

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

総合的アプローチによる東南アジア地域での分散型生活排水処理システムの
普及に関する研究
(1-1603)

平成28年度～平成30年度

Integrated Approach for Dissemination of Decentralized
Domestic Wastewater Treatment System in Southeast Asia

〈研究代表機関〉

国立研究開発法人国立環境研究所

〈研究分担機関〉

独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所

東洋大学

公益財団法人地球環境戦略研究機関

2019年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 性能評価試験および関連制度の確立と小・中規模分散型処理技術の現地化・実証に関する研究	15
(国立研究開発法人国立環境研究所)	
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-2 東南アジアにおける環境技術の地域標準化に関する研究	32
(独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所)	
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
II-3 地域の社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響解析	47
(東洋大学)	
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	

3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

II-4 汚泥の収集・処理システムの開発 64
(公益財団法人地球環境戦略研究機関)
要旨

9. はじめに
10. 研究開発目的
11. 研究開発方法
12. 結果及び考察
13. 本研究により得られた成果
14. 国際共同研究等の状況
15. 研究成果の発表状況
16. 引用文献

III. 英文Abstract 75

I. 成果の概要

課題名 1-1603 総合的アプローチによる東南アジア地域での分散型生活排水処理システムの普及に関する研究

課題代表者名 蛭江 美孝（国立研究開発法人国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター
国際廃棄物管理技術研究室 主任研究員）

研究実施期間 平成28～30年度

累計予算額 93,143千円
（うち平成28年度：31,574千円、平成29年度：31,574千円、平成30年度：29,995千円）
累計予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 生活排水、分散型処理、性能評価試験、ソフトインフラ、制度、浄化槽、現地化、地域標準化、汚泥収集・処理、ビジネスモデル

研究体制

- (1)性能評価試験および関連制度の確立と小・中規模分散型処理技術の現地化・実証に関する研究(国立研究開発法人国立環境研究所)
- (2)東南アジアにおける環境技術の地域標準化に関する研究(独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所)
- (3)地域の社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響解析(東洋大学)
- (4)汚泥の収集・処理システムの開発(公益財団法人地球環境戦略研究機関)

1. はじめに(研究背景等)

東南アジアにおいては生活排水による水環境汚染が著しく、その対策が急がれているが、下水道の急速な普及は望めないのが実情である。これに対し、我が国の浄化槽システムは、安価で設置に係る期間が短く、水環境保全効果の発現も早い分散型の生活排水処理技術であることから、東南アジア諸国への導入が期待されているが、気候条件等が大きく異なることから、ハード面での現地化が必要となる。

また、多くの東南アジア諸国においては、生活排水処理に関する排水基準がないか、あってもそれを担保する各種スキームが欠落しており、市場の製品がカタログ通りの処理性能を有していることを適正かつ公平に判断する方法がない。このため粗悪で安価な製品を排除できず、適正な処理機能を有する製品が市場で対等に勝負できない状況に陥っている。そもそも、生活排水の量・濃度、維持管理や汚泥収集の頻度・体制など、分散型生活排水処理に係る制度面が極端に不足しているため、ソフト面での制度構築も急務の課題となっている。

実際に過去の日本の取り組みとしては、浄化槽等のモデル設置プロジェクトがなされてきたが、現時点で普及に繋がっていないばかりか、当該施設の稼働すらままならない状況にあり、制度構築と連携のない技術移転は、インパクトも持続性も低いと言わざるを得ない。すなわち、我が国の分散型排水処理技術の東南アジアでの貢献および当該地域での排水処理施設の適正整備を進める上では、制度面の充実化と技術面の現地化が重要な位置づけにある。

2. 研究開発目的

本研究では、政策・社会実装に直結した制度構築と技術の現地化を連携させた総合的なアプローチに基づく研究開発を行うことで、我が国の分散型技術を東南アジア地域に展開するための道筋を付ける事

を目的とする。具体的には、インドネシアにおいて研究代表者らが構築した産学官ネットワークを活用し、我が国の浄化槽の性能評価制度等を参考に分散型污水处理技術の性能評価試験方法の確立を図る。性能試験方法や技術の開発に欠かせない生活排水の質的・量的情報については、宗教や習慣によって生活排水の特性が異なることから、インドネシアを中心として、アジア各国の地域・社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響を明らかにする。技術面では、東南アジアに適した小・中規模の分散型生活排水処理技術の現地化・開発を実施する。特に、我が国の浄化槽技術の現地化や既存下水道の問題点を補完する省エネルギー型好気性処理技術の確立を推進する。

さらに、既存の腐敗槽汚泥を含めた汚泥管理の現状把握を踏まえ、処理方法や引き抜き頻度等を含めた持続可能な汚泥管理システムの構築を図る。加えて、分散型生活排水処理システムの導入・普及による効果を検証するために排水インベントリ解析等に基づく社会的効果を評価する。

なお、インドネシアにおける研究と並行して、既存の排水処理インフラの状況が異なるバンコクにおいても検討を進めるとともに、ASEAN経済共同体の発足も踏まえ、東南アジアにおける地域標準化を目指した現状分析、ネットワーク作り、戦略策定を進めることで、成果の最大化を図る。

3. 研究開発の方法

(1) 性能評価試験および関連制度の確立と小・中規模分散型処理技術の現地化・実証に関する研究(国立研究開発法人国立環境研究所)

① 性能評価試験方法の確立

インドネシア版の分散型生活排水処理施設の性能評価方法を確立するため、サブテーマ3と連携して現地調査を行うとともに、過年度までにインドネシアにおいて構築した産官学のネットワークを活用して、生活排水処理に係る関係者間の合意形成に向けたステークホルダー会合を3年間で4回開催した。ステークホルダーの内容は、環境森林省、公共事業省、インドネシア標準化機関などの中央政府、地方政府、地方政府公社、大学および現地民間企業である。

インドネシア版の性能評価試験方法の開発については、浄化槽の性能評価方法（一般財団法人日本建築センター）をベースとして、欧州規格（EN 12566-3）や米国規格（NSF/ANSI 40）等を参考に草案を作成した。

② 小規模の分散型排水処理技術の現地化

我が国の分散型生活排水処理技術の現地化については、インドネシア国に浄化槽を設置した場合の処理性能を確認することを目的として、国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設の大型恒温試験室において、室温を30℃とし、BODおよび窒素を除去可能な家庭用浄化槽である大栄産業のFCE-5型（固液分離型流量調整付担体流動循環方式）2基を設置した（図1）。



- 室温だけでなく、生活排水の水温(10～30℃)・濃度・水量等を制御可能
 - 技術本来の性能を評価
 - 日本の四季変動やアジア地域の気候条件を再現
- 毎年、JICA研修生や国内外からの視察を受け入れ
- 浄化槽の性能評価試験所としても活用(日本建築センターへの貸与)

図1 国立環境研究所のバイオ・エコエンジニアリング研究施設に設置した浄化槽

試験原水は、実際の生活排水とし、東南アジア地域における浄化槽技術の現地化について、試験研究を行い、低コスト化の方向性を検討した。

③ 中規模の分散型排水処理技術の現地化

中規模の排水処理施設は浄化槽のスケールアップでも対応可能であるが、途上国都市部ではより少ないエネルギーでの運用、維持管理の容易性、装置設置面積の削減（省スペース化）が求められている。上記の要件を満たすため、スポンジ担体を用いる好気性ろ床法について、生活排水の実証性能評価試験をバンコクにおいて実施した。図2に示した実証試験装置は、バンコク首都圏庁（BMA）およびカセサート大学の協力を得て、BMAが管理するBongai集合住宅排水処理施設（400 m³/日）に設置し、2年以上の期間、通年で運転を行った。中・小規模の分散型排水処理では、流入排水の流量変動に対する処理の安定性に関わる実証データが重要であることから、現地で流量変動データを取得するとともに、その対応可能性を評価した。

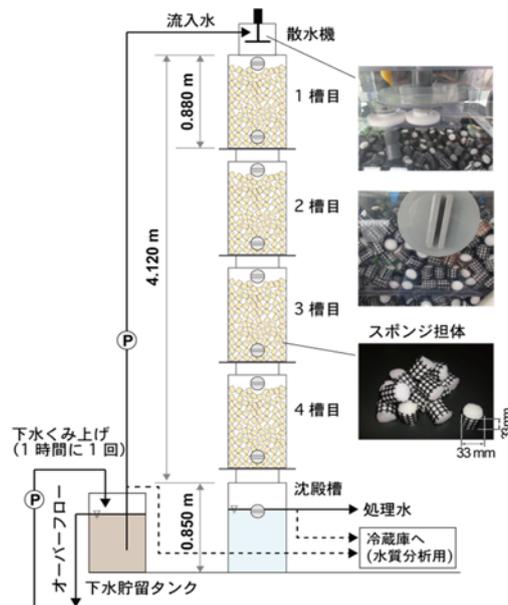


図2 実証試験に用いた好気性ろ床の概要

④ 排水・汚濁負荷インベントリの作成

本研究で開発する分散型排水処理システムの導入効果を評価するための基盤として、バンコクをモデル都市とした人口分布に基づく排水・汚濁負荷インベントリのプロトモデルの開発を行った。ここでは、2012年を対象として、バンコク都内の人口分布、排出される生活排水の特性から、1 kmメッシュで排水量およびBOD排出量の分布を求めた。なお、排水特性は、バンコクの下水処理場の流入下水およびBOD流入量のデータに基づき、一人あたりの排水量およびBOD排出量を逆算する手法を用いた。また、既存の排水処理施設の機能をインベントリへ反映するため、バンコク都の下水道整備地区（8地区）の地理情報およびバンコクの腐敗槽のBOD除去に関するデータを入手し、2015年のバンコクの生活排水のフローを構造化した。その上で、分散型排水処理システムの導入効果を評価するためのインターフェースの開発を行った。

(2) 東南アジアにおける環境技術の地域標準化に関する研究(独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所)

本研究では、分散型排水処理技術の評価方法に関する地域標準化の戦略を、他分野での地域標準化に

向けた取り組みを参考にしながら、検討を行った。具体的には、ASEANのACCSQ（アセアン標準化・品質管理諮問評議会）の取り組みや、省エネエアコンなどのASEAN地域での規格標準化に向けた先行事例について、ベトナム（ハノイ、ホーチミン）およびインドネシア（ジャカルタ、バンドン）において様々な政府機関、研究機関、民間企業などに対してヒアリングを実施した。また、2016年11月にハノイで開催されたアジア水環境パートナーシップ（WEPA）第12回全体会合では、ラオスの資源環境省などからヒアリングを実施した。その他、東南アジアでFS調査や事業活動を行っている日本企業への訪問・電話ヒアリングを行うとともに、先行研究や公式サイト等の情報を参考に地域標準化に向けたプロセスについて整理してまとめた。

性能評価試験に関する地域標準化・調和化については、マレーシア、タイ、インドネシアの分散型排水処理に関する関係者を招いて国際ワークショップを開催し、議論をまとめた。

(3) 地域の社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響解析(東洋大学)

