

# 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)

## 熱帯地域に適した水再利用技術の研究開発

(タイ)

平成 23 年度実施報告書

代表者：山本 和夫

東京大学 環境安全研究センター・教授

<平成 20 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施の概要

本プロジェクトは、タイ王国の研究機関と共同して水資源の脆弱性の解消と安全な水の確保に資する熱帯地域に適した水再利用技術の研究開発を行うことを目的とする。同時にODA事業として熱帯水再利用技術研究開発センターを設立して本研究開発成果の社会実装を目指し、さらに東南アジアを中心とした開発途上国での研究開発と維持管理やリスク管理を含めた人材養成を担うCOEセンターとなり、協力相手の研究開発能力の強化を図ることを目指している。

本プロジェクトでは、以下の4つの研究題目を設定している。

- (1) 熱帯地域における水再利用技術の開発・普及促進に係わる枠組み作り
- (2) 省エネルギー(あるいはエネルギー自立)分散型水再生利用のための新技術開発
- (3) 資源生産(あるいは地球温暖化ガス発生抑制)型水再生利用のための新技術開発
- (4) 地域水再利用のための効果的な管理・モニタリング手法の開発

このうち(1)については、タイ王国環境研究研修センター(ERTC)における水再利用研究センターの設立と水再利用ガイドラインの策定に向けたロードマップを作成し、それに基づいて活動を行っている。(2)および(3)では、タイ王国における水再生利用新技術開発のためのパイロットプラントやラボスケールのリアクターを設置し、実際に運転を行い、種々なデータを収集、蓄積した。それに先行して、国内では傾斜板挿入無酸素槽を有する膜分離活性汚泥法(itMBR)のベンチスケール実験を前年に引き続き実施し、データを収集した。(4)においては、リスク評価のための水試料、生体試料のサンプリングと分析を行った他、水質情報プラットフォームの整備を進め、DEQP、地方の環境部局とERTCと合同でこのプラットフォーム構築に関するワークショップを開催した。

平成23年度中に発生した大規模な洪水の影響により、(1)～(4)のすべての活動が当初の計画よりも遅延された。特に、(4)への影響は深刻であり、上記プロジェクト成果目標を達成するために、研究期間の半年間延長を要望している。一方、(4)に関連して緊急洪水水質調査を実施し、大規模洪水時に汚水の適切な管理を行うことが水系感染症の防止に有効であることを示した。これは、本プロジェクトの新たな成果であり、大きな社会的なインパクトが期待される。

## 2. 研究グループ別の実施内容

- (1) 熱帯地域における水再利用技術の開発・普及促進に係わる枠組み作り

### ① 研究のねらい

本研究プロジェクトの土台となる項目であり、本研究において開発された技術の普及および熱帯地域における水再利用技術の研究開発に必要なガイドライン等の設計を行う。また、水再生利用技術の開発能力の向上および普及促進の中心となる組織として、熱帯地域における水再利用研究開発センターを組織する。

### ② 研究実施方法

タイ王国環境研究研修センター(ERTC)に水再利用研究開発センターを設立し、熱帯地域における水再利用技術に関する情報集積、水再利用技術に関するガイドラインの作成、研修やセミナーを実施する。また、水再利用技術開発に資するタイ国内の大学等研究機関のネットワーキングを主体的に行うことなどが想定される。これにより、本研究の開発成果の社会実装を目指し、また、東南アジアを中心とした開発途上国での水再利用技術の研究開発と維持管理、リスク管理に係わる人材養成を行う。

### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【以下、平成22年度末】

ハード面の整備として、病原微生物実験室、Real-time PCR、ICP-MSをはじめとする分析機器が納入され使用可能な状態となった。これに合わせて、分子生物学的手法を用いた病原微生物分析、重金属分析に関する研修を行い、カウンターパートによる分析が可能となった。[1-1, 4-2]

水再利用技術と本プロジェクトに関する情報発信として、第8回東南アジア水環境シンポジウムを共催し、山本和夫教授がシンポジウム基調講演を行うとともに、本プロジェクトに関連した公募セッションを設けた。また、シンポジウムのサイドイベントとしてワークショップを2010年10月29日に主催し、プロジェクトの活動報告と日タイの研究機関と民間企業を講演者とした膜技術に関する講演会を行った [1-4]。

【以下、平成23年度末】

4月下旬～5月上旬にかけて行われた中間レビューの結果を受けて、水再利用研究センターの設立と水再利用ガイドラインの策定に向けたロードマップを作成し、それに基づいて活動を行っていたが、洪水の影響により中断し、半年ほどの遅れが出た。

水再利用及び本プロジェクトに関する情報発信活動として、第9回東南アジア水環境シンポジウムを共催した(2011年12月1～3日、バンコク)。それに合わせ、今年度タイ国にて発生した大規模洪水に関する緊急ワークショップを、同じくSATREPS研究課題である「気候変動に対する水分野の適応策立案・実施支援システムの構築」(IMPAC-T)と12月1日に共催した。当初は第9回東南アジア水環境シンポジウムのサイドイベントとして開催する予定であった本プロジェクトによるワークショップは、洪水の影響により開催を延期し、3月27日にラヨーン県にて開催した。

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)

【以下、平成22年度末】

ERTCにてReal-time PCRを用いた病原微生物の分析実験演習と、ICP-MSによる重金属分析の研修を行った [1-1, 4-2]。1月に行ったチャオプラヤ川流域で採取した試料の重金属分析は、移転した技術を用いて、ERTCが分析を行った。得られたデータは本プロジェクトの研究データとして使用される。また、8月に水資源の有効利用に関する知識獲得のため、古米教授による講義と、沖縄の海水淡水化施設と地下ダム視察を行った。[1-1]

【以下、平成23年度末】

6月～7月にかけて、膜分離と自然生態系による水質浄化・生態系管理水資源の有効利用に関する知識獲得のため、三菱レイヨン株式会社豊橋技術研究所、北海道大学のMBR実験プラントと札幌市の下水処理場、釧路市の膜ろ過による小規模浄水施設、釧路湿原の視察を行った。[1-1]

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)

【以下、平成22年度末】

日本側専門家とのコミュニケーションが順調に進展しており、会議やトレーニングへの参加を通じ、また日本への留学機会などの提供により、自らのスキルアップに積極的に取り組む姿勢が、すべてのERTCスタッフではないが、何人かのスタッフには見受けられ、人材養成という観点からは、さらなる進展が期待できる。

機材導入に想定外の時間を要するという問題は、全てのアウトプットで共通する問題ではあるが、JICAの事業であるということを考慮するならば、ある程度覚悟して、その対策をとる必要がある。技術移転したReal-time PCRによる分析技術を用いて、Bang Pa-in工業団地で採取した試料からの病原ウイルスを測定する予定であったが、ウイルス標準株の購入手続きが当初の想定より煩雑で時間がかかり、今年度中に終わることができなかつた。購入手続きは終了し現在納品待ちである。来年度早い時期に分析が可能になると期待される。

## 【以下、平成23年度末】

浸水対策のために10月半ばごろから12月上旬までERTCが閉所し、ERTCのカウンターパートはMNREによる洪水調査を分担することとなったため、プロジェクト業務が困難な状態となった。ERTC再開後も、研究所の復旧とMNRE洪水調査関連業務のために本プロジェクト業務に多くの時間を割くことは困難となり、半年程度の進捗遅れとなった。

## (2) 省エネルギー(あるいはエネルギー自立)分散型水再生利用のための新技術開発(東京大学・山本グループ)

## ① 研究のねらい

省エネルギー分散型水再生利用のための新技術として、商業ビル廃水を対象とし、食品廃棄物の嫌気性消化を組み合わせたシステムの開発を行う。実廃水を用いたパイロット実験により、設計条件、処理効率、最適運転条件、省エネルギー効果および水再利用ポテンシャルを明らかにする。

## ② 研究実施方法

東京都砂町水再生センター内に、傾斜板挿入無酸素槽を有する膜分離活性汚泥法(itMBR)のパイロットリアクターを設置し、熱帯の温度条件の下で長期運転を行う。リアクターの最適な運転条件について検討を行い、タイでの実装を想定したitMBRの設計や運転管理に関する知見を得る。また、プロジェクト専用実験・分析棟を建設し、形式の異なるitMBRリアクターの性能を比較評価する。

