験場所の選定が極めて重要であるとの判断から、実証実験場所、実証実験施設の現地生産可能性の検討等の実証実験準備と新システムの事前評価に十分な時間を用意する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- パイロットファミリーの選定と、世帯別の詳細調査を完了
- インフォメーションワークショップの開催（2011年度）
12月19日 Ziniare Kolgonguesse 村（プル語）、12月20日 Ziniare Barkoundouba 村（モシ語）、12月21日 Ouagadougou Kamboinse 村（モシ語）でワークショップを開催した。
- パイロット実験開始
 - コンポストトイレは5月までに3村6世帯に設置を終え、トレーニングワークショップを実施した後、本格的な利用を開始した。
 - 傾斜土層および尿収集設備を兼ねたシャワールームも同様に設置を終え、トレーニングワークショップ（2012年4月5, 6, 10日）を実施した後、本格的な利用を開始した。あわせて、傾斜土層の流入水および処理水のサンプリングを開始した。
 - 菜園は7月までに3村6世帯の全てに設置し、現地研究者による実演を各家庭で随時行いながら、野菜栽培を開始した。

- 各家庭でのモニタリングおよび聞き取り調査を行った。
- 傾斜土層処理水および保存尿の水質調査を行った
- インフラの使用方法やメンテナンスの方法を住民に示すことを目的としたトレーニングワークショップの開催（2012年度）
4月5・6・10日には雑排水について、5月8～10日にはコンポスト・トイレについて、そして10月24日には腰掛けるタイプのトイレについてであった。インフラの使用方法やメンテナンスの方法を住民に示すことを目的とした
- 導入インパクトを評価する手法として、生活時間調査を試行し、次年度以降の調査実施計画を作成した。
- パイロットファミリーにおける導入インパクトの評価について、導入1～2ヶ月時点での世帯内役割分担に関するインタビュー結果を得た。今後、観察および聞き取りを続けて、世帯内の労働分配および価値(収入)分配についても分析を行う。

- ④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
2010年3月、9月、2011年3月に実施した、workshopにおいてこれまで日本側で実施してきた、し尿と雑排水に関する研究成果を共有した。
- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）
特になし。

（8）都市モデル実証実験チーム

①研究のねらい

本研究チームは実証実験により都市モデルを次の観点から評価することを目的とする。

- (1) 物理的な処理性能
- (2) 社会的受容性
- (3) 雑排水処理水の農業側性能
- (4) 経済性

②研究実施方法

2iE 新たに建設するサステイナブルキャンパスに本雑排水処理・資源回収システムを実証実験装置として建設・運転し、システムとしての衛生工学的評価ならびにアンケートによる受容性の評価を行い、技術改善点の洗い出しを行う。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 実証実験プラントの設計基礎数値を得た
- 2iEの学生128名にアンケートを行い、雑排水の発生量を調査した。食堂や洗濯室の使用水を含めた平均原単位は114L/人・日であったが、学生寮のみの排水については81 L/人・日であった。
- 実証実験設備を建設し、実証実験を開始した。

- ④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
2010年3月、9月、2011年3月に実施した、workshopにおいてこれまで日本側で実施してきた、安定化池に関する研究成果を共有した。

- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）
特になし。

(9) キャパシティデベロップメントチーム

①研究のねらい

本研究チームは、共同研究を通じた研究者養成、若手研究者の日本研修、相互交流、水と衛生に関する教育センター組織化、水と衛生に関する各種グループ研修システム提案、技術者研修コース提案、博士課程プログラム提案、国際シンポジウム開催、セミナー、ワークショップ開催を目的とする。

②研究実施方法

教育プログラムの提案では、北海道大学で実施中のサステナビリティ学教育プログラムとの連携、インターネットを利用した遠隔講義の利用を検討し、総合的な博士課程教育プログラムの構築を検討する。また、2iEにおける学位授与のための副査等を日本側研究者が担当するなどの方策を検討する。

ワークショップは年間2回、国際シンポジウムを年1回開催する。世界水フォーラムのような会議において活動を行い、本プロジェクトの成果、基本的考え方の普及の機会とする。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- 共同研究を通じた研究者養成
- 講義共有の実施：北海道大学が実施しているサステナビリティ学に関する教育プログラム形成事業と連動し、遠隔講義システムを利用した講義を実施。
- 若手研究者の日本研修、相互交流
 - 国費留学生として2名選考，2010年10月入学
 - 若手研究者北大研修：2010年度：2名，2011年度 2名，2012年度 1名
- 国際シンポジウム開催：2010年9月パリにて国際シンポジウム開催，2011年10月北大にて国際シンポジウム開催，2011年10月インドネシア・バンドンにてワークショップ開催
- セミナー，ワークショップ開催：ワガドグにて4回開催
- 第6回世界水フォーラムで3つの活動を実施
- ブルキナファソ住民を対象としたワークショップ開催（3回）

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む） 特になし。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合，その内容と展開状況（あれば） 特になし。