① 東南アジアにおける生活排水の質・量調査

東南アジアにおける生活排水処理施設への流入水の質・量に関する既往調査を整理するとともに、現在、積極的に海外展開を行っている浄化槽メーカーの協力も得つつ、新たな調査を行い、それらの結果を整理し、東南アジアにおける生活排水の質・量に関する考察を行った。また、これらの結果とインドネシア側での調査結果を元に、インドネシアで開催されたステークホルダー会合を通じて、現地関係各機関と現地での分散型汚水処理施設性能評価試験における原単位について、調整を図った。さらに、この現地での性能評価試験を住宅の最小規模を想定した原単位にて実施し、その結果を用いて、様々な使用用途に適用する際やスケールアップする際の方法について、東南アジアの現状を調査し、それらの結果を元に人員算定方法等に関する提言としてまとめた。

② 東南アジアにおける衛生指標の検討

本テーマでは、各国の衛生指標とされている微生物を調査するとともに、日本で設置されている汎用的な浄化槽を対象に継続的な調査を行い、浄化槽の各処理工程と衛生指標生物除去率との関係、水温の影響、処理機能との関係を解析した。また、それらの結果を元に、塩素消毒必要の有無について、考察を行った。さらに、維持管理制度が確立されていないインドネシアの現状を踏まえ、定期的な追加補充を必要とする塩素消毒以外の方法である紫外線消毒について、基礎的な検討を行った。

③ 東南アジアでの生活排水の処理特性

本テーマでは、日本の汎用型浄化槽を模擬したモデル浄化槽を構築し、日本の水温を想定した13℃、20℃試験、インドネシアの水温を想定した30℃試験において、滞留時間を変化させることで、処理性能や貯留汚泥量に及ぼす影響を解析した。また、それらの結果から、東南アジアに適した浄化槽の容量について、検討を行った。

(4) 汚泥の収集・処理システムの開発(公益財団法人地球環境戦略研究機関)

汚泥管理の現状把握を行うため、既存の論文や報告書等を参照するとともに、一般家庭、情報提供者、事業者、コミュニティー等に対して異なる内容のアンケートを作成した。現地調査においては、一連の汚泥管理サービスにおいてキーとなる組織、人物を見いだし、バンドン市およびデンパサール市においてアンケート調査を行うとともに、関係者会合（行政、事業者、コミュニティー等）を開催した。また、現状把握や代替技術の提案において、汚泥性状や処理施設の現状分析が重要であることから、実際のセプティックタンク内の汚泥や汚泥収集車の汚泥、汚泥処理施設流出水についてサンプリングを行い、汚泥の性状や処理施設の性能分析を行った。これらを踏まえ、適切かつ商業的に持続可能な汚泥管理のビジネスモデルを提案した。

4. 結果及び考察

(1) 性能評価試験および関連制度の確立と小・中規模分散型処理技術の現地化・実証に関する研究(国立研究開発法人国立環境研究所)

① 性能評価試験方法の確立

現地調査およびステークホルダー会合を通じてインドネシア版性能評価試験方法（草案）を策定した。その特徴を以下に例示する。

試験槽への流入BOD濃度の範囲は、日本では200 mg/L±10%とされているが、欧州規格や米国規格ではより幅広い設定がなされている。想定されるインドネシアの試験場所である下水ポンプ場では、不明水等の影響で原水濃度が低いことがわかっている。そこで、日本の試験方法にならって、添加物による濃度調整を行うこととした。また、実行性の担保を踏まえ、濃度範囲も広く設定した（図3）。

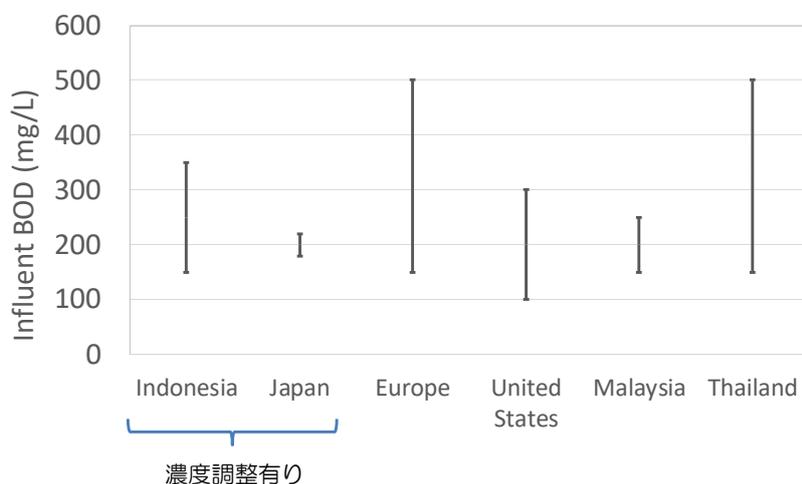


図3 試験槽への流入BOD濃度の範囲の比較

試験期間については、多くの議論があった。日本では四季があり、高温期・低温期における性能を評価する必要があるため、48週間（ほぼ1年間）の試験期間が設定されている。欧州では38週間、米国でも26週間である。一方で、インドネシアの気候は高温で安定していることから、試験実施のフィージビリティを上げる意味でも、草案では短い試験期間を設定した。なお、同じ東南アジア地域のタイでも欧州規格を参照した性能評価試験方法の確立と標準化が検討されており、連携を進めてきている。当初、18週間での試験を想定されていたが、現時点では欧州規格に倣って38週間となっている。今後、インドネシアでも試験実施の容易さと確からしさのバランスを検討していく必要があると考えられる。

この試験方法草案について、バンドン市内の分流式下水道のポンプ場に場所を確保し、公共事業省人間居住研究所の主導で、試験方法草案のトライアルを開始した（図4）。ここでは、インドネシア国内での試験設備の調達・調整の困難さ等を踏まえ、試験機関のキャパシティを高めることを主な目的とし、インドネシア側の主体性を尊重しつつ、設備の整備・調整、成分調整、採水・データ管理等について助言・指導した。試験槽は、現地メーカーの生産品を用い、継続して試験実施の手順やデータ記録様式などの整備を進めることができた。



図4 試験方法草案（左）とバンドン市の下水ポンプ場でのトライアルの様子（右）

これらの試験方法草案は、公共事業省人間居住研究所により、2017年11月にインドネシアの国家標準（SNI）化のプロセスに提案・登録され、手続きが進められているところである。なお、SNI化を進めると同時に、試験実施体制の構築に向けた段階的導入の検討を行った。この際、本試験方法を現存する公共事業省人間居住研究所の性能検査に取り込んでいくこととした（図5）。

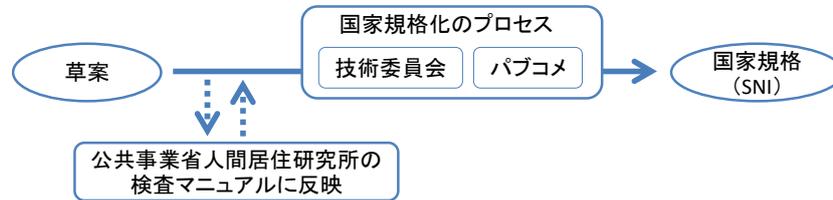


図5 試験方法の国家標準化と公共事業省人間居住研究所の性能検査への反映

② 小規模の分散型排水処理技術の現地化

我が国の浄化槽の現地化を図るため、国立環境研究所のバイオ・エコエンジニアリング研究施設において実規模の浄化槽（日処理量1m³）2基を設置し、パイロット試験を実施した。試験条件は、インドネシアでの稼働を想定して室温および排水温を30℃に設定し、東南アジア地域に設置した場合の処理性能を確認するとともに、汚泥貯留の状況等を把握し、現地化のためのファクターを明らかにすることを目的として試験を実施した。

図に示すとおり、今回、インドネシア国での使用を想定し、室温、排水温ともに30℃で試験を行った結果、これを上回る処理性能が得られることがわかった。一方で、電力供給が不十分、省エネ等の理由でブロワを稼働しない場合は、BODについては排水基準の30mg/L付近まで削減可能であったが、酸化反応が進まないことから、NH₄-Nについては基準をクリアできない状況であった。省エネ運転と水質のバランスを図るため、ブロワの稼働時間をパラメータとした試験を実施したところ、設計流入負荷（1m³/日）の条件では、ばっ気時間を25%、50%としてもアンモニアの基準を達成することができなかったが、流入負荷0.5m³/日の条件では、ばっ気時間25%でも基準を達成することができた。

すなわち、今後、より多くのデータを取得していく必要はあるが、30℃という環境条件とインドネシアの流入パターンでは、省エネ運転と水質のバランスを取りつつ、浄化槽の技術を効果的に現地化できることが示唆された。また、汚泥調査の結果から、東南アジアでの浄化槽は、汚泥貯留に必要な槽容量を低減可能であり、コスト低減を含めた現地化が可能であることが明らかとなった。

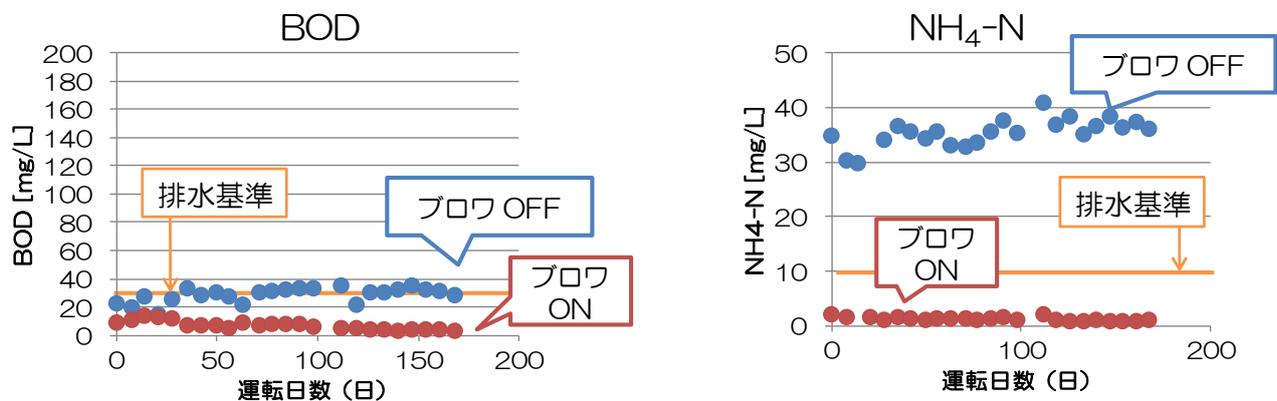


図6 BOD濃度（左図）およびT-N、処理水NH₄-N濃度（右図）の推移

以上のように、インドネシア国での浄化槽の適用性について、30℃での浄化槽試験を実施した結果、日本での浄化槽の使用に比べて、インドネシア国では温度が高いことから、微生物活性が高まり、滞留時間の短縮や汚泥の減量化など、効率化・低コスト化を実現できる可能性が示唆された。

③ 中規模の分散型排水処理技術の現地化

中規模の排水処理施設については、小規模浄化槽のスケールアップで対応可能であるが、より省エネルギー型の排水処理技術として、高度好気性ろ床法についても現地化の検討を行った。本研究では、バンコクにおける現状の排水処理技術に関する調査の結果を踏まえ、試験装置の設計・設置を行い、2016年10月末よりパイロット試験を実施した。