ここで得られる知見を生かしながら、嫌気-無酸素バイオフィーム固定膜分離活性汚泥法プロセスおよび傾斜板付膜分離オキシデーションディッチ(OD-itMBR)プロセスのベンチスケール実験を行う。ベンチスケール実験は、半乾燥式嫌気性消化と湿潤式嫌気性消化を組み合わせ、処理汚泥と食品廃棄物を混合処理し、バイオガスを得られるシステムの最適運転条件を明らかにする。その結果を基に、同システムでのパイロットスケール実験を行い、性能を評価する。

## ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

## 【以下、平成22年度末】

東京都砂町水再生センター内に設置している実験装置を使用して、傾斜板挿入無酸素槽(今後は、その役割を明確とするために「汚泥蓄積槽」と呼ぶ)と膜分離活性汚泥法を行う好気槽(今後は、「汚泥生産槽」と呼ぶ)が分離されたケース、汚泥蓄積槽と汚泥生産槽が一体化されたケースについて、それぞれのリアクターの安定運転の実現を目指した運転を行った。

汚泥蓄積槽と生産槽が分離されたケースについては、運転開始から140日程度まで安定した運転を実現できた。また、下水流入水を、汚泥蓄積槽と生産槽のどちらに流入させるかについて比較検討を行い、処理水の水質には大きな違いが見られないものの、汚泥蓄積槽に下水を流入させる系の方がより高濃度な汚泥を回収できることが分かった。現時点でも高い下水処理性能と汚泥蓄積性能を示している本リアクターであるが、さらなる性能向上のためにリアクターの一部を改良し、次年度から長期運転を開始する予定である。

## [2-2,2-6]

汚泥蓄積槽と生産槽が一体化されたケース(これをOD-itMBRシステムと呼ぶ)については、まだ長期運転の安定性については検討できていないが、短期的な実験を繰り返すことにより、後述するチュラロンコン大学に設置されるベンチスケールリアクターの設計に有益な成果を得た。[2-2,2-6]

タイ国においては、嫌気性消化に関するラボスケール実験を完了した。嫌気-無酸素バイオフィーム固定膜分離活性汚泥法プロセスおよび傾斜板付膜分離オキシデーションディッチ(OD-itMBR)プロセスそれぞ

れのベンチスケールリアクターがチュラロンコン大学キャンパス内に設置された。国内での研究成果を踏まえて、リアクターの仕様を修正した。[2-2]

【以下、平成23年度末】

東京都砂町水再生センターにおける実験では、それぞれのリアクターの運転条件最適化に向けた検討を進めた。

汚泥蓄積槽と生産槽が分離されたケースについては、運転管理項目として汚泥滞留時間(SRT)に焦点を当て、汚泥引き抜きなしによる余剰汚泥発生ゼロ(SRT 無限大)、およびバイオマス生産として汚泥を積極的に引き抜く(達成可能な最小SRT)という2つの異なる運転目標を定め、これらの運転条件最適化により特化した検討を行うために、ベンチスケールの傾斜板付きリアクターを新たに2基設置し、運転を開始した。汚泥生産槽および汚泥蓄積槽の微生物群集構造をTRFLP法にて解析したところ、汚泥の引き抜きを開始した時点から、両槽で異なる構成の微生物群集が形成され始めたことが明らかとなり、SRTの変化が槽内の微生物叢に影響を与えることが確認された。今後は、2基のリアクターでSRTを変化させ、それぞれの処理性能とともに微生物群集構造や生物反応活性の解析・比較を行うことにより、最適運転に向けた検討を進めていく予定である。[2-2,2-6]

汚泥蓄積槽と生産槽が一体化されたケース(OD-itMBRシステム)については、実規模と比してパイロットスケールで最大の課題となる点は溶存酸素濃度の空間分布の制御にある。そのため、長期運転を始める前に、トレーサーテストにより流路内の混合特性の試験を行い、槽内循環流速可変装置の追加などリアクターの改良を進めた。これらの検討の結果、実規模の空間分布をシミュレートするためには、流路の槽列化が必要であるという結論に至り、現在そのための改修を進めている。[2-2,2-6]

タイ国においては、チュラロンコン大学キャンパス内に設置した嫌気-無酸素バイオフィーム固定膜分離活性汚泥法プロセスおよび傾斜板付膜分離オキシデーションディッチ(OD-itMBR)プロセスのパイロットスケールリアクターにおいて、実際のキャンパス排水と食堂からの食品廃棄物を用いて、リアクターの立ち上げ運転を開始した。しかし、洪水の影響で維持管理が中断し、再度立ち上げ運転をやり直すこととなった。

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)

【以下、平成22年度末】

国内での研究成果にもとづいて、(OD-itMBRプロセスのベンチスケールリアクターのデザインに役立つ技術情報を提供し、リアクターに反映した。

【以下、平成23年度末】

国内での研究成果にもとづく技術情報を提供した。

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)

【以下、平成22年度末】

キャンパス排水処理のためのベンチスケールリアクターの納入が想定よりも遅く、実験開始が大幅に遅延したが、発想を変え、ベンチスケール実験といっても、キャンパス内の実排水処理のデモンストレーションプラントとして、パイロットスケール実験といっても良いものに仕上げた。1月に納入完了し、リアクターは現在スタートアップ段階である。来年度中には運転開始し、データ収集が行える見込みである。チュラロンコン大学学長以下執行部も関心を示し、キャンパス内の植栽への散水など、再利用への期待は高まっている。この展開をさらに進めていきたい。

タイでの研究開発を促進するため、国内研究をプロジェクト申請時に計画していた「日本国内での流体力学シミュレーションモデルの開発」よりも現場の需要が大きかった(アウトプット3に共通)実験研究にシフトさ

せ、実際の設計に役立つ情報を得るため、汚泥管理方法の確立を中心にした実験による基礎情報収集を優先させた。タイ側とのシナジーを図るうえで、研究内容に関しては今後も柔軟に対応していく。なお、PO (Plan of Operation)に記載されているため、項目名の変更は最小限に抑えるつもりであるが、本年5月に予定されている JICA 中間評価に合わせて開催される JCC (Joint Coordination Committee) で、R/D (Record of Discussion) の軽微な変更として、国内研究の内容を反映させたい。

【以下、平成23年度末】

2011 年に発生した洪水により、研究の進捗に大きな影響が生じた。CU (チュラロンコン大学) では、itMBR (汚泥濃縮機能付きメンブレンバイオリアクター) デモプラントのハードウェアへの影響はなかったが、維持管理を行っていた RA (研究助手) および学生が通勤・通学困難となったために、10 月上旬から 2 カ月にわたり運転を停止した。これによって処理槽内の活性汚泥中の微生物の多くが死滅したと考えられ、再度立ち上げ (活性汚泥微生物の増殖と馴化) を行う必要がある。立ち上げには 2 カ月以上の時間を要すると見込まれ、洪水による運転停止を補完する期間を含めると 5 カ月程度の進捗遅れが見込まれる。

また、当初の計画にあった汚泥流動シミュレーションおよび性能評価動力学モデルの構築については、計画を変更してデモプラント実験によって性能評価を行うことを JCC において提案し、承認された。

### (3) 資源生産 (あるいは地球温暖化ガス発生抑制) 型水再生利用のための新技術開発 (東京大学・山本グループ)

#### ① 研究のねらい

地球温暖化ガス発生抑制型水再生利用プロセスとして、廃棄物処分場浸出水処理のための傾斜管付逆浸透膜分離活性汚泥 (itMBR-RO) プロセスの開発を行う。実廃水を用いたパイロット実験により、設計条件、処理効率、最適運転条件、地球温暖化ガス削減効果および再生利用水の生物毒性を評価する。

資源生産型水再生利用プロセスとして、食品工場廃水を対象とした嫌気性膜分離光照射生物反応槽による水再生プロセスの開発を行う。実廃水を用いたパイロット実験により、設計条件、処理効率、最適運転条件、菌体生産効率および処理水の再生利用ポテンシャルを評価する。

#### ② 研究実施方法

(2) と共通するが、東京都砂町水再生センター内に、傾斜板挿入無酸素槽を有する膜分離活性汚泥法 (itMBR) のパイロットスケールのリアクターを設置し、熱帯の温度条件の下で長期運転を行う。リアクターの最適な運転条件について検討を行い、タイでの実装を想定した itMBR の設計や運転管理に関する知見を得る。また、プロジェクト専用実験・分析棟を建設し、形式のことなる itMBR リアクターの性能を比較評価する。