(10) マニュアル作成チーム

①研究のねらい

本研究チームは

- (1) 農村モデル導入・設計・維持管理マニュアル
- (2) 都市モデル導入・設計・維持管理マニュアル
- (3) 実装にむけてのロードマップ
- (4) 地域実情に即した最適システム選定

を実施する。

②研究実施方法

要素技術開発，実証実験結果を基礎とし，技術のイノベーションサイクルをまわすごとにマニュアルを改良していく。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

現在はマニュアル作成の段階にない。

- ④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
3月、9月に実施した、workshopにおいてこれまで日本側で実施してきた、水と衛生技術に関する研究成果を共有した。
- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）
特になし。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数（国内 1件、国際 6件）
- ② 本プロジェクト期間累積件数（国内 2件、海外 18件）
- ③ 論文詳細情報
（国内（和文）誌1件、国際（欧文）誌18件）
 - (1) 牛島 健, 佐藤 伶, Loïc LERAY, 土方 野分, 伊藤 竜生, 船水 尚行: 西アフリカ農村世帯のマテリアルフロー分析に基づく尿尿資源循環利用方策の検討, 流域圏学会 (in press)
 - (2) Muhammad Masoom Pahore, Ryusei Ito, Naoyuki Funamizu: Assessment of water evaporation rate from synthetic urine using an onsite volume reduction system, *Water Science and Technology* (in press)
 - (3) Ushijima K, Ito K, Ito R, Funamizu N: Greywater Treatment By Slanted Soil System, *Ecological Engineering*, 50:62-68, 2013
 - (4) 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, *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 7(1):120-126, 2013
 - (5) Ken USHIJIMA, Nowaki HIJIKATA, Ryusei ITO and Naoyuki FUNAMIZU: Effect Estimation of Dry-Toilet Application for Rural Farmer Family in Burkina Faso, *Journal of Arid Land Studies*, 22(1):99-102, 2012
 - (6) Masahiro MURAKAMI and Akihiro NISHIYAMA, Creeping Environment Problem of Rapid Growth of Water Hyacinth in the Shallow Reservoir of Ishiduchi with Influence of Global Warming at Warm Temperate Region in Japan, *Journal of Water Policy and Integrated River Basin Management*, Vol.1, No.1, pp.21-29, 2012
 - (7) Mokhtar Guizani, Yosuke Nogoshi, Fahmi Ben Fredj, Junkyu Han, Hiroko Isodab and Naoyuki Funamizu Heat shock protein 47 stress responses in Chinese hamster ovary cells exposed to raw and reclaimed wastewater, *J. Environ. Monit.*, 2012, 14, 492 -498
 - (8) Moustapha Sene, Nowaki Hijikata, Ken Ushijima, Naoyuki Funamizu, , Adequate human urine application pattern for agriculture, *International. Research. Journal of Agriculture Science and Soil Science*, 2(1): pp.038-045, 2012
 - (9) Muhammad Masoom Pahore, K. Ushijima, R. Ito, N. Funamizu: Fate of nitrogen during volume reduction of human urine using an onsite volume reduction system, *Environmental Technology*, DOI: 10.1080/09593330.2011.560192
 - (10) Mokhtar Guizani, Hideaki Kato and Naoyuki Funamizu: Assessing the removal potential of soil-aquifer treatment system (soil column) for endotoxin. Mokhtar Guizani, Hideaki Kato and Naoyuki Funamizu. *J. Environ. Monit.*, vol.13, NO.6, pp.1716-1722, 2011
 - (11) Muhammad Masoom Pahore, R. Ito, N. Funamizu: Performance evaluation of onsite volume reduction system with synthetic urine using water transport model, *Environmental Technology*, 32(9), pp.953-970, 2011, DOI: 10.1080/09593330.2010.521954
 - (12) Guizani M., Dhahbi M. and N. Funamizu: Characterization of endotoxic indicative organic matter (2-keto-3-deoxyoctulosonic acid) in raw and biologically treated domestic wastewater, *Water Research* Vol.45 No.1, pp.155-162, 2011
 - (13) 牛島健, 吉川宙希, A.P.Huelgas, 伊藤竜生, 船水尚行: 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, Vol.47, pp. 2010
- (14) Pahore Masoom, R.Itoh, N.Funamizu: Rational design of an onsite volume reduction system for source-separated urine, *Environmental Technology*, vol.31, No.4, 399-408(2010)
- (15) Huelgas, A., Nagata, H., Funamizu N.: Flat-plate submerged membrane bioreactor for the treatment of higher-load graywater, *Desalination* 250, 162-166(2010)
- (16) Guizani M., Dhahbi M. and N.Funamizu: Survey on LPS Endotoxin in rejected water from sludge treatment facility, *J. Environ. Monit.* 2009,**11**, 1935 - 1941, DOI: 10.1039/b911165d
- (17) Guizani M., Dhahbi M. and N.Funamizu: Assessment of endotoxin activity in wastewater treatment plants, *J. Environ. Monit.*, vol.11, 1421-1427(2009). DOI:10.1039/b901879d
- (18) 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, Issue 3, pp.1310-1314 (2009)
- (19) Huelgas, A., Nagata, H., Funamizu Aileen: Effect of organic loading rate for onsite treatment of kitchen sink wastewater using subMBR. *ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE*, Vol. 26, Issue: 1, pp.15-23(2009)
- (20) Huelgas, A., Nakajima, M., Nagata, H., Funamizu, N. Comparison between treatment of kitchen sink wastewater and mixture of kitchen sink and washing machine wastewaters. *Environmental Technology*. *ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, Vol.30, Issue:1, pp. 111-117(2009)