好気性ろ床と既存の活性汚泥法（AS）の性能比較を表1に示した。処理水質については、性能実証を行った好気性ろ床は、ASに対して特にアンモニア性窒素と大腸菌（*E. coli*）の除去性能に優れていることが明らかになった。また、処理時間（設置スペース）についてもAS比で58%低減可能であり、運転に関わる電力消費や余剰汚泥の発生量についても、AS比で79%、78%と大幅に削減可能である事が実証された。

表1 好気性ろ床による排水処理性能（流入・処理水質）

	好気性ろ床(実証技術)	小規模活性汚泥
処理水質		
全BOD (ATU-BOD)	4.1 mg/L	3.3 mg/L
アンモニア性窒素(NH ₄ -N)	3.0 mgN/L	17 mgN/L
<i>E. coli</i>	6.0 x 10 ² CFU/mL	5.2 x 10 ³ CFU/mL
処理時間 (スペース)	5時間 (実質10時間) [AS比58%削減]	24時間
電力消費	0.06 kWh/m ³ [AS比79%削減]	0.289 kWh/m ³
余剰汚泥発生量	0.013 kgTSS/m ³ [AS比78%削減]	0.0582 kgTSS/m ³

④ 排水・汚濁負荷インベントリの作成

分散型排水処理システムの導入効果を評価するため、バンコクをモデル都市として、人口分布に基づく排水・汚濁負荷インベントリを作成した結果、排水量をベースとした処理率（雨水含む）が66%であるのに対し、処理場の受入BODをベースとした排水処理率では僅か19%となり、大きな隔たりがあることがわかった（図7）。つまり、既存の下水収集システムでは、BODの回収が十分に機能してない事が示唆された。また、この原因として、雨水を含む合流下水の越流、腐敗槽等の既存衛生設備によるBOD除去、下水管路内での自然浄化あるいは下水道への未接続（河川への直接放流）などが想定され、分散型排水処理による対策や下水の分流収集の必要性が確認された。

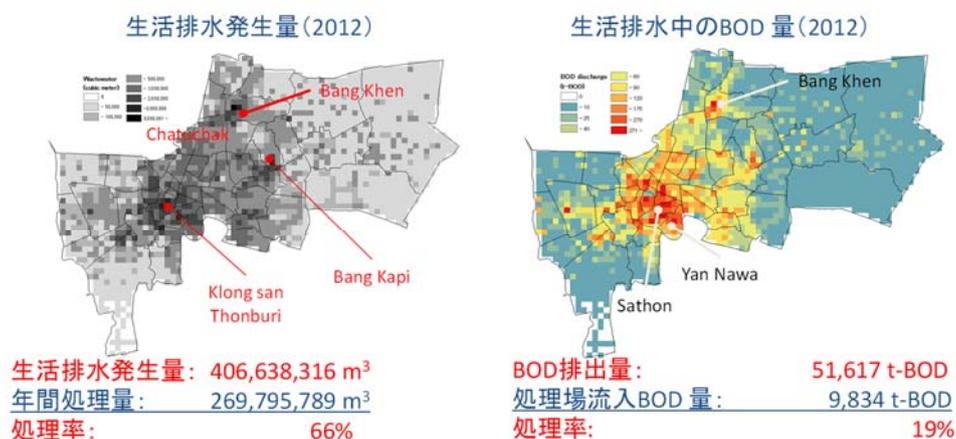


図7 バンコクにおける生活排水インベントリの一次計算結果

既存の処理施設（下水道、下水処理場、腐敗槽）の処理性能と排水インベントリから、バンコクの生活排水のフロー（排水量およびBOD基準）を作成した結果、約6万t-BODの汚濁負荷が発生するのに対し、腐敗槽でのし尿処理により12%のBODが除去され、最終的に住宅から5.3万t-BODの汚濁負荷の排出している。この内、74%は下水道未整備地区で排出されており、下水道整備地区での排出BODの75%は下水処理場へ未流入との結果となった。また、下水処理場への流入汚濁負荷は0.34t-BODとなり、これは流入下水中のBODの31%に相当し、69%は事業系排水等からの流入と推察される。最終的に、下水処理場未流入の汚濁負荷1.0t-BODと処理下水中汚濁負荷0.2t-BODが河川へ放流される結果となり、前者未処理排水の汚濁負荷対策が課題と考えられる。

河川水質の改善が芳しくない下水道整備地区であるディンデー地区およびチョンノンシー地区の高層住宅へ②で実証した好気性ろ床による処理施設を導入したモデルでは、大幅に排出基準を満たすことがわかった。但し、高層住宅に設置されている処理槽との二重処理になることから、制度上の整理が必要である。

(2) 東南アジアにおける環境技術の地域標準化に関する研究(独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所)

日本や東南アジア諸国における調査を踏まえ、分散型排水処理が適切に設計、設置され、当該国の水環境の改善に資するための制度として、次のようなものが挙げられた。

- ① 分散型排水処理設備の普及に関する制度
分散型排水処理の設置が、何らかの条件のもとで、義務づけられているか。あるいは、設置を促す政策がとられているか
- ② 分散型排水処理設備の性能
分散型排水処理設備が満たすべき要件が定められているか。
- ③ 分散型排水処理設備の性能評価方法
分散型排水処理技術が定められた要件を満たしているかどうかを測定する方法が定められているか。
- ④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理
分散型排水処理設備およびメンテナンスに関する規定があるか。

このうち、特に地域での標準化・調和化が効果的と考えられるのは、3番目に掲げた「分散型排水処理技術が定められた要件を満たしているかどうかを測定する方法」である。分散型排水処理設備が満たすべき要件は、国・地域の状況に応じて異なる基準となることは合理的である。しかしながら、ユニット型腐敗槽、浄化槽がASEAN地域内で国際的に取引が行われていることから、性能評価を行う試験方法が標準化されることは、市場での適正な競争を促すことにつながり、また、性能評価にかかる時間やコストを削減できることになる。ASEANの枠組みのなかで、市場の統合が進む中で、ASEAN諸国で分散型処理技術の性能評価に関する地域標準化を進めることは、極めて意義のあることである。

また、ASEANにおける工業規格・建築関連法令と分散型排水処理の状況を調査した結果、多くの国で制度上の不備・不足があり、ステークホルダーも多様である一方、排水処理の進捗や取り組み状況も異なることが明らかとなった。

地域標準化の観点では、ASEAN有機農業規格やASEAN Shine プロジェクト、ASEAN Guidelines on Peatland Fire Management など、他分野の取り組みを参照しつつ、分散型排水処理の性能評価の標準化・調和化に向けた検討を行った。ISOやACCSQ（ASEAN Consultative Committee on Standards and Quality）において、分散型排水処理の規格化に関する動向を注視していく必要がある他、グリーン・ビルディング認証制度は国際的な制度の他、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナムでは国内制度も存在しており、制度化の有効な手段の一つであることがわかった。

これらを踏まえ、ASEANにおける分散型生活排水に関する地域標準化としては、以下の4つのプロセス

を見いだすことができた（図8）。

- ・ ACCSQのワーキング・グループ / タスクフォース
- ・ ASEAN水資源管理ワーキンググループ（AWGWRM）での検討
- ・ 各国での取り組みをまず進める
- ・ 研究者を中心に自主的なガイドラインをまとめる

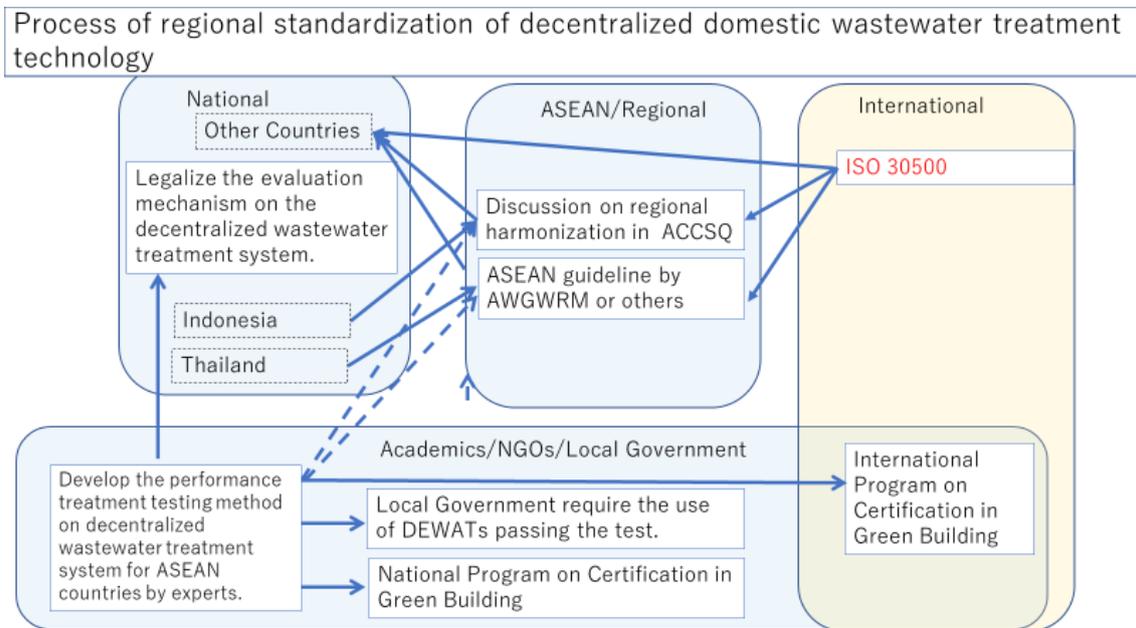


図8 地域標準化戦略におけるアプローチ

(3) 地域の社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響解析(東洋大学)

インドネシアにおける生活排水原単位については、文献及び現地調査、ステークホルダー会合での議論を踏まえ、表2に示す試験条件とすることが合意された。また、1日における排水の発生パターンは処理性能の評価において重要な因子であることから、現地調査を行った結果、日本と同様に朝と晩に2つの生活排水量ピークが確認されたが、朝のピークは日本より2～3時間程早く、これは日の出以前での宗教上の理由であると考えられた。また、日本でのバスタブの排水に相当するピークは見当たらず、生活習慣の違いが明確に現れた。これらの情報はサブテーマ1の性能評価試験方法（草案）に反映されている。

表2 インドネシアにおける分散型生活排水処理施設性能評価試験のための試験原水水質範囲

	pH	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	Oil&Grease (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)
Min.	5.8	150	145	20	27	3
Ave.	7.2	200	160	25	39	5
Max.	8.6	350	175	30	52	7

生活排水処理水衛生指標の検討に向けて、浄化槽の水温の影響、処理機能との関係を解析したところ、大腸菌群、大腸菌、腸球菌の各衛生指標生物においては、水温25℃以上の東南アジアでは、BOD除去率の向上とともに、衛生指標生物の除去効果も高くなると考えられた。また、嫌気性芽胞菌が嫌気槽での固液分離能により除去される特徴を踏まえ、東南アジアに設置する浄化槽においては、前段に固液分離部を設ける等により、嫌気性芽胞菌の除去に効果があると考えられた。