ここで得られる知見を生かしながら、地球温暖化ガス発生抑制型水再生利用プロセス開発では、廃棄物洗浄により得た新鮮な浸出水を安定化した浸出水と混合し傾斜管付逆浸透膜分離活性汚泥法プロセスにて処理を行う。まずラボスケールおよびベンチスケール実験により最適な運転条件を明らかにする。その結果を基に設計したパイロットプラントを廃棄物処分場に建設・運転し、プロセス性能の評価を行う。

資源生産型水再生利用プロセス開発では、対象となる食品工場を選定し、ラボスケールおよびベンチスケール実験により最適な運転条件を明らかにする。その結果を基に設計したパイロットプラントを食品工場に建設し太陽光下での運転とプロセス性能の評価を行う。

【以下、平成23年度末】

前年度と同様であるが、これに追加して、地球温暖化ガス発生抑制型水再生利用プロセス開発では、廃

棄物処分場に建設したパイロットプラントにおいて処理前後の安全性の違いを明らかにするため、浸出水の生物毒性と抗生物質耐性菌株の割合・耐性薬剤を調べる。比較対象として、下水処理場プロセス中の薬剤耐性菌株についても調べる。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【以下、平成22年度末】

国内研究に関しては、(2)に記載した通りである。[3-1-1,3-2-1]

廃棄物処分場浸出水を対象とした逆浸透(RO)膜を用いた水再生利用プロセスの開発として、ノンタブリ県 Sai Noi 処分場におけるベンチスケール実験から、新鮮な浸出水と安定化した浸出水の混合比率などの知見を得た[3-2-1]。パイロットスケールリアクターの建設場所を Leam Chabang 処分場に決定し、ベンチスケール実験の結果も踏まえてパイロットスケールリアクターのデザインを決定した。現在、運転開始に向けたスタートアップを行っている[3-2-2]。

食品工業排水を対象とした資源回収型水再生利用プロセスの開発では、紅色非硫黄細菌によるバイオマス生産・水再生利用プロセスのラボスケール実験結果を取りまとめ、微生物相分析を行っている。ベンチスケールリアクターをキャンパス内ビル屋上に設置し、運転開始準備を行っている[3-1-2]。また、新形状のフォトバイオリアクターについて、ラボスケールリアクターを設計・作成し、現在運転開始のための微調整を行っている[3-1-1]。微細藻類濃縮培養による二酸化炭素固定・水再生利用プロセスでは、ラボスケールリアクターの設計・作成し、模擬下水処理水を対象とした連続処理実験を開始した[3-3-1]。

【以下、平成23年度末】

国内研究については、(2)と共通する部分として、itMBR の運転管理手法の確立に向けたリアクターの設置・改良を行い、実験を開始した。また、廃棄物処理場浸出水を対象とした itMBR-RO プロセスにおいては、RO 膜の目詰まり低減のための前処理方法として、樹脂を用いた膜目詰まり物質の吸着除去法に関する基礎的検討を新たに開始した。異なる樹脂を用いて、RO 膜目詰まり物質の第一候補であるフミン質の除去性を比較し、除去に必要な反応時間や反応速度に関する知見を得た。また、藻類を用いた栄養塩除去・二酸化炭素固定およびバイオマス生産を可能とする水再利用技術では、光照射効率最大化を目的とした新形状のリアクターを設計し、その設置を進めるとともに、実下水処理水を用いた藻類の増殖特性についても検討を行い、実下水中でも十分な増殖能を持つことが確認された。

廃棄物処分場浸出水を対象とした逆浸透(RO)膜を用いた水再生利用プロセスの開発として、Leam Chabang 処分場にパイロットスケールリアクターを設置し、実際の浸出水を用いて運転開始に向けたスタートアップを開始した。その結果、降水量の少ない雨季に十分な浸出水が得られないことが分かったため、浸出水回収設備の増設を行った。洪水の影響により、リアクターの維持管理が一時不可能となったため、再度立ち上げ運転をやり直すこととなった。

浸出水の安全性に関しては、浸出水には高い割合で抗生物質大腸菌が存在し、また、20 種以上の抗生物質に耐性を持つ菌株も複数検出されたが、顕著な季節変動はみられなかった。下水処理場においては、浸出水ほど耐性株の割合は大きくなかったが、他国の結果と比べて高い結果となり、処方箋なしで抗生物質が購入できる仕組みであることが、環境中の抗生物質耐性菌の存在割合を高めていることが示唆された。

食品工業排水を対象とした資源回収型水再生利用プロセスの開発では、紅色非硫黄細菌によるバイオマス生産・水再生利用プロセスのラボスケール実験結果を取りまとめ、微生物相分析を行った。ベンチスケールリアクターをキャンパス内ビル屋上に設置し、運転開始準備を行っていたが、洪水の影響で中断し、2012 年 1 月より運転準備を再開した。また、新形状のフォトバイオリアクターについて、ラボスケールリアクターを設

計・作成し、現在運転開始のための微調整を行っている。微細藻類濃縮培養による二酸化炭素固定・水再生利用プロセスでは、ラボスケールリアクターにおいて、浸漬膜ろ過の導入が下水処理水のような低栄養塩培地において効果的であることと、CO<sub>2</sub> 固定・バイオマス生産速度をさらに向上するには栄養塩供給負荷の改善が必要であることが分かった。

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)

【以下、平成22年度末】

学生及び研究員が、Real-time PCR を用いた微生物分析研修に参加し、分析技術の移転を受けた。また、病原微生物実験室整備に関する情報提供を行った。

【以下、平成23年度末】

廃棄物処分場浸出水を対象とした逆浸透(RO)膜を用いた水再生利用プロセス開発において、傾斜管の最適化に関する助言を行った。Kirby Bauer ディスク分散法による抗生物質耐性大腸菌の検出方法について、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)

【以下、平成22年度末】

資源生産型水再生利用プロセス開発において、研究ミーティング中に新形状のフォトバイオリアクターが考案された。カセサート大学にて、新形状リアクターを用いて、水再利用とバイオマス生産性能を調べるためのラボスケール実験を行うこととなった。食品工場におけるパイロットプラントは、新形状リアクターの実験結果による知見の蓄積を待って設計を開始することとなった。

廃棄物処分場浸出水処理の itMBR-RO をコンテナ収納して可搬型デモンストレーションプラントとするアイデアは、当初計画にはなく、研究遂行の過程で生まれきた。そのコンパクト性から現地民間企業へのアピール度が上がることが期待され、廃棄物処分場浸出水の処理のみならず、新たな展開として、汎用型可搬型水再生利用装置としての利用拡大を図っていきたい。

【以下、平成23年度末】

2011 年に発生した洪水により、研究の進捗に大きな影響が生じた。KU(カセサート大学)では、10 月 30 日よりキャンパスへの浸水が始まり、12 月 1 日まで浸水状態が続いた。また、10 月上旬より 12 月上旬までプロジェクトに従事する RA、学生の居住地と通勤・通学経路の被災によって、プロジェクト業務が困難となった。パイロットプラントの設置しているノンタブリ・サイノイ廃棄物処分場とレムチャバン廃棄物処分場においては、直接の浸水被害はなかったが、交通路の被災により担当 RA および学生が到達困難となり、運転・維持管理業務が停止した。

国内研究において、相手国での研究をサポートする形で、廃棄物処理場浸出水の itMBR-RO プロセスに関しては樹脂を用いた前処理による膜ファウリング制御方法、微細藻類による二酸化炭素固定・水再生利用プロセスに関しては新形状のフォトバイオリアクターによる高度下水処理・バイオマス生産について、それぞれ新たに検討を開始した。



## (4) 地域水再利用のための効果的な管理・モニタリング手法の開発

本グループは6のサブグループにより構成される。まず、各サブグループ共通の事項のみを記述し、①～⑤の詳細については、サブグループごとに記述する。

## (4.0) サブグループ共通

## ①研究のねらい

各サブグループ記述を参照。

## ②研究実施方法

各サブグループ記述を参照。

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

各サブグループ記述を参照。

## (4.1) 水質情報プラットフォームの開発(東京大学・古米グループ)

## ①研究のねらい

水の利用目的に応じた水質情報を提供するためのプラットフォームを設計・開発し、現地での情報収集をもとにプラットフォームの整備を行う。

## ②研究実施方法

プロジェクトサイトの網羅的な水質情報を収集し、様々な水利用の実態を調べるとともに、雨水や地下水の定点観測情報を蓄積し、(4.2)で得た情報も加えて水質情報プラットフォームとして整備する。整備された水質情報、地質情報、水収支などをもとに地域水環境モデルを構築する。