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0件、海外 0件、特許出願した発明数 0件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、海外 0件)

4. プロジェクト実施体制

(1) サニテーション要素技術開発チーム

- ① 研究者グループリーダー名
日本側:伊藤 竜生(北海道大学大学院工学研究院・助教)
相手国側:Amadou Maiga (2iE・Professor)
- ② 研究項目
- 低コストコンポストトイレの開発
 - 尿の処理と栄養塩の回収(国内のみ)

(2) 農村モデル用雑排水要素技術開発チーム

- ① 研究者グループリーダー名
日本側:牛島 健(北海道大学大学院工学研究院・特任助教)
相手国側:Ynoussa Maiga (2iE・Researcher)
- ② 研究項目
- 雑排水処理技術(土壌処理)

(3) 都市モデル用雑排水要素技術開発チーム

- ① 研究者グループリーダー名
日本側:高橋 正宏(北海道大学大学院工学研究院・教授)
相手国側:Ynoussa Maiga (2iE・Researcher)
- ② 研究項目
- 地域素材を用いたコミュニティスケールのオキシデーションディッチ, 安定化池, 仕上げ池雑排水処理 / 再生利用(灌漑利用)ユニットの開発
 - 小口径雑排水集水システム設計手法の確立

(4) 用水要素技術開発チーム

- ① 研究者グループリーダー名
日本側:滝沢 智(東京大学大学院工学系研究科・教授)
相手国側:Yacouba Konate (2iE・Researcher)

② 研究項目

- 太陽熱利用消毒＋膜ろ過用水技術
- 地下水流動を加味した健康リスク評価法

(5) 農業要素技術開発チーム

① 研究者グループリーダー名

日本側:土方 野分(北海道大学大学院工学研究院・博士研究員)

相手国側: Mariam Sou (2iE・Lecturer)

② 研究項目

- 土壌への塩蓄積を考慮した水管理と適切な作物の選択
- 尿・コンポストの流通系形成に必要な要因整理

(6) 社会化要素技術開発チーム

① 研究者グループリーダー名

日本側:鍋島 孝子(北海道大学メディアコミュニケーション研究院・准教授)

相手国側: Mariam Sou (2iE・Lecturer)

② 研究項目

- 農村モデル:従来援助策評価
- 農村モデル:財政的, 制度的要因の整理
- 農村モデル維持管理システムの要因整理
- 都市モデル従来援助策評価
- 都市モデル財政的, 制度的要因の整理
- 都市モデル維持管理システムの要因整理
- コミュニティリーダー養成のための workshop
- 実証実験実施協力機関の組織化
- 社会化:メディア, 学校, 女性団体
- 財政, 制度案作成
- 維持管理グループ組織化案作成

(7) 農村モデル実証実験チーム

① 研究者グループリーダー名

日本側:伊藤 竜生(北海道大学大学院工学研究院・助教)

相手国側: Dr Bologo (2iE・Lecturer)

② 研究項目

- 実証実験準備
- 新システム事前評価
- 性能評価
- 社会的受容性評価
- コンポスト, 尿, 雑排水農業側評価
- 経済的評価

(8) 都市モデル実証実験チーム

① 研究者グループリーダー名

日本側:高橋 正宏(北海道大学大学院工学研究院・教授)

相手国側: Ynoussa Maiga (2iE・Professor)

② 研究項目

- 2iE 構内安定化池システム設計, 建設
- 雑排水処理システム性能評価
- 雑排水処理水農業評価

(9) キャパシティデベロップメントチーム

① 研究者グループリーダー名

日本側:船水 尚行(北海道大学大学院工学研究院・教授)

相手国側:Amadou Maiga (2iE・Professor)

② 研究項目

- 共同研究を通じた研究者養成
- 若手研究者の日本研修, 相互交流
- 水と衛生に関する教育センター組織化
- 水と衛生に関する各種グループ研修システム提案
- 技術者研修コース提案
- 博士課程プログラム提案
- 国際シンポジウム開催
- セミナー, ワークショップ開催

(10) マニュアル作成チーム

① 研究者グループリーダー名

日本側:船水 尚行(北海道大学大学院工学研究院・教授)

相手国側:Amadou Maiga (2iE・Professor)

② 研究項目

- 農村モデル導入・設計・維持管理マニュアル
- 都市モデル導入・設計・維持管理マニュアル
- 実装にむけてのロードマップ
- 地域実情に即した最適システム選定

以上