東南アジアの環境条件における排水処理の基本性能としては、日本と比較して水温が高いことから、微生物反応の活発化のみならず、貯留汚泥の可溶化が過度に進行し、処理水質が悪化する懸念があったが、実験結果から、水温30℃付近で一定であったならば、処理水質は良好で、かつ、汚泥貯留量も少なくできることがわかった。具体的には、日本製浄化槽を100とした場合、東南アジアに設置する浄化槽を75とコンパクトにした浄化槽であっても、日本と同等の性能を発揮できると試算された（図9）。

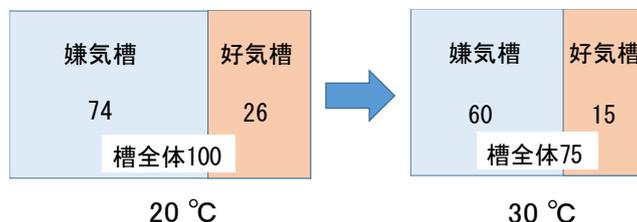


図9 インドネシアの条件での浄化槽容量の試算

(4) 汚泥の収集・処理システムの開発(公益財団法人地球環境戦略研究機関)

バンドン市とデンパサール市は現在、技術的な面でも技術面以外でも、汚泥の管理において大きな課題に直面している。そこで、2つの調査対象都市における汚泥管理の実態を把握するため、現地調査を行った。両市の汚泥管理の全体像を把握し、課題をより深く理解するため、汚泥フローを作成した(図10)。

この図に示されているように、バンドンの人口の40%以上が野外排泄となっており、し尿や生活雑排水は、近くの運河や水域(河川、湖沼)に直接排出されていた。発生した汚泥の約37%のみが収集され、下水道(4ヶ所の指定された投棄地点)に排出され、生活排水とともにBojongsoang下水処理施設に送られている。なお、この調査を実施している時点では、バンドンには汚泥処理施設は存在していない。一方、デンパサールではほとんどの世帯にセプティックタンクが設置されており、かなり状況が異なっていた。発生した汚泥の97%近くが民間企業によって回収されたと推定され、この回収された汚泥の極一部は、設計処理量400m³/日(実稼働で200~300m³/日)のSuwung汚泥処理場に輸送されている。収集されたものの汚泥処理施設に搬入されていない汚泥は不法投棄されている。

衛生処理計画の立案者にとっての課題の1つは、汚泥の引き抜きに関する手順の標準化と発生汚泥量の推計の精緻化であると言える。このような情報は、汚泥処理場の設計時に処理規模を決定するために必須であるとともに、ビジネスモデルの提案において、維持管理費および料金体系等を決定することにも不可欠である。

既存のサービスチェーン全体の状況を踏まえたビジネスモデルの提案にあたっては、関係者会合を繰り返し、現地業者が納得し、商業的に持続可能なモデルの構築を目指した。バンドンの例を図11に示す。提案したビジネスモデルの特徴の一つは、不法投棄を避ける動機付けを組み込んだところである。2019年1月25日にバンドン市で開催した「インドネシアの都市部におけるセプタージ収集と処理のためのビジネスモデルに関する全国ワークショップ」では、20の地方自治体の関係部局、公共事業・住宅省の代表者、バンドンとデンパサールの関係部署、インドネシアの衛生に取り組んでいる地元および国際的なNGO、大学、研究機関から100名の参加者があり、汚泥管理に関する関心の高まりが示唆された。

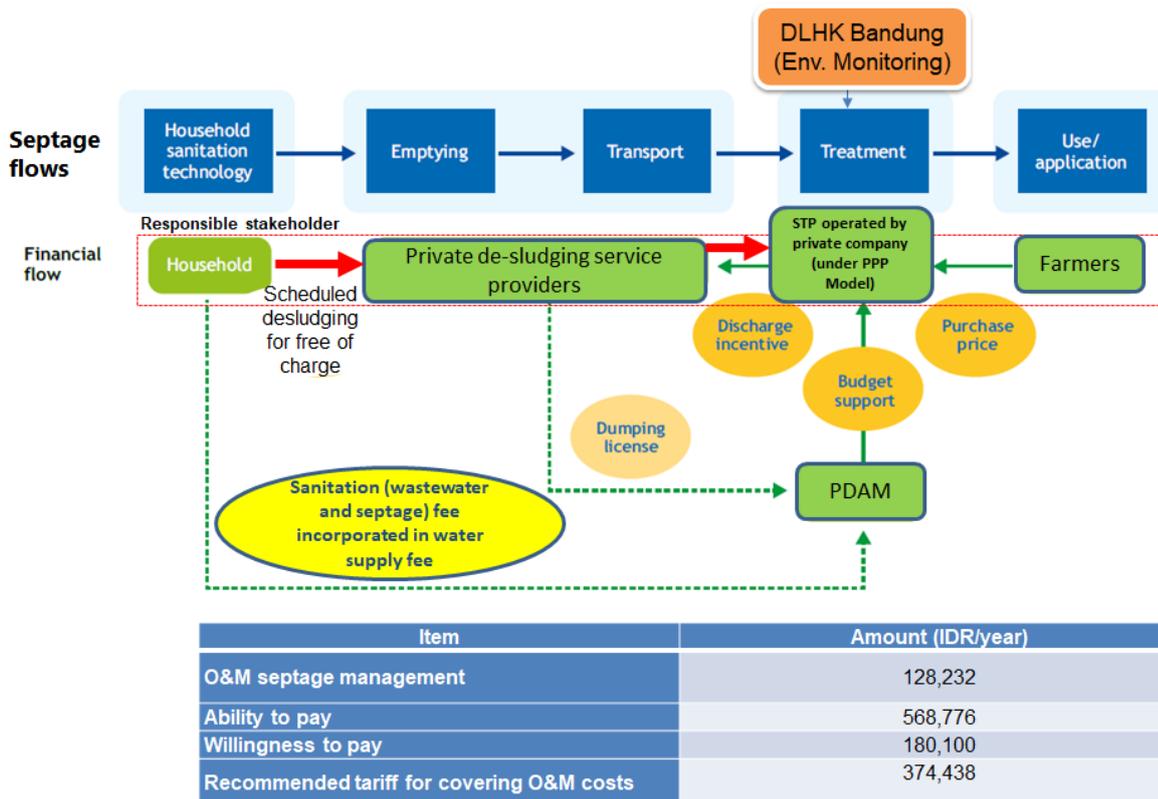


図4-(4)-○ 本研究で提案した汚泥管理に関するビジネスモデル（バンドン）

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

従来、浄化槽の国際展開としては、モデル設置等のプロジェクトが実施されてきたが、制度構築と連携のない技術移転は、インパクト、持続性ともに低いことに着目し、政策・社会実装に直結した制度構築と技術の現地化を連携させた総合的なアプローチに基づく研究開発を行うことで、産学官ネットワークによるステークホルダー会合を通じ、相手国における性能評価試験方法の草案を作成し、国家標準化を進めることができた。技術面においてもパイロット試験を通じて、東南アジアの環境条件や生活習慣に適合した技術の現地化の方向性が示された。また、汚泥管理の現状把握を踏まえ、処理方法や引き抜き頻度等を含めた持続可能なビジネスモデルを提案した。さらに、これらの取り組みを踏まえたASEANにおける標準化戦略として、4つのプロセスを見いだすことができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

東南アジアにおいては生活排水による水環境汚染が著しく、その改善のため、早急かつ具体的な国際協力が求められている分野である。これに対し、我が国の浄化槽システムは、経済的で設置に係る期間が短く、水環境保全効果の発現も早い分散型の生活排水処理技術であることから、東南アジア諸国への導入が期待されている。但し、気候条件等が日本とは大きく異なることから、本研究では、技術的な現地化を実証試験により推進し、槽容量の最適化や効率化に関する知見を得ることができた。

また、多くの東南アジア諸国においては、生活排水処理に関する排水基準を担保する各種スキームが欠落しているため、粗悪で安価な製品を排除できず、適正な処理機能を有する製品が市場で対等に勝負

できない状況に陥っている。本研究では、性能評価制度を中心として、ソフト面での制度構築に向けた調査研究を実施し、インドネシア版の性能評価試験方法（草案）を作成し、国家標準化のプロセスが進められている。

これらは、浄化槽の東南アジアでの展開を図る上で、基盤となるものであり、本研究成果を踏まえ、他の対象国においても同様の政策的支援を行うことにより、浄化槽をはじめとした我が国の污水处理技術の海外展開の推進に大きく貢献できる。

また、本研究では、標準化・調和化に向けた複数のアプローチを明らかにした。これを踏まえ、経済統合の進むASEANにおいて、性能評価制度を地域で共有できれば、分散型排水処理施設の大きなマーケットを創出することができる。

さらに本研究では、汚泥管理をサービスチェーンとして捉え、制度や仕組み、経済的な観点から、行政、コミュニティ、事業者など多くの関係者を含めた議論を行い、ステークホルダー全体が持続可能なビジネスモデルを提案した。これらは、Good practiceとして水平展開が可能である。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 山崎宏史, 中村颯馬, 塩原拓実, 蛭江美孝 (2018) 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析、土木学会論文誌G (環境)、vol. 74、III_407-III_413
- 2) Miyaoka Y, Yoochatchaval W, Sumino H, Banjongproo P, Yamaguchi T, Onodera T, Okadera T, Syutsubo K (2017) Evaluation of the process performance of a down-flow hanging sponge reactor for direct treatment of domestic wastewater in Bangkok, Thailand, J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng., 52(10), 956-970.
- 3) Miyaoka Y., Hatamoto M., Yamaguchi T., Syutsubo K. (2017) Eukaryotic Community Shift in Response to Organic Loading Rate of an Aerobic Trickling Filter (Down-Flow Hanging Sponge Reactor) Treating Domestic Sewage. Microbial Ecology, 73, 801-814

(2) 主な口頭発表(学会等)

<口頭発表>

- 1) Ebie Y. (2019) Institutional Approach to Spreading Appropriate Decentralized Domestic Wastewater Treatment Facilities, Workshop on WEPA Action Program in Indonesia (Bandung, 国外)
- 2) Ebie Y. (2018) Establishment of the performance test for decentralized wastewater treatment facilities in Indonesia, 6th International Workshop on Decentralized Domestic Wastewater Treatment in Asia (Tokyo, 国内)
- 3) Ebie Y., Pham Ngoc Bao (2018) Septage Management in the Urban Areas of Indonesia, World Water Challenge 2018 (Daegu, 国外)
- 4) 段下剛志, 山口隆司, Wilasinee Y., 富岡典子, 蛭江美孝, 珠坪一晃 (2019) 流量変動を伴う集合住宅排水への DHS リアクターの適用評価. 第 53 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 414 (甲府、国内)
- 5) Thonglee S., Yoochatchaval W., Danshita T., Yamaguchi T., Okadera T., Ebie Y., Syutsubo K. (2018) Evaluation of Nitrification and Denitrification Performance of Down-flow Hanging Sponge System for High-Strength Domestic Wastewater Treatment. IWA Water Reuse 2018 IWA Regional Conferencen on Opportunities for Water Reuse in Southeast Asia, Abstract and Proceeding Book, 206-212 (Phuket, 国外)
- 6) 久保田利恵子・小島道一 (2018) 東南アジアにおける環境技術の地域展開のための地域標準化戦略、国際開発学会第 19 回春季大会 (渋谷区、国内)