なお、水利用において検討すべき水質汚染物質として一般水質項目に追加して医薬品類や重金属にも着目する。また、水道水以外の水源となりえる再生水、雨水、浅層地下水、運河・灌漑用水路水の水質との相対比較のための水質データの収集・蓄積を継続的に行う。

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

- ・ 水質情報プラットフォームの基準や参考値となる“ものさし”づくりのため、カウンターパート ERTC および地方環境部局と協力して、乾季におけるチャオプラヤ川流域の事前踏査(2010年11月頃)と一斉水質調査(2011年1月頃)を実施した。[4-3]
- ・ 一般水質項目に加えて、医薬品類、重金属類の測定を進めている。すでに、一部分析結果が集計されてきている。なお、重金属の形態別分析、医薬品の分析に関してはチュラロンコン大学の協力を得て実施した。[4-3]
- ・ 再生水利用を促進する地域の水収支解析やその地域水環境を考慮した水質情報プラットフォームのフレーム構築の手順を整理した。例えば、プラットフォーム構築の基盤となる水質データのスコア化、水利用に対するランキング化、代替水源のラベリング化など、タイにおける水質情報の整理手法の確立を進めた。[4-3]
- ・ 昨年度までに水質調査を実施した Nawanakorn 工業団地、Hua Hin 市、Bang Pa-in 工業団地やチャオプラヤ川下流対象地域における水質データを統合して、水再利用における水質情報の管理方法やモニタリング方法のあり方を検討した。[4-2,1-2,1-3]

【以下、平成23年度末】

- ・ チャオプラヤ川流域 50 地点における一般水質項目、医薬品類、重金属類の分析結果を集計して、濃度

頻度分布を作成するとともに水質環境基準との相対的な大小関係を整理した。[4-3]

- ・ 河川水だけでなく、雨水排水、地下水、運河水、湖沼水、貯水池水など下水処理水(再生水)との水質の相対比較となる試料を入手して、その水質分析データの蓄積を行った。
  - ・ タイにおいて再生水利用を促進するための水質情報プラットフォームのフレーム構築として、5つの水質要因の抽出、タイ飲料水質基準を参照とした水質データのスコア化、水利用に対するランキング化、代替水源のラベリング化など、再生水の代替水源としての特徴がわかるような表示方法を整理した。[4-3]
  - ・ 水質情報プラットフォームにおいて、Nawanakorn 工業団地、Hua Hin 市、Bang Pa-in 工業団地を例として、水質データを踏まえた各代替水源の利用における適用性の表示方法を検討した。
- 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)
- ・ カウンターパートに対して、水質調査方法やそのデータの統合的な整理方法、さらには水利用と関連づけた水質情報プラットフォームの構築方法やその手順を説明した。また、GISを利用した水質情報の提示方法の具体的検討を進めた。[4-2,4-3]
  - ・ 重金属分析における酸分解前処理に続き、新規導入されたICP-MSによる分析手順や維持管理方法の情報提供を行った。また、チャオプラヤ川の全国一斉採水調査において、河川水の医薬品類の固相抽出法の手順の監督指導を行った。[4-2]

【以下、平成23年度末】

- ・ 水質調査方法やそのデータの統合的な整理方法、さらには水利用と関連づけた水質情報プラットフォームの構築方法やその手順について、カウンターパートと合同でDEQP、地方の環境部局に対して説明した。また、GISを利用した水質情報の具体的な提示事例を紹介するとともに、タイにおいて想定されるプラットフォーム原案を作成した。[4-2,4-3]
- ・ 新規導入されたICP-MSによる分析データの精度管理の指導を行った。[4-2]

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)

【以下、平成22年度末】

- ・ チャオプラヤ川の全国一斉採水調査実施を通じて、地方の環境部局とERTCとの人事交流や水質調査方法、水環境調査に関する交流ワークショップを、資源環境局における総会の機会に開催することで情報共有する構想が生まれつつある。

【以下、平成23年度末】

- ・ DEQP、地方の環境部局とERTCと合同で実施した水質情報プラットフォーム構築に関するワークショップの開催を受けて、GIS活用を促進するためのミニワークショップを追加開催する構想が生まれつつある。
- ・ 2011年に発生した大規模洪水を受け、緊急洪水水質調査を実施した。11月と12月に合計3回現地を訪れ、浸水状況の視察や水質分析を行った。水質調査の結果から、下水と同程度の大腸菌数を含む地点が複数観察され、今回のような大規模洪水においても、汚水の適切な管理を行うことが水系感染症を防ぐために有効であることが示唆された。本成果については国内学会で発表済みであり、また現在、調査結果をウェブで公開(日本語、タイ語、英語)するための準備を進めている。

#### (4.2) 再利用水の健康リスク評価モデルの開発(東京大学・渡辺知保グループ)

##### ①研究のねらい

本サブグループは、水再利用技術の導入によって再利用水が地域社会に利用された場合に、寄与し得る

健康と生態系への影響について探索し、対象となる地域住人の水の利用状況の現状について調査し、生体試料分析と合わせて水利用に関連した健康リスクを評価することを目的としている。

## ②研究実施方法

【以下、平成22年度末】

水再利用技術の導入によるヒトの健康と生態系への影響評価にあたり、Bang Pa-in Industrial Estate に隣接する Khlong Jik の居住地区を調査対象地域として選定した。2010年11月、ERTC とマヒドン大学公衆衛生学部 Kraichat Tantrakarnapa 教授らのグループと共同で現地調査を実施した。当該地域の8集落の各代表者と調査目的と手順について協議した後、住人の水利用状況、水質・再利用水の導入などに関する意識をインタビューにより調査した。インタビューの質問項目は、output 4 の立命館グループが用いたものをベースに、健康等にかんする質問項目を加えて作成した。調査実施にあたり、対象者からは書面による同意(informed consent)を得ている。2011年2月に同地域を再び訪問し、対象とする8集落各10世帯から飲用・調理に用いる水試料190サンプルを採取し、水質分析を実施した。この中でERTCにおいて稼働した ICP-MS を用い、ERTC と共同で汚染金属などの定量も行なった。これらの結果に基づき、水源、居住地域、利用者による水利用の特徴を検討した。[4-4]

国内では、モニタリングすべき生体内物質を探索するための予備検討を継続した。国内外のフィールドで採取された尿試料と血液試料の生体試料を用い、ICP-MS による生体必須微量元素・重金属の定量を実施した。尿中ヒ素、血中鉛、セレンなどを定量分析し、ヒ素に続いてセレンの形態別分析を試みている。また生体内で誘発される酸化ストレスの指標となる尿中 8-OHdG および F2 $\alpha$ -isoprostane、さらには鉛曝露の影響指標であるアミノレブリン酸の定量を行ない、フィールドサンプルにおける影響指標としての有効性について検討した。[4-4]

【以下、平成23年度末】

水再利用技術の導入によるヒトの健康と生態系への影響評価にあたり、Bang Pa-in Industrial Estate に隣接する Khlong Jik の居住地区を調査対象地域とし、2010年に実施した聞き取り調査、水質調査に参加した個人・世帯を追跡調査した。2011年8月、ERTC とマヒドン大学公衆衛生学部 Kraichat Tantrakarnapa 教授らのグループと共同で身体計測、血圧測定、尿・血液採取ならびに尿定性検査および血糖値測定、質問紙調査を実施し、ERTC において採取した試料中の血漿中生化学的パラメータを定量した。また、2011年2月の乾季に実施した各世帯の水質調査の季節差異を調査するため、雨季にあたる2011年8月に同じ世帯を対象に2度目の水質調査を実施した。また歴史的な大洪水が及ぼした洪水影響について、2012年1月に被災状況、水質変化の有無、インタビューによる住人の水利用状況に関する意識を調査した。[4-4]

国内では、モニタリングすべき生体内物質を探索するための予備検討を継続した。国内外のフィールドで採取された尿試料と血液試料の生体試料を用い、ICP-MS による生体必須微量元素・重金属の定量を実施した。尿中ヒ素、血中鉛、セレンなどを定量分析し、ヒ素とセレンの形態別分析をそれぞれ試みている。また生体内で誘発される酸化ストレスの指標となる尿中 8-OHdG および F2 $\alpha$ -isoprostane、さらには鉛曝露の影響指標であるアミノレブリン酸の定量を行ない、フィールドサンプルにおける影響指標としての有効性について検討した。[4-4]

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【以下、平成22年度末】

本グループは、再利用水の導入が行なわれる際に行なうべきモニタリングのあり方を、健康リスクの観点

から検討することを目的としている。上水道がほぼ完備され、その水質管理も厳しく行なわれているような我が国と比較した場合、対象とするタイのバンコク近郊地域の水利用実態は、飲料水の水源だけをとりまいても、水源の異なる上水道、地下水、天水、ボトル詰めの“ミネラル・ウォーター”と種類に富んでいる。また、当地は新しい工業団地を擁し、そこに通勤する工場労働者も多い一方、もともと水路に富む一帯であることから、伝統的な水利用の形態も残っていることがうかがわれた。モニタリングに際しては、こうした住民と水との接点を明らかにし、水を巡る住民の行動と意識を把握しておく必要がある。今年度実施した調査はその実態を数値化し、後に述べるように、水利用の多様性を明らかにすることによって、次年度の生体試料サンプリングのデザインにも有用な情報をもたらしたと考える。

【以下、平成23年度末】

このような昨年度の結果を軸に、今年度実施した調査は、住民の多様な水利用を反映する生体試料サンプリングをデザインし、家屋内で利用される全ての水試料を水源毎に採集し水質検査を実施した。血漿中の抗炎症サイトカインの値に主要な飲料水の水源が影響を与えていた。尿試料および全血中の微量栄養元素・重金属の定量分析をする予定であったが、2011年10月よりタイの洪水の影響で実験施設が浸水し、建物の長期停電により冷凍保存していた生体試料が解凍放置され廃棄処分となったため、予定していた分析が継続できなくなった。

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）

【以下、平成22年度末】

タイ側(ERTC)に導入されたICP-MSを利用して、実際に Khlong Jik の調査対象世帯より採集した飲料水中の痕跡元素分析を ERTC の研究者等と共に実施した。また、生体試料の前処理装置(マイクロウェーブ分解装置)を購入予定であり、ERTC ではすでにデモ機を入手して試用中であった。導入されれば、必要に応じて分解条件の検討など共同で行なうことを検討している。ヒトから得られる試料以外にも、食物・動植物・土壌など対象とできる環境試料も多く、汎用の機種となることが期待される。[4-2]

【以下、平成23年度末】

生体試料の前処理装置(マイクロウェーブ分解装置)が ERTC に導入され、インストラクションがおこなわれた。多元素について濃度が既知の血液標準試料を使用し、同装置を用いた分解条件の検討を ERTC と日本のメンバーと共同で開始した。ヒトから得られる試料以外にも、食物・動植物・土壌など対象とできる環境試料も多く、汎用の機種となることが期待される。[4-2]

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)

【以下、平成22年度末】

本グループの調査で生体試料を収集する予定であるため、その研究計画についてタイのマヒドン大学で倫理審査の手続きを進めている。当初は1ヶ月程度で承認が降りる予定であったが、倫理委員会での審査を待つ案件が多数のため、本研究は未だ審査に至っていない。このため、生体試料採取と分析を含む調査が計画通りに進んでいない。マヒドンの共同研究者によると4月後半には倫理承認が出ると予想される。

【以下、平成23年度末】

尿試料および全血中の微量栄養元素・重金属の定量分析をする予定であったが、2011年10月よりタイの洪水の影響で実験施設が浸水し、建物の長期停電により冷凍保存していた生体試料が解凍放置され廃棄処分となったため、予定していた分析が継続できなくなった。生体試料の分注時に試料の一部をマヒドン大学においても分析に供した分に若干余剰があり、これを使用してマイクロウェーブにて分解処理、痕跡元素濃度の定量を実施する予定である。

## (4.3) 再利用水の健康リスク評価モデルの開発(東北大学・大村グループ)

## ①研究のねらい

熱帯地域における水再利用システムを、病原微生物によるヒトへの健康リスクの観点から評価する。具体的には、まず対象とする水試料の特性を考慮した微生物モニタリング手法を確立し、継続的にモニタリングを実施する。次に、得た測定データおよび再利用水を含んだ水循環システムに関する情報を統合し、地域住民への健康リスクを評価する。そして水再利用システムによる健康リスク低減効果を算出し、熱帯地域において分散型水再利用システムを導入することの効果の評価する。

## ②研究実施方法

【以下、平成22年度末】

Bang Pa-in 工業団地およびその周辺の水試料を定期的に採取し、一般水質項目および糞便汚染指標微生物を測定する。また、ERTC における病原微生物のモニタリング(平成 23 年 1 月開始)に備え、ERTC に病原微生物実験室(Biosafety level 2 相当)を設置し、調査に必要な装置を導入する。現地で流行している感染症を考慮しながら測定対象とする病原微生物を選定し、それぞれの病原微生物の測定方法の選定、ERTC でのモニタリング体制の整備を行う。

【以下、平成23年度末】

平成 22 年度に引き続き Bang Pa-In 工業団地でのモニタリングを継続した。さらに、調査対象地域で採取した水試料からの病原ウイルスの検出に着手した。平成 22 年度までに行った実験設備の整備や病原微生物検出技術のトレーニングのフォローアップを行い、当該地域で発生している感染症の動向を考慮して検出微生物を選択した。さらに、水再利用による健康リスク評価において重要である病原微生物への曝露経路について調査し、リスク評価シナリオを構築する。

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【以下、平成22年度末】

本項目はおおよそ計画通りに進捗している。以下に概略を示す。

Bang Pa-in 工業団地において定期的な(月1回)試料採取を継続して行い、各種水質指標の測定を行った。また 2010 年 9 月に ERTC に微生物実験室を設置し、病原微生物測定機器を導入した。それにあわせ、9 月～11 月に機器の使用方法や水試料の前処理方法についてのトレーニングを行った。微生物整備が完了した 2011 年 1 月より、Bang Pa-In 工業団地にて病原微生物測定用の試料採取を開始した。[4-2,4-8]

【以下、平成23年度末】

Bang Pa-in 工業団地において定期的な(月1回)試料採取を継続して行い、各種水質指標の測定を行っていた。しかし、10 月の洪水に伴う約 1 か月間の停電により、病原微生物測定のために保管してあった試料が全て使用不能となった。ERTC の施設復旧および ERTC 職員のプロジェクトへの復帰を待ち、平成 24 年より Bang Pa-In 工業団地での調査を再開したが、今年度の当初計画からの大幅な遅れが生じている。

また、実験設備の整備や病原微生物検出技術のフォローアップとして、平成 24 年 3 月に ERTC 職員を対象として病原微生物検出に関連した技術的課題の抽出およびトレーニングを行った。[4-2, 4-8]

## 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)

【以下、平成22年度末】

水試料からの病原微生物測定技術の移転を目的に、ERTC 職員に対して大腸菌ファージの培養方法

(平成 22 年 9 月 24～29 日), 定量 PCR 法による微生物遺伝子の定量技術(平成 22 年 9 月 29 日～10 月 1 日), 水試料中のウイルス濃縮技術(11 月 2～4 日)についてのトレーニングを行った。[4-2]

【以下, 平成23年度末】

水試料からの病原微生物検出にあたり, 内部標準微生物を用いたデータの精度管理についてのトレーニング(平成 24 年 3 月 5-9 日)を行った。これを含む一連のトレーニングにより, 水試料から様々な病原ウイルス(エンテロウイルス, ロタウイルスなど)を精度よく定量検出することが可能となった。[4-2]

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)

【以下, 平成22年度末】

特になし。

【以下, 平成23年度末】

平成 23 年 10 月の洪水により当初計画より大幅な遅れが生じたが, ERTC 職員の努力もあり速やかに Bang Pa-In での調査を再開することができた。これまでの技術供与を通して ERTC 職員が微生物測定技術に十分習熟していたことが早期再開の一助となったと考えている。

#### (4.4) 再利用水の健康リスク評価モデルの開発(山形大学・渡部グループ)

##### ①研究のねらい

熱帯地域における水再利用システムを, 病原微生物によるヒトへの健康リスクの観点から評価する。具体的には, まず対象とする水試料の特性を考慮した微生物モニタリング手法を確立し, 継続的にモニタリングを実施する。次に, 得た測定データおよび再利用水を含んだ水循環システムに関する情報を統合し, 地域住民への健康リスクを評価する。そして水再利用システムによる健康リスク低減効果を算出し, 熱帯地域において分散型水再利用システムを導入することの効果の評価する。

##### ②研究実施方法

【以下, 平成22年度末】

平成 22 年度は, 東北大学グループと共同で, 調査対象地域において定期的に水試料を採取し, 有害物質のモニタリングを継続して行う。再利用水の病原微生物とその他の有害物質の複合汚染によるリスク評価について, 新たな評価手法の開発を始める。ERTC スタッフに対しては, 健康リスクの定量的評価手法に関するトレーニングを行う。