- 7) Michikazu Kojima and Kenji Otsuka (2019) What is the advantage of regional harmonization of standards on decentralized domestic wastewater treatment?, ASEAN regional workshop on Standardization for Domestic Wastewater Treatments (Tsukuba, 国内)
- 8) 塩原拓実, 齊藤龍一, 見城匠一郎, 山崎宏史 (2019) 浄化槽における UV-LED を適用した新規消毒方法の開発、第 46 回土木学会関東支部技術研究発表会 (前橋、国内)
- 9) 山崎宏史, 中村颯馬, 塩原拓実, 蛭江美孝 (2018) 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析、第 55 回土木学会環境工学研究フォーラム (京都、国内)
- 10) Pham Ngoc BAO, Muhammad Sonny Abfertiawan (2017) Septage Management in the Urban Areas of Indonesia -Case Study in Bandung and Denpasar City-, the 7th IWA-ASPIRE Conference & Water Malaysia Exhibition (Kuala Lumpur, 国外)
- 11) Pham Ngoc BAO, Muhammad Sonny Abfertiawan (2018) An Overview of Septage Management in Asia - Challenges and Opportunities, the 6th Workshop on Decentralized Domestic Wastewater Treatment in Asia (Tokyo, 国内)
- 12) Pham Ngoc BAO, Muhammad Sonny Abfertiawan (2019) Business Models for Septage Collection and Treatment in Indonesia - Case Study in Bandung and Denpasar City, the National Workshop on Business Models for Septage Collection and Treatment in the Urban Areas of Indonesia (Bandung, 国外)
- 13) 宮岡佑馬, 中澤駿一, ウィラシニーユーチャッチャブン, 角野晴彦, 山口隆司, 珠坪一晃 (2017) 好気性ろ床の下水処理特性に及ぼす流量変動の影響評価. 第51回日本水環境学会年会, 同講演プログラム, 140
- 14) Miyaoka Y., Yoochatchaval W., Yamaguchi T., Syutsubo K. (2017) PROCESS PERFORMANCE OF A DOWN-FLOW HANGING SPONGE REACTOR FOR DIRECT TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER IN BANGKOK, THAILAND. International conference of Science of Technology Innovation 2017, Abstracts, 65
- 15) 岡寺智大, 珠坪一晃, 小野寺崇, Yoochatchaval W. (2016) バンコクの大規模下水処理場と都市河川水質の現状. 第53回 日本地域学会年次大会, なし
- 16) 大山由香, 杉浦洋輔, 蛭江美孝, 山崎宏史: 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析、土木学会関東支部第44回技術研究発表会 (埼玉) 2017年3月7、8日、同予稿集、VII-38.
- 17) Yoshitaka Ebie, Rieko Kubota, Hiroshi Yamazaki, Elis Hastuti, Sri Darwati, Prayatni Soewondo (2017) Performance Testing Method for Decentralized Domestic Wastewater Treatment Facilities in Indonesia, 2nd International Forum on Sustainable Future in Asia, Bali, Indonesia, 26-28 January, 2017, Program Book, p.34.
- 18) Yoshitaka Ebie (2016) Institutional Approach for Dissemination of Decentralized Domestic Wastewater Treatment Systems, 12th WEPA Annual Meeting, Hanoi, Vietnam, 28-30 November, 2016
- 19) Okadera T., Syutsubo K., Onodera T., Yoochatchaval W. (2016) Analysis of sewage treatment with wastewater inventories in Bangkok, Water and Environment Technology Conference 2016 (WET2016), Program and abstracts, 25.

<ポスター発表>

- 1) 見城匠一郎, 齊藤龍一, 塩原拓実, 山崎宏史 (2019) 浄化槽における生物処理と UV-LED の適用による衛生指標菌の削減、第 53 回日本水環境学会年会 (甲府、国内)

7. 研究者略歴

研究代表者

蛭江 美孝

筑波大学大学院農学研究科修了、博士 (農学)、現在、国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター/主任研究員

研究分担者

- 1) **珠坪 一晃**
長岡技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程修了、(株)荏原総合研究所生物研究室主任、現在、国立環境研究所地域環境研究センター/室長、副センター長
- 2) **岡寺 智大**
大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻博士後期課程修了、国立環境研究所流域圏環境管理研究プロジェクト研究員、現在、国立環境研究所地域環境研究センター/主任研究員
- 3) **小野寺 崇**
長岡技術科学大学大学院工学研究科博士課程修了、日本学術振興会特別研究員、現在、国立環境研究所地域環境研究センター/主任研究員
- 4) **小島 道一**
カリフォルニア大学バークレー校農業経済・資源経済学科修士号取得、アジア経済研究所開発研究部、現在、アジア経済研究所新領域研究センター（ERIAに出向）/上席主任調査研究員
- 5) **大塚 健司**
筑波大学大学院生命環境科学研究科博士後期課程修了、博士（環境学）、社団法人システム科学研究所調査研究部研究員、現在、アジア経済研究所新領域研究センター環境・資源研究グループ長/主任研究員
- 6) **山崎 宏史**
東北大学工学部博士課程修了、アムズ（株）研究員、現在、東洋大学理工学部/准教授
- 7) **Pham Ngoc BAO**
東京大学工学部博士課程修了、東京大学工学部助手、現在、（公財）地球環境戦略研究機関/水と衛生の専門家

II. 成果の詳細

II-1 性能評価試験および関連制度の確立と小・中規模分散型処理技術の現地化・実証に関する研究

国立研究開発法人国立環境研究所

資源循環・廃棄物研究センター 国際廃棄物管理技術研究室
地域環境研究センター 環境技術システム研究室

蛭江美孝
珠坪一晃
岡寺智大
小野寺崇

平成28～30年度累計予算額：66,494千円

(うち平成28年度：22,554千円、平成29年度：21,754千円、平成30年度：22,186千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

我が国の分散型排水処理技術の東南アジアでの貢献および当該地域での排水処理施設の適正整備を進める上で、制度面の充実化と技術面の現地化に着目し、性能評価制度の確立や浄化槽技術の現地化など、総合的なアプローチに基づく研究開発を行った。具体的には、インドネシアにおいて構築した産学官ネットワークを通じて、性能評価試験方法の草案を作成し、国家標準化を進めるとともに、技術の現地化に向けてパイロット試験を実施し、低コスト化や省スペース化の目途を付けた。加えて、排水インベントリ解析等に基づく社会的効果を評価した。

[キーワード]

分散型生活排水処理、性能評価試験、ステークホルダー、現地化、排水インベントリ

1. はじめに

東南アジアにおいては生活排水による水環境汚染が著しく、その対策が急がれているが、下水道の急速な普及は望めないのが実情である。これに対し、我が国の浄化槽システムは、安価で設置に係る期間が短く、水環境保全効果の発現も早い分散型の生活排水処理技術であることから、東南アジア諸国への導入が期待されているが、気候条件等が大きく異なることから、ハード面での現地化が必要となる。

また、多くの東南アジア諸国においては、生活排水処理に関する排水基準がないか、あってもそれを担保する各種スキームが欠落しており、市場の製品がカタログ通りの処理性能を有していることを適正かつ公平に判断する方法がない。このため粗悪で安価な製品を排除できず、適正な処理機能を有する製品が市場で対等に勝負できない状況に陥っている。そもそも、生活排水の量・濃度、維持管理や汚泥収集の頻度・体制など、分散型生活排水処理に係る制度面が極端に不足しているため、ソフト面での制度構築も急務の課題となっている。

実際に過去の日本の取り組みとしては、浄化槽等のモデル設置プロジェクトがなされてきたが、現時点で普及に繋がっていないばかりか、当該施設の稼働すらままならない状況にあり、制度構築と連携のない技術移転は、インパクトも持続性も低いと言わざるを得ない。すなわち、我が国の分散型排水処理技術の東南アジアでの貢献および当該地域での排水処理施設の適正整備を進める上では、制度面の充実化と技術面の現地化が重要な位置づけにある。

2. 研究開発目的

本研究では、政策・社会実装に直結した制度構築と技術の現地化を連携させた総合的なアプローチに基づく研究開発を行うことで、我が国の分散型技術を東南アジア地域に展開するための道筋を付ける事を目的とする。具体的には、インドネシアにおいて研究代表者らが構築した産学官ネットワークを活用

し、我が国の浄化槽の性能評価制度等を参考に分散型污水处理技術の性能評価試験方法の確立を図る。性能試験方法や技術の開発に欠かせない生活排水の質的・量的情報については、宗教や習慣によって生活排水の特性が異なることから、インドネシアを中心として、アジア各国の地域・社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響を明らかにする。技術面では、東南アジアに適した小・中規模の分散型生活排水処理技術の現地化・開発を実施する。すなわち、下水道の拡張や分流式への改修は莫大なコスト/時間が必要な事から、即効的な汚濁対策として分散型処理に対応可能な適地型排水処理システムの開発と展開が有効であると考えられ、我が国の浄化槽技術の現地化や既存下水道の問題点を補完する省エネルギー型好気性処理技術の確立を推進する。

3. 研究開発方法

3-(1)-1 性能評価試験方法の確立

インドネシア版の分散型生活排水処理施設の性能評価方法を確立するため、サブテーマ3と連携して現地調査を行うとともに、過年度までにインドネシアにおいて構築した産官学のネットワークを活用して、生活排水処理に係る関係者間の合意形成に向けたステークホルダー会合を開催した。ステークホルダーの内容は、環境森林省、公共事業省、国家標準化機関などの中央政府、地方政府、地方政府公社、大学および現地民間企業であり、2014年度以降、既に3回の会合を開催してきている（図(1)-1）。本研究では、これに引き続き、3年間で計4回のステークホルダー会合を主催した。



図(1)-1 インドネシアにおける第1回産官学のステークホルダー会合

インドネシア版の性能評価試験方法の開発については、浄化槽の性能評価方法（一般財団法人日本建築センター）をベースとして、欧州規格（EN 12566-3）や米国規格（NSF/ANSI 40）等を参考に、特に、我が国とは大きく異なる部分として、表(1)-1に留意しつつ草案を作成した。

表(1)-1 試験方法の開発において留意すべき日本とインドネシアの相違点

	日本	インドネシア
気候	四季がある。	一年中高温である。 雨季と乾季がある。
宗教	顕著な宗教的特性はない	日の出前に礼拝があることから、朝が早い。 イスラム教徒が大多数であり、1日5回の礼拝の前に手足を洗う。 ラマダンの間は生活リズムが大きく変化する。
生活様式	浴槽がある。 トイレトペーパーを使用する。	浴槽がなく、シャワーが中心である。 トイレトペーパーを使用しない。
社会インフラ	電気、水道の普及率が高い。	電力供給は都市部では安定してきている。 水道の普及は必ずしも高くない。