【以下, 平成23年度末】

平成 23 年度は, 調査対象地域における定期的な水試料の採取と, 有害物質のモニタリングを継続して行う。再利用水の病原微生物とその他の有害物質の複合汚染によるリスク評価の開発を行う。当該地域での健康リスク評価のシナリオを構築するとともに, そのシナリオにもとづくリスク評価モデル開発の完了に目処をつける。ERTC スタッフに対しては, 健康リスクの定量的評価手法に関するトレーニングを適宜実施する。

##### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【以下, 平成22年度末】

本項目はおおよそ計画通りに進捗している。以下に概略を示す。

Bang Pa-in 工業団地における定期水質調査については, 東北大学グループと同様である。さらに, 下水処理水の農業利用の可能性を検討するために, Buriram 県の下水処理場における水質調査を開始し, また, 下水処理水をさらに浄化するために砂ろ過と塩素消毒からなる処理システムの設計を行った。次年度より, このシステムを運転し, 処理水の灌漑による農作物の栽培を試みる。[4-5,4-8,1-3,1-4]

【以下、平成23年度末】

Bang Pa-in 工業団地における定期水質調査については、東北大学グループと同様であり、今年度の当初計画からの大幅な遅れが生じている。Buriram 県の下水処理場における下水処理水の農業利用の可能性の検討に関しても、処理システムの設計の見直しや機材調達の遅れにより、本年度中に実験を開始することができなかった。次年度の7月頃に処理システムが完成する予定であり、処理水の灌漑による農作物の栽培を試みる。下水処理水の農業利用のシナリオ検討のため、国内では、下水処理水の灌漑利用による水稻の栽培実験を行った。

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)

【以下、平成22年度末】

2010年12月に、ERTC職員に対して、「Introduction to Quantitative Microbial Risk Assessment」と題したレクチャーを行い、定量的な微生物リスク評価に関する基礎を、他の健康リスクの評価も含めて紹介した。それとは別の機会に、健康リスク評価を担当する職員だけに、より詳しいレクチャーを行い、リスク評価の背景や概念について理解を深めた。次年度以降、実際の測定データを使用しながら、リスク評価手法に関する技術移転を進めていく。[4-2]

【以下、平成23年度末】

国内での研究で実施した、下水処理水の灌漑利用による水稻の栽培実験の内容と成果について、Buriram 県でのプロジェクトに関わる ERTC 職員に紹介した。

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)

【以下、平成22年度末】

特になし。

【以下、平成23年度末】

東北大学・大村グループと同様、平成 23 年 10 月の洪水により当初計画より大幅な遅れが生じたが、ERTC 職員の努力もあり速やかに Bang Pa-In での調査を再開することができた。

#### (4.5) 分散型水循環システムの評価と構築(立命館大学・中島グループ)

①研究のねらい

バンコク郊外の新興工業地域においては、農村から工場地域への開発とその労働者など居住者用のアパート等の建設が盛んで、今後も急激に人口増加がすすむものと思われる。人口増に伴う当該地域における将来の水需要増加は必至で、それに対して水再生再利用など分散型水循環システムの導入による水道水量の節減は有効な施策となろう。

今日、居住者のトイレ排水および生活雑排水(greywater)は、雨水溝を通過して canal に放流され、canal 水の灌漑利用に影響を及ぼしている。トイレ排水については、cesspool や septic tank の使用と汚泥収集・中間処理・埋め立てのシステムが構築されているものの、処理性能等には課題が多い。また、greywater については未処理で放流されている。これらの流入によって、canal 水の再利用が困難となり、さらに今後も悪化をすることが明らかである。したがって、地域での再利用が可能なレベルにまで canal 水質を改善することも必要で、そのためのトイレ排水および greywater 対策も肝要である。

これらの目的のためには、まず当該地域の水利用の概況を知る必要がある。そこで、モデル地域である Khlong Luang および Khlong Jik において、生活用水の利用と排出の概況の把握をすすめるための生活排水実態調査として、アンケート調査および一部家庭の排水水質調査を行い、C/P への技術移転も含め

ながら検討することによって、当該地域の分散型水循環システムの評価と構築をすすめるものである

## ②研究実施方法

【以下、平成22年度末】

2010年9月に、モデル地域の Khlong Luang (Phathum Thani) および Khlong Jik (Ayutthaya) において、その居住者に対して、アンケート調査(対象 400 家庭)および一部家庭の排水水質調査(対象 30 家庭)を行った。本調査は、ERTC および AIT と共同しながら、両地域の Municipality office の協力を得て実施した。その結果について、General properties、Water use、Detergent use、Water reuse、Water quality の観点で取りまとめた。

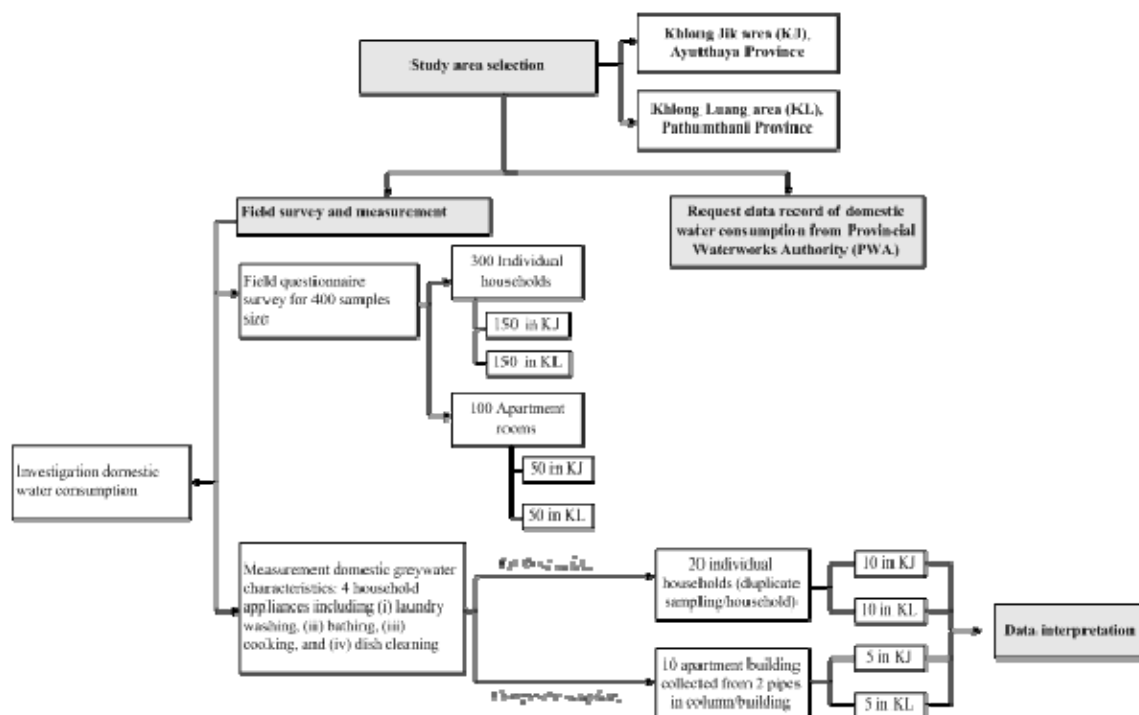


図 2.1 Khlong Luang および Khlong Jik における生活排水実態調査のフレーム

【以下、平成23年度末】

2010 年度の調査結果から、当該地域の住民の意識として、トイレ排水が入らない雑排水の再生水に対しては再利用を許容する意識が高いことから、雑排水のなかでも BOD 負荷が低い洗剤濃度の高い洗濯排水やシャワー排水の再生・再利用の可能性を検討することにした。2011 年度は、家庭からの洗剤排出原単位(MBAS および LAS)の算定、室内実験(日本で実施)による生物膜法による洗剤含有廃水の処理特性の把握、および実アパート排水を用いた再生処理実験の計画の策定を行った。