3-(1)-2 小規模の分散型排水処理技術の現地化

我が国の分散型生活排水処理技術の現地化については、インドネシア国に浄化槽を設置した場合の処理性能を確認することを目的として、国立環境研究所バイオ・エコエンジニアリング研究施設の大型恒温試験室において、室温を30℃とし、BODおよび窒素を除去可能な家庭用浄化槽である大栄産業のFCE-5型（固液分離型流量調整付担体流動循環方式）2基を設置した（図(1)-2）。



- ・ 室温だけでなく、生活排水の水温(10～30℃)・濃度・水量等を制御可能
 - 技術本来の性能を評価
 - 日本の四季変動やアジア地域の気候条件を再現
- ・ 毎年、JICA研修生や国内外からの視察を受け入れ
- ・ 浄化槽の性能評価試験所としても活用(日本建築センターへの貸与)

図(1)-2 国立環境研究所のバイオ・エコエンジニアリング研究施設に設置した浄化槽

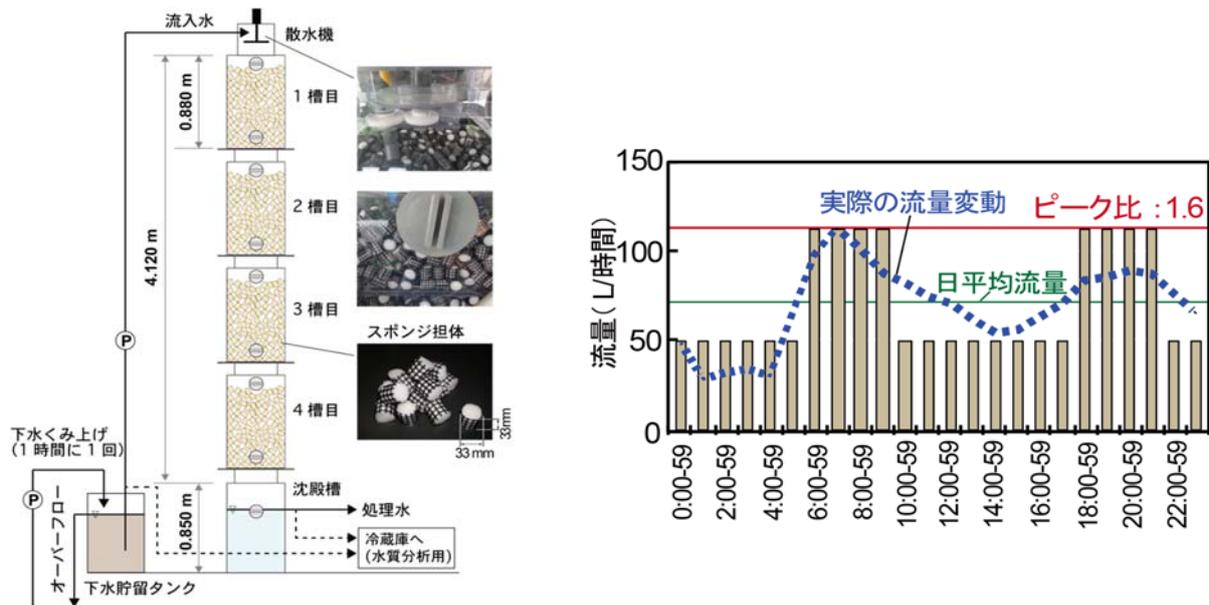
試験原水は、実際の生活排水とし、必要に応じてBOD200mg/L、T-N45mg/Lに調整し、設計負荷（1m³/日）で流入させた。流入条件としては、排水温を30℃とした上で、一般家庭では夜間は排水の発生がないことから、1日のうち15時間は1時間毎に約67Lを流入させ、9時間は流入を停止した。さらに、インドネシアでの調査結果に基づき、原水流入パターンをインドネシア版とした上で、ブロワの稼働時間を変更し、省エネ運転についても検討を行った。運転は約半年間行い、試験終了後に、汚泥発生量等の調査を実施した。

3-(1)-3 中規模の分散型排水処理技術の現地化

中規模の排水処理施設は浄化槽のスケールアップでも対応可能であるが、途上国都市部ではより少ないエネルギーでの運用、維持管理の容易性、装置設置面積の削減（省スペース化）が求められている。上記の要件を満たすため、スポンジ担体を用いる好気性ろ床法について、生活排水の実証性能評価試験をバンコクにおいて実施した。図(1)-3に示した実証試験装置は、バンコク首都圏庁（BMA）およびカセサート大学の協力を得て、BMAが管理するBongai集合住宅排水処理施設（400 m³/日）に設置し、2年以上の期間、通年で運転を行った。

装置は塩化ビニル製の矩形カラム（断面サイズ50 cm×50 cm、高さ85 cm）を4槽積み重ねた構造となっており、各槽には、ランダムパッキング型のスポンジ担体（円柱形、直径及び高さ33 mm）を各カラムに4,000個（充填高75 cm）充填した。担体の見かけ体積は、各槽 175 L（4槽で合計 700 L）で充填率は50%であった。担体の実体積は350 Lである。各槽は、構造的に分離されており（各槽鉄製のフレームで支持）、槽の間から自然通気により酸素が供給される構造となっている。また、各槽にはサンプリング口を設けており、装置高さ方向での水質の変化を調査できる構造となっている。試験装置は、運転54日目までを立ち上げ期間（Phase-1および-）とし、55-287日目まで担体容積基準のHRT 4時間（2.1 m³/日：Phase-3および4）、288-344日目までHRT 5時間（1.6 m³/日：Phase-5）の一定流量条件で運転した。実排水（集合住宅から排出される生活排水）をタイマー動作により、一定時間間隔（1時間に一回）で貯留槽に汲み上げ、好気性ろ床に連続的に供給した。排水の装置への供給は上部の散水装置より排水を滴下させ、自然通気により酸素を供給する構造（=外部曝気動力無し）とした。運転開始時に既存の活性汚泥法から採取した汚泥を担体に植種して、気温条件下（温度制御無し）で処理試験を行った。また、流入水と処理水を1時間に一回ずつサンプリングして（コンポジットサンプリング）、冷蔵庫に保存し、水質

分析試料とした。



図(1)-3 (左) 実証試験に用いた好気性ろ床の概要、(右) 流量変動試験において設定した運転条件

中・小規模の分散型排水処理では、流入排水の流量変動に対する処理の安定性に関わる実証データが重要であることから、現地で流量変動データを取得した。2017年3～8月の6ヶ月間、毎月1～7日の7日間において、既存処理施設内の揚水ポンプに電圧ロガーを取り付け、揚水ポンプの稼働時間（頻度）をモニタリングした。タイでは生活様式の違いから、朝早い時間（午前5時）から深夜（午前0時）に至るまで、安定的に排水の排出が生じ、最長稼働時間（流量）と平均稼働時間（流量）との比（ピーク比）は1.6であった。そこで、流動変動パターンから①ピーク時間は6:00-10:00および18:00-22:00の1日8時間、②最大流量と日平均流量比は1.6、③1日の総処理量は1.6 m³/日（HRT 5時間に相当）を全て満たす条件（図(1)-3（右））で流量変動試験を実施し（Phase-6, 345-596日目）、流量変動下での処理性能評価を行った。

なお、既存の好気性ろ床（硬質プラスチックや礫などの比吸水性素材を用いる場合）では、排水の短絡が生じやすく、処理性能が発揮出来ない事が報告されている。そこで、本研究で生活排水の実証処理試験に適用したスポンジ担体を用いる好気性ろ床における実排水滞留時間を算定するため、飽和食塩水を用いたトレーサー試験を、Phase-3（99日目）、Phase-4（279日目）、Phase-6（589日目）に実施した。

3-(1)-4 排水・汚濁負荷インベントリの作成

本研究で開発する分散型排水処理システムの導入効果を評価するための基盤として、まずは、バンコクをモデル都市とした人口分布に基づく排水・汚濁負荷インベントリのプロトモデルの開発を行った。ここでは、2012年を対象として、バンコク都内の人口分布、排出される生活排水の特性から、1 kmメッシュで排水量およびBOD排出量の分布を求めた。なお、排水特性は、バンコクの下水処理場の流入下水およびBOD流入量のデータに基づき、一人あたりの排水量およびBOD排出量を逆算する手法を用いた。

次に、既存の排水処理施設の機能をインベントリへ反映するために、バンコク都の下水道整備地区（8地区）の地理情報およびバンコクの腐敗槽のBOD除去に関するデータを入手し、2015年のバンコクの生活排水のフローを構造化した。なお、排水特性を、地区別給水量、排水転換率およびBOD濃度により規定する手法へと改良した。

最後に、分散型排水処理システム（DHS）の導入効果を評価するためのインターフェースの開発を行った。まず、DHSの導入地区は、河川水質（BOD）の改善が芳しくない下水道整備地区（ディンデーン、

チョンノンシー)を対象とした。同地区の河川水質データの解析と現地調査により、高層住宅地区から排水の直接流入が確認されたため、同地区の高層住宅へのDHSの設置を導入対象とした。また、バンコク都排水下水道局への調査により、都内高層住宅はオンサイト排水処理設備(以下、OWT)の設置と排水基準(20mg-BOD/L)が設定されていることが判明したため、OWTでのBOD除去が不十分との想定し、OWTからの放流水の処理をDHSで行うシナリオ下での導入効果を評価した。画像解析データから対象地域の高層住宅および戸建住宅を抽出し、高層住宅の居住人口を推計した。また、タイの既存施設の実績データから高層住宅にBOD除去率85%のOWTの設置を想定した。DHSのBOD除去率は、スポンジ担体に菌体が形成されるにつれて除去率が向上するが、ここでは初期段階の78%と仮定した。

4. 結果及び考察

4-(1)-1 性能評価試験方法の確立

サブテーマ3と連携した現地調査や公共事業省人間居住研究所の情報提供等を通じて生活排水の排出パターンや原単位設定等を行い、インドネシア側と共同でインドネシア版性能評価試験方法の草案を作成した。生活排水の質・量に関する試験条件の設定については、サブテーマ3において示した。1日の排水の発生パターンについては、個別家庭の調査結果を反映した。処理規模によるピーク係数の変化は日本の例を参考とした。

これらの性能評価試験の内容および関連制度に関する議論を行うため、過年度までにインドネシアにおいて構築した産官学のネットワークを活用して、生活排水処理に係る関係者間の合意形成に向けたステークホルダー会合を4回開催した(図(1)-4)。各会合では、試験方法そのものに加えて、関連する制度等について、例えば、調達制度や建築許可制度の現状と対策の方向性(表(1)-2)等についても議論を行った。



図(1)-4 インドネシアにおける産官学のステークホルダー会合の開催状況

表(1)-2 調達・建築確認の現状と対策の方向性

性能確認のタイミング	現状	対策の方向性
排水処理製品の調達および建築許可	<ul style="list-style-type: none"> 住宅、特にコミュニティーレベルの排水処理施設については、当該製品が排水基準を満足できることを確認する規制はない。 企業については排水の放流にライセンスが必要であるが、適用技術に関する規制はなく、後追的に環境部局による検査・指導がある。 環境影響評価の必要があっても、しばしば無視され、結果として多くの排水処理施設が排 	<ul style="list-style-type: none"> 排水基準を遵守できる製品のみが設置されるように、性能評価試験および認証制度を確立し、広く適用していく。 施工基準を確立し、適切に施工されたことを確認する仕組みを検討す