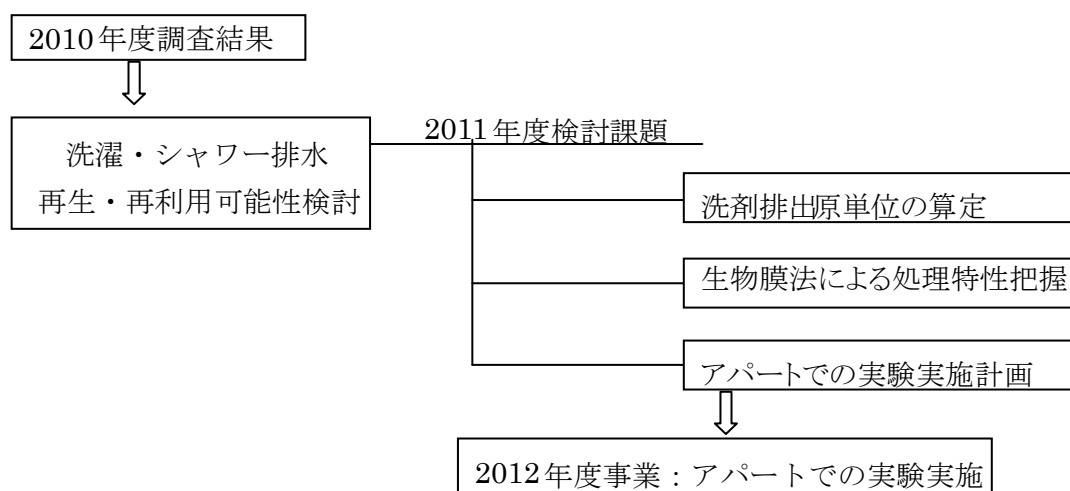


図 2011 年度事業の位置づけ

## ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

## 【以下、平成22年度末】

モデル地域における生活排水実態調査については、予定通り実施することができた。これまでに得られた調査結果から、分散型水循環システムを検討し、その適用可能性を試験する段階に進捗している。さらに、その結果をもとにした生活排水の処理実験については、実験対象の選定と、実験装置の設計が終わった段階にあり、今後、早急に実験装置の設置がすすめられる予定である。[4-6]

## 【以下、平成23年度末】

モデル地域における生活排水実態調査については、予定通り実施することができた。これまでに得られた調査結果から分散型水循環システムを検討し、アパートで分取が可能な洗濯およびシャワー排水の再生・再利用を検討することとした。まず、これらの排水に含まれる家庭用洗剤について、その家庭での排出(発生)源単位を求めることができた。さらに、その結果をもとにした生活排水の処理実験については、室内実験による処理特性の把握をすすめ、曝気を用いた処理が有効であることが分かった。そこで、タイ国産の曝気型プラスチック製処理タンクをもちいた排水再生実験を計画し、実験対象の選定と、実験装置の設計が終わった段階にあり、今後、早急に実験装置の設置がすすめられる状況である。

## 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)

## 【以下、平成22年度末】

2010年9月の生活排水実態調査において、ERTC 研究員と共同したアンケート調査、排水採取、試料水分析を行うことにより、C/P への技術移転をすすめることができた。また、本調査に先立つ、予備調査(2010年3月)および調査計画の検討(2010年7月)においても、ERTC 研究員と共同作業および十分な討論をすすめることにより、当該調査に対する情報を共有した。[4-2]

## 【以下、平成23年度末】

2011年9月および2012年3月には、市販の洗剤の取得と、家庭から雑排水が排出される排水路および運河水の洗剤含有量(MBAS濃度)の測定を、C/Pとともに実施することによって、その分析手法に関する技術移転をすすめることができた。また、雑排水の処理を行う市販の浄化槽の状況を把握するために、これまでに3社のタイ国内浄化槽メーカーをC/Pとともに訪問し、工場見学を実施した。2011年度に日本において

得られた実験結果等については、2012 年 3 月に C/P への報告会を行って、その内容を共有している。

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)

【以下、平成22年度末】

特になし。

【以下、平成23年度末】

特になし。

#### (4.6)分散型水循環システムの評価と構築(早稲田大学・榊原グループ)

##### ①研究のねらい

分散型水循環システムの現状について現地調査を行うとともに、環境ホルモン等の微量有害物質を含めて、湿地、 Pond あるいは運河の水質浄化性能に関する検討、評価を行う。得られた結果から、プロジェクトサイトならびに都市郊外の分散型水循環システムを構築するための基礎資料を得る。

##### ②研究実施方法

【以下、平成22年度末】

タイ国内の Pond、湿地等の現状について調査する。プロジェクトサイトにおける水量、水質調査より、Pond、湿地、運河の浄化能力に関する基礎資料を得る。また、農業用水、産業用水、洗浄水等に処理水を再利用する場合の水質条件について検討し、Pond、湿地等の有効性並びに問題点を明らかにする。得られた知見は、プロジェクトサイトにフィードバックさせ、その改善効果について検討する。浄化能力の評価、具体的な改善方法等については、湿地および Pond の小規模実験施設における生活排水を対象とした処理実験を行うことで詳細に検討する。

【以下、平成23年度末】

昨年度と同様な調査を継続して、Pond、湿地等における浄化性能並びに排水再利用に関する基礎資料を得る。得られた知見は ERTC に設置された小規模実験施設並びに下排水処理施設にフィードバックさせ、施設設計・操作諸元および現状の下排水処理施設の改善方法等について詳細な検討を行う。これまでの調査結果より、Pond および人工湿地等は一般的な水質パラメータに加えて、PPCPs(医薬品および日用品等由来化学物質)および環境ホルモン類を浄化できるが、一部の難分解性物質に対して浄化効率が低かった。本年度は当該物質の浄化効率を向上させる方法について小規模実験施設を用いて検討する。

##### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【以下、平成22年度末】

タイ国内における Pond、湿地等の稼働状況、浄化能力、水再利用の現状について、アンケート調査を実施した。その結果、下水処理場の約 7 割以上が Pond(酸化池、安定化池)および一部人工湿地を二次処理プロセスとして採用し、6 割以上の施設で農業用水、洗浄用水、養殖用水、灌漑用水として再利用していることがわかった。この結果に基づいて、タイ国内の Pond あるいは人工湿地を有する 6 カ所の処理施設の現地調査を実施し、流入排水、施設中間位置、および処理水に対する一般的水質項目および 11 種類の主要環境ホルモンと医薬品の分析を行った。[4-6]

また、環境ホルモンの浄化に関わる主要な酵素について解析し、植物内の過酸化酵素とペロオキシダーゼによる浄化メカニズムを明らかにした。さらに、この結果から、植物体内の過酸化水素を利用した生物学的バイオフェントン法の発想に至り、その有効性について検討を行った。一方、ERTC 内に建設するパイロット浄化施設(Pond および人工湿地)の設計が終了した。また、タイ国内に生息する水生植物の過酸化水素濃

度およびペロオキシダーゼ活性が測定され、供試植物に関する基礎資料が得られた。[4-7,1-2]

【以下、平成23年度末】

タイ国内におけるポンド、湿地等の稼働状況、浄化能力、水再利用の現状について、アンケート調査を実施した。その結果、下水処理場の半数以上がポンド(酸化池、安定化池)および一部人工湿地を二次処理プロセスとして採用し、6割以上の施設で農業用水、洗浄用水、養殖用水、灌漑用水として再利用していることがわかった。この結果に基づいて、タイ国内のポンドあるいは人工湿地を有する6カ所の処理施設の現地調査を乾季と雨季に実施し、流入排水、施設中間位置、および処理水に対する一般的水質項目および11種類のエストロゲンと医薬品の分析を行った。その結果、エストロゲンおよび医薬品の全てがポンド、湿地等で除去され、活性汚泥法やオキシダーゼーションディッチと同程度の除去性能を有していることがわかった。ただし、除去率は汚染物質の種類および施設によって異なった。[4-6]

また、植物のみでは浄化が難しい難分解性物質(有機塩素化合物)の浄化法に関して、処理槽内に鉄化合物を若干添加して植物体内の過酸化水素と反応させると生物学的フェントン反応が進行し、難分解性物質を分解・無害化できることを明らかにした。一方、ERTC 内にパイロット浄化施設が建設され、有用植物を用いた宿舎排水の連続実験が開始された。その結果、BOD 等の一般的水質項目の他に、排水中に含まれる医薬品類およびエストロゲンの除去性能に関する資料が一部得られた。

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)

【以下、平成22年度末】

植物内の酵素活性および過酸化水素の測定技術を相手国カウンターパートに提供した。当該技術により、熱帯域に生息する植物のPO活性およびH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度が測定され、湿地やポンドに適用可能な有用植物に関する資料が得られている。[4-2]

【以下、平成23年度末】

パイロット浄化施設を主対象として、医薬品類およびエストロゲンの浄化能力の評価および速度論的解析方法について解説した。

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)

【以下、平成22年度末】

特になし。

【以下、平成23年度末】

バイオフィントン法は植物を用いた新規の排水浄化法であり、また人工湿地やポンドに適用すれば浄化が難しい抗生物質等などの無害化も可能になると考えられる。パイロット浄化施設を用いて、本法の有効性と浄化性能の促進効果について検討する予定である。

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 3件、国際 5件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 5件、海外 9件)
- ③ 論文詳細情報

1. C. Chiemchaisri, W. Chiemchaisri, P. Nindee, C.Y. Chang and Kazuo Yamamoto et al. Treatment performance and microbial characteristics in two-stage membrane bioreactor applied to partially stabilized leachate. Water Science and Technology, accepted

2. Simanata Threedeach, Wilai Chiemchaisri, Toru Watanabe, Chart Chiemchaisri, Ryo Honda, Kazuo Yamamoto (2012) Antibiotic resistance of Escherichia coli in leachates from municipal solid waste landfills: Comparison between semi-aerobic and anaerobic operations. *Biores. Technol.* (in press)
3. S. Chitapornpan, C. Chiemchaisri, W. Chiemchaisri, R. Honda and K. Yamamoto (2012) Photosynthetic bacteria biomass production from food processing wastewater in sequencing batch and membrane photo-bioreactor. *Water Sci. Technol.* 65(3), 504-512.
4. 本多 了, 渡部 徹, 真砂 佳史, Rungnapa Chulasak, Kulchaya Tanong, Chaminda Tushara G.G., Variga Sawaittayotin, Krison Wongsila, Chawala Sienglum, Varisara Sunthonwatthanaphong, Anupong Poonnotok, Chart Chiemchaisri, 古米 弘明 (2011) タイ王国チャオプラヤ川流域における抗生物質耐性大腸菌の分布. 土木学会論文集 G(環境). 67(7) (環境工学研究論文集. 48), III\_173-178.
5. 本多 了, 福士謙介 (2011) 下水汚泥を利用した燃料作物栽培による温室効果ガス排出削減効果. 土木学会論文集 G (環境) . 67(6) (環境システム研究論文集. 39), II\_299-305.
6. Reis, A.R and Sakakibara, Y.: Continuous treatment of endocrine disrupting chemicals by aquatic plants and biological Fenton Reaction., *JSCE, Ser. G (Environmental Research)*, 67(7), 725-734 (2011).
7. S. Theepharaksapan, C. Chiemchaisri, W. Chiemchaisri, P. Nindee, C.Y. Chang and K. Yamamoto. Removal of pollutants and reduction of bio-toxicity in a full scale chemical coagulation and reverse osmosis leachate treatment system. *Bioresource Technology*, 102, 5381-5388, 2011
8. Y. Sakakibara, A. R. Ruis, K. Tabei, K. Kyuma, and Y. Inagaki: Treatments of Trace Phenolic Endocrine Disrupting Chemicals by Aquatic plants, *IWA SSS 4 WATER* (accepted)
9. 本多 了, 福士謙介 (2011) 下水処理場の敷地を利用した太陽光発電・小型風力発電導入によるエネルギー創出ポテンシャル. 土木学会論文集 G (環境) , 67(2), 47-53.
10. P. Nindee, C. Chiemchaisri, W. Chiemchaisri and K. Yamamoto. Treatment of partially stabilized leachate in two-stage membrane bioreactor. *Thai Environmental Engineering Journal*, 24(1), 67-76, 2010
11. Yuji Hara, Ai Hiramatsu, Ryo Honda, Makiko Sekiyama, Hiroataka Matsuda (2010) Mixed

land-use planning on the periphery of large Asian cities: the case of Nonthaburi Province, Thailand. *Sustain. Sci.* 5(2), 237-248

12. R. Honda, Y. Hara, M. Sekiyama and A. Hiramatsu (2010) Impacts of housing development on nutrients flow along canals in a peri-urban area of Bangkok, Thailand. *Water Sci. Technol.* 61(4), 1073-1080.
13. Y. Sakakibara, T. Kounoike and H. Kashimura: Enhanced treatment of endocrine disrupting chemicals by a granular bed electrochemical reactor, *Water Science and Technology*, **62**(10), 2218-2224 (2010)
14. 榊原 豊、中井 壮洋、森本 紗代、Andre Rodrigues dos REIS: 藻類付着生物膜のエストロゲン (E2) 浄化能力に関する基礎的研究、環境工学研究論文集, **47**, 691-697 (2010)

## (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) 熱帯地域における水再利用技術の開発・普及促進に係わる枠組み作り

① 研究者グループリーダー名: 山本 和夫 (東京大学・教授)

② 研究項目

### Output 1

- ・水再利用技術に関する研究開発センターの設置
- ・水再利用技術データベースの構築
- ・水再利用に関するガイドラインの策定
- ・水再利用技術および本プロジェクトに関する情報発信および広報活動

### Output 4

- ・水再利用導入にともなう経済的評価に関する研究

(2) 省エネルギー (あるいはエネルギー自立) 分散型水再生利用のための新技術開発

① 研究者グループリーダー名: 山本 和夫 (東京大学・教授)

② 研究項目

### Output 2

- ・研究計画および実験準備
- ・ベンチスケールおよびパイロットスケール実験
- ・長期運転における制御の最適化および維持管理方法の確立
- ・リン回収新技術に関する研究
- ・性能評価のための流体力学シミュレーションモデルの開発 『国内のみ』

>>「性能評価のためのパイロット試験研究開発(流体力学的シミュレーションモデルを含む)」に変更予定

### (3) 資源生産(あるいは地球温暖化ガス発生抑制)型水再生利用のための新技術開発

①研究者グループリーダー名: 山本 和夫 (東京大学・教授)

②研究項目

#### Output 3

- ・MF 膜を用いた嫌気性光照射生物反応槽プロセスの開発
  - 最適制御条件、光合成細菌増殖、膜分離の効果およびバイオマス生産効率の検証のためのラボスケールおよびベンチスケール実験
  - 食品工場廃水を対象とした膜分離光照射生物反応槽のパイロットプラントの建設と運転
  - プロセス性能の最適化と評価
- ・廃棄物処分場浸出水処理のための傾斜管付逆浸透膜分離活性汚泥法プロセスの開発
  - 有機物洗浄、膜分離活性汚泥法リアクターの運転と逆浸透膜の性能評価と最適化のためのラボスケール実験
  - 廃棄物処分場におけるパイロットプラントの建設と運転
  - プロセス性能の最適化と評価
  - 食品工業廃水を対象としたエネルギー回収システムの開発

### (4) 地域水再利用のための効果的な管理・モニタリング手法の開発

本グループは6つのサブグループにより構成される。

#### (4.1) 水質情報プラットフォームの開発

①研究者グループリーダー名: 古米 弘明 (東京大学・教授)

②研究項目

#### Output 4

- ・対象地域における既存のデータおよび情報の解析
- ・水質情報プラットフォームの開発

#### (4.2) 再利用水の健康リスク評価モデルの開発(東京大学・渡辺グループ)

①研究者グループリーダー名: 渡辺 知保 (東京大学・教授)

②研究項目

#### Output 4

- ・対象地域における既存のデータおよび情報の解析
- ・水質に伴う健康リスク評価に関する研究

#### (4.3) 再利用水の健康リスク評価モデルの開発(東北大学・大村グループ)

①研究者グループリーダー名: 大村 達夫 (東北大学・教授)

②研究項目

#### Output 4

- ・対象地域における既存のデータおよび情報の解析

- ・水質モニタリングに必要な機材の導入
- ・水質に伴う健康リスク評価に関する研究
- ・再利用水のリスク評価モデルの開発『国内のみ』

(4.4) 再利用水の健康リスク評価モデルの開発(山形大学・渡部グループ)

①研究者グループリーダー名: 渡部 徹 (山形大学・准教授)

②研究項目

Output 4

- ・対象地域における既存のデータおよび情報の解析
- ・水質に伴う健康リスク評価に関する研究
- ・再利用水のリスク評価モデルの開発

(4.5) 分散型水循環システムの評価と構築(立命館大学・中島グループ)

①研究者グループリーダー名: 中島 淳 (立命館大学・教授)

②研究項目

Output 4

- ・対象地域における最適な水再利用システムの構築

(4.6) 分散型水循環システムの評価と構築(早稲田大学・榊原グループ)

①研究者グループリーダー名: 榊原 豊 (早稲田大学・教授)

②研究項目

Output 4

- ・対象地域における最適な水再利用システムの構築
- ・水再利用システムの導入と運転

以上