	水基準を満足できていない。	る。
--	---------------	----

第4回会合では、中央政府3名、地方政府10名、現地民間企業6名を含む計40名が出席し、地方政府からの参加者7名が各地方における生活排水処理に関する制度の現状を紹介し、現在の排水処理製品の調達時および建築確認時の実態について情報共有・意見交換を行った。

第5回会合には、中央政府4名、地方政府1名、現地民間企業7名を含む計34名が出席し、分散型生活排水処理施設の性能評価方法案について議論した。インドネシア側と共同で作成してきたインドネシア版性能評価試験方法の草案について公共事業省人間居住研究所から説明があり、第一次草案および今後の進め方について基本合意に至り、インドネシア公共事業省人間居住研究所に提出した。

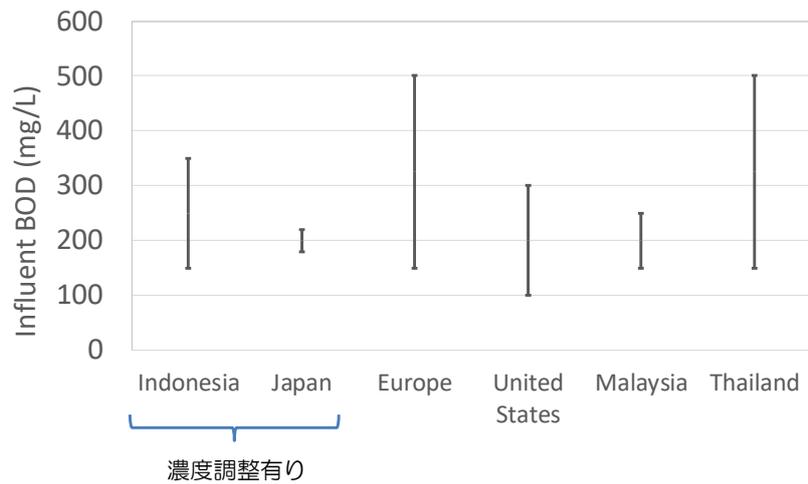
第6回会合では、中央政府7名、地方政府5名、民間企業8名を含む計29名が出席し、中央政府、地方政府及び現地民間企業と性能評価方法について意見交換を行った。現地民間企業より、性能評価方法に対して種々の助言や関連する仕組みに関する問題提起を受けたことから、引き続き、日尼が協力して議論を尽くしていくこととなった。

第7回会合では、中央政府6名、地方政府6名、民間企業13名を含む計34名が出席し、中央政府、地方政府及び現地民間企業と性能評価方法について意見交換を行った。試験期間や試験原水の濃度、汚泥貯留の影響等について議論があり、現在実施中の試験方法のトライアルの結果を踏まえ、引き続き、日尼が協力していくこととなった。また、行政プロセスにおける性能評価・認証の利用方法や人員算定方法の他、衛生指標生物としての大腸菌群の規制や消毒等についても提案・議論がなされた。

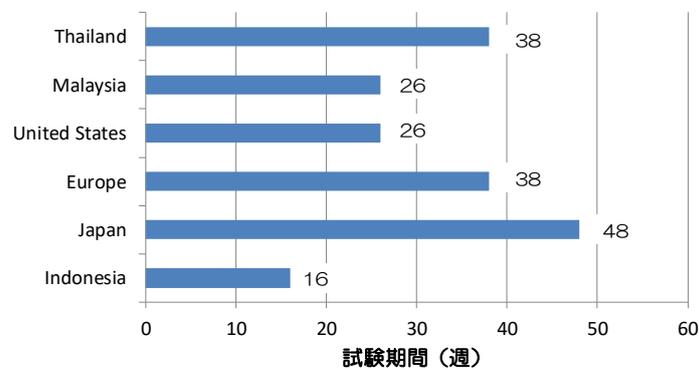
会合を通じて、多くの情報共有をすることができたが、例えば、インドネシアの状況としては、SANIMASプログラムで整備された排水処理施設は、専門家の助言を受けて住民が中心となって設計されており、当該製品が排水基準を満足できることを確認する規制はない。また、環境森林省の新たな排水基準（生活排水の水質基準に係る省令 No. 68/2016）は、BOD濃度規制の大幅強化やアンモニア態窒素、大腸菌群の追加など、これまでと比べて極めて基準が厳しいため、既存の排水処理施設のほとんどは基準を満足できない状況にある。すなわち、仮に適切な排水基準と製品が存在したとしても、調達および建築許可の時点で基準を満足しうる適切な製品が選ばれる仕組みを適用しなければ効果は限定的である。このような状況から、認証を受けたい（粗悪品と差別化したい）施設も多く存在しているとのことであり、こうした状況を打開するためにも、性能評価制度の活用が期待される。

現地調査およびステークホルダー会合を通じて作成したインドネシア版性能評価試験方法（草案）の概要は以下の通りである。

試験槽への流入BOD濃度の範囲は、日本では200 mg/L±10%とされているが、欧州規格や米国規格ではより幅広い設定がなされている。想定されるインドネシアの試験場所である下水ポンプ場では、不明水等の影響で原水濃度が低いことがわかっている。そこで、日本の試験方法にならって、添加物による濃度調整を行うこととした。また、実行性の担保を踏まえ、濃度範囲も広く設定した（図(1)-5）。試験期間については、多くの議論があった。日本では四季があり、高温期・低温期における性能を評価する必要があるため、48週間（ほぼ1年間）の試験期間が設定されている。欧州では38週間、米国でも26週間である。一方で、インドネシアの気候は高温で安定していることから、試験実施のフィージビリティを上げる意味でも、草案では短い試験期間を設定した（図(1)-6）。なお、同じ東南アジア地域のタイでも欧州規格を参照した性能評価試験方法の確立と標準化が検討されており、連携を進めてきている。当初、18週間での試験を想定されていたが、現時点では欧州規格に倣って38週間となっている。今後、インドネシアでも試験実施の容易さと確からしさのバランスを検討していく必要があると考えられる。



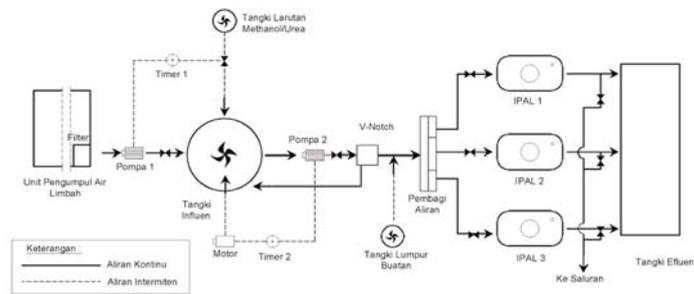
図(1)-5 試験槽への流入BOD濃度の範囲の比較



図(1)-6 試験期間の比較

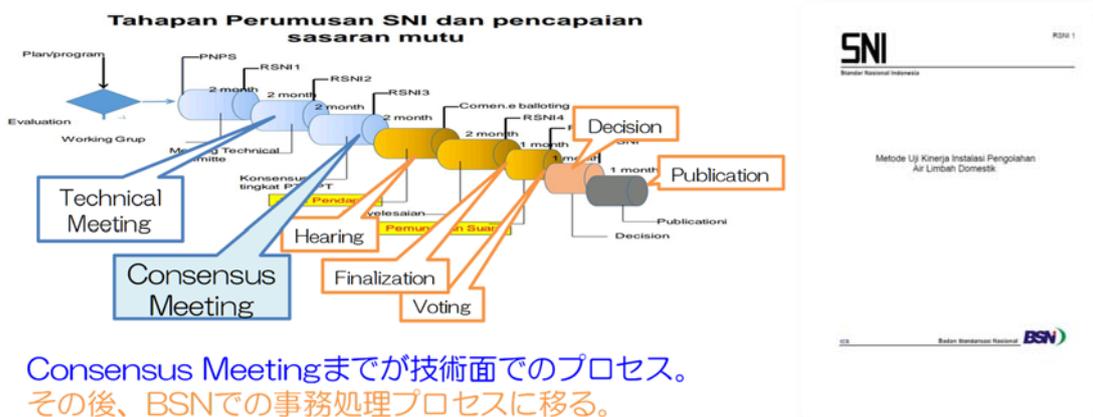
その他にも、水密・強度試験については、日本のような精緻な計算・シミュレーションは求めないが、物理的な試験により、一定の強度を担保することとした。また、材料試験やマンホール等のサイズ（維持管理の容易性）についても規定を求めた。維持管理については、製造者に維持管理要領書の作成・提出を求め、これに基づいて試験を実施することで、維持管理方法についてもチェック機能が働くようにした。

この試験方法草案について、バンドン市内の分流式下水道のポンプ場に場所を確保し、公共事業省人間居住研究所の主導で、試験方法草案のトライアルを開始した（図(1)-7）。ここでは、インドネシア国内での試験設備の調達・調整の困難さ等を踏まえ、試験機関のキャパシティを高めることを主な目的とし、インドネシア側の主体性を尊重しつつ、設備の整備・調整、成分調整、採水・データ管理等について助言・指導した。試験槽は、現地メーカーの生産品を用い、継続して試験実施の手順やデータ記録様式などの整備を進めることができた。



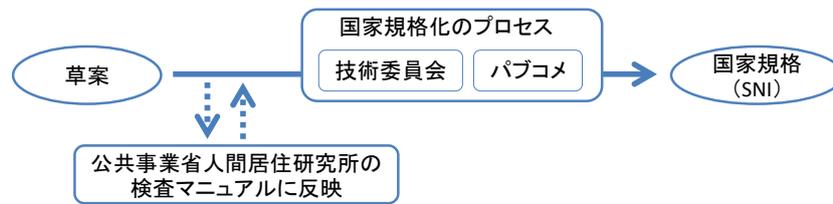
図(1)-7 試験方法草案のトライアル

これらの試験方法草案は、公共事業省人間居住研究所により、2017年11月にインドネシアの国家標準（SNI）化のプロセスに提案・登録され、手続きが進められているところである（図(1)-8）。なお、SNI化を進めると同時に、試験実施体制の構築に向けた段階的導入の検討を行った。この際、本試験方法を現存する公共事業省人間居住研究所の性能検査に取り込んでいくこととした（図(1)-9）。



Consensus Meetingまでが技術面でのプロセス。
その後、BSNでの事務処理プロセスに移る。

図(1)-8 試験方法のインドネシア国家標準化

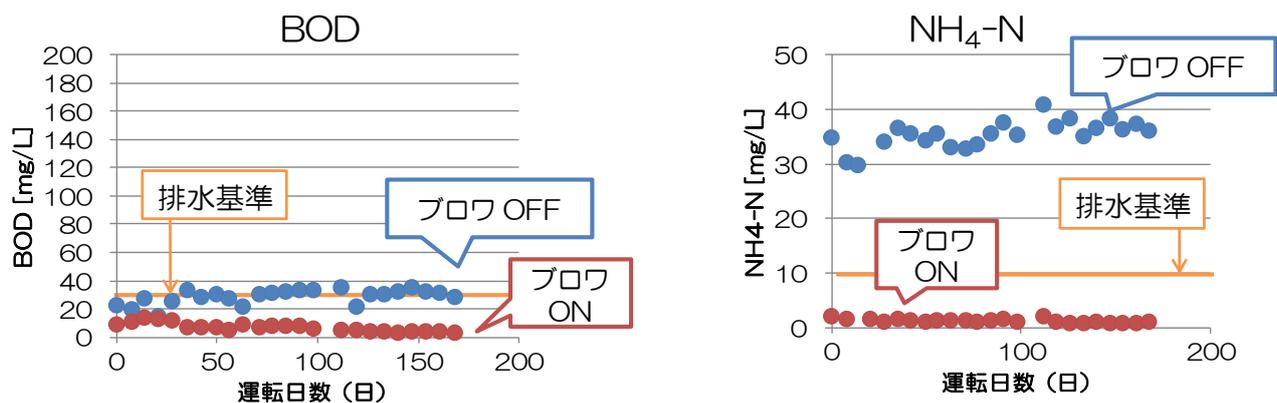


図(1)-9 試験方法草案を踏まえた国家標準化

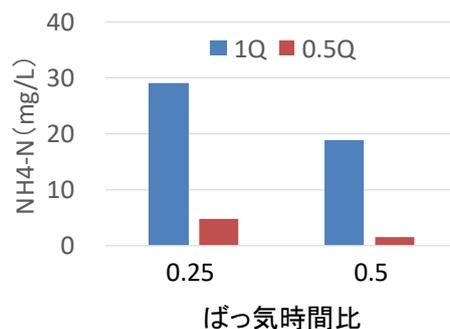
4-(1)-2 小規模の分散型排水処理技術の現地化

我が国の浄化槽の現地化を図るため、国立環境研究所のバイオ・エコエンジニアリング研究施設において実規模の浄化槽（日処理量1m³）2基を設置し、パイロット試験を実施した。試験条件は、インドネシアでの稼働を想定して室温および排水温を30℃に設定し、東南アジア地域に設置した場合の処理性能を確認するとともに、汚泥貯留の状況等を把握し、現地化のためのファクターを明らかにすることを目的として試験を実施した。

試験期間中のBODおよび窒素の推移を図(1)-10に示す。原水が200mg/L程度であるのに対して、ブロワを稼働した通常運転の浄化槽の処理水は運転開始直後から10mg/L前後となり、1ヶ月後からは常に10mg/Lを下回る状況であった。使用した浄化槽（FCE型）の処理性能はBOD20mg/L以下とされているが、これは日本での使用を想定したものである。今回、インドネシア国での使用を想定し、室温、排水温ともに30℃で試験を行った結果、これを上回る処理性能が得られることがわかった。同様に、T-Nについても運転開始直後から20mg/L前後となり、その後は安定して10～20mg/Lを推移した。またNH₄-Nを見ると、ほぼ1mg/L前後で推移しており、効率的に硝化反応が進行していた。これらことから、インドネシアを想定した30℃の温度条件において、使用した浄化槽（FCE型）は日本で認定されている処理性能を上回って処理可能であることが明らかとなった。一方で、電力供給が不十分、省エネ等の理由でブロワを稼働しない場合は、BODについては排水基準の30mg/L付近まで削減可能であったが、酸化反応が進まないことから、NH₄-Nについては基準をクリアできない状況であった。

図(1)-10 BOD濃度（左図）およびT-N、処理水NH₄-N濃度（右図）の推移

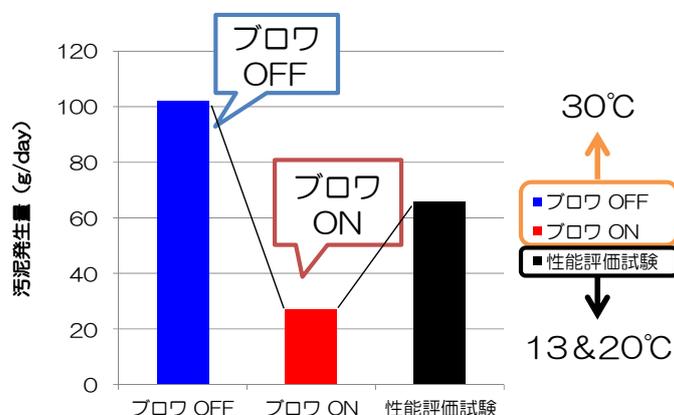
そこで、省エネ運転と水質のバランスを図るため、ブロワの稼働時間をパラメータとした試験を実施した。設計流入負荷（1m³/日）の条件では、ばっ気時間を25%、50%としてもアンモニアの基準を達成することができなかったが、流入負荷0.5m³/日の条件では、ばっ気時間25%でも基準を達成することができた（図(1)-11）。



図(1)-11 ばっ気時間比と流入負荷がアンモニア処理性能に及ぼす影響

今後、より多くのデータを取得していく必要はあるが、30℃という環境条件とインドネシアの流入パターンでは、省エネ運転と水質のバランスを取りつつ、浄化槽の技術を効果的に現地化できることが示唆された。

試験終了後の汚泥調査の結果を図(1)-12に示す。電力供給が不十分、省エネ等の理由でブロワを稼働しない場合は、汚泥発生量は102g/日と大幅に増加しており、除去BODに対する汚泥転換率は54%となった。一方、ブロワを稼働した場合の汚泥発生量は27.0g/日であり、当該浄化槽の日本での性能評価試験時の値(65.9g/日)と比べても大幅に低く、除去BODに対する汚泥転換率では14%であった。これは、水質調査の時と同様に、温度が高いことによって微生物活性が高まり、浄化槽の汚泥発生量を低下させたものと考えられた。この試験では、稼働日数は約半年であり、貯留期間を1年とした場合は、さらに分解が進む可能性がある。すなわち、東南アジアでの浄化槽は、汚泥貯留に必要な槽容量を低減可能であり、コスト低減を含めた現地化が可能であることが明らかとなった。



図(1)-12 東南アジアを想定したパイロット試験と日本での性能評価試験時の汚泥発生量の比較

以上のように、インドネシア国での浄化槽の適用性について、30℃での浄化槽試験を実施した結果、日本での浄化槽の使用に比べて、インドネシア国では温度が高いことから、微生物活性が高まり、滞留時間の短縮や汚泥の減量化など、効率化・低コスト化を実現できる可能性が示唆された。

4-(1)-3 中規模の分散型排水処理技術の現地化

中規模の排水処理施設については、小規模浄化槽のスケールアップで対応可能であるが、より省エネルギー型の排水処理技術として、高度好気性ろ床法についても現地化の検討を行った。本研究では、バンコクにおける現状の排水処理技術に関する調査の結果を踏まえ、試験装置の設計・設置を行い、2016年10月末よりパイロット試験を実施した。

実証試験装置による性能評価試験の結果を表(1)-3に示す。流入水質および好気性ろ床処理水質は、24

時間コンポジットサンプルの水質である。表(1)-3には参考データとして、既存設備の活性汚泥法（曝気槽HRT；24時間）の処理水質も示した（スポットサンプリングの水質）。流入水（生活排水）の有機物濃度は、分流収集を行っているにもかかわらず、全BODで 105 ± 23 mg/L（全CODで 285 ± 71 mg/L）と、日本国内の排水と比較して低濃度であったが、窒素濃度はT-N 50 ± 10 mg/L（アンモニア性窒素 37 ± 6 mg/L）と相対的に高かった。水温については、試験期間中、 $27 \sim 30^\circ\text{C}$ と高く維持された。

表(1)-3 好気性ろ床による排水処理性能（流入・処理水質）

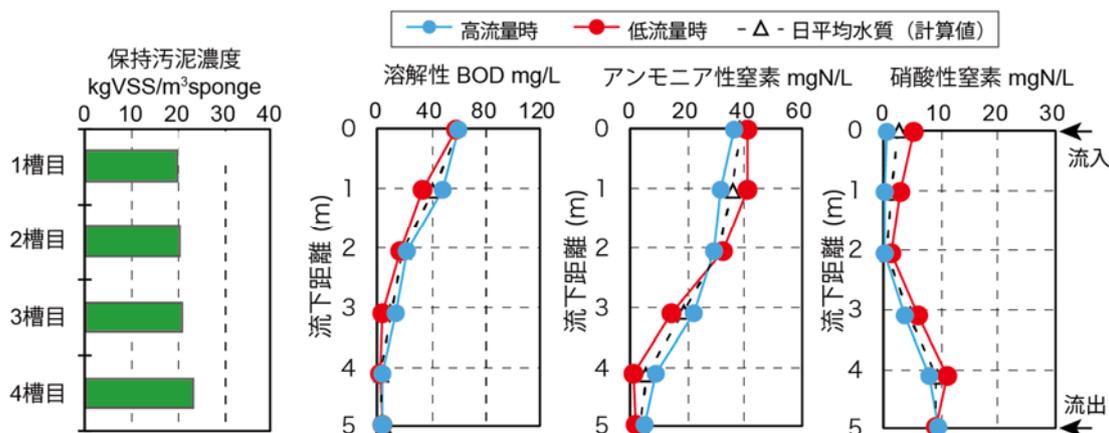
	流入水	好気性ろ床 処理水				活性汚泥 処理水
		Phase-3 days 55-177	Phase-4 days 213-287	Phase-5 days 288-344	Phase-6 days 345-596	
		HRT 4 時間	HRT 4 時間	HRT 5 時間	流量変動条件 (HRT 5時間)	
運転条件（負荷）						
BOD負荷	kgBOD/m ³ /day	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.21	0.4 ± 0.10	0.50 ± 0.18	
窒素負荷	kgN/m ³ /day	0.20 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.02	0.2 ± 0.03	
水質指標						
TSS	mg/L	83 ± 37	3.7 ± 1.8	6.3 ± 4.0	5.8 ± 5.8	8.2 ± 6.1
全BOD	mg/L	105 ± 23	4.6 ± 3.1	5.0 ± 3.6	4.0 ± 1.2	4.1 ± 2.5
溶解性BOD	mg/L	59 ± 17	3.6 ± 2.9	2.5 ± 1.7	2.3 ± 1.0	2.6 ± 2.1
アンモニア性窒素	mgN/L	37 ± 6.0	6.8 ± 5.4	7.5 ± 3.1	3.2 ± 3.0	3.0 ± 2.1
亜硝酸性窒素	mgN/L	0.0 ± 0.0	2.0 ± 2.6	0.3 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.2
硝酸性窒素	mgN/L	1.1 ± 1.3	19 ± 7.2	7.7 ± 2.6	17 ± 8.5	10 ± 2.2
大腸菌	CFU/mL	2.6×10^5	6.5×10^2	2.4×10^2	6.2×10^2	6.0×10^2
除去率						
TSS	%	97 ± 1	91 ± 5	91 ± 8	91 ± 6	93 ± 8
全BOD	%	96 ± 2	92 ± 6	95 ± 2	96 ± 3	97 ± 1
溶解性BOD	%	92 ± 5	95 ± 3	95 ± 1	96 ± 3	97 ± 2
アンモニア性窒素	%	82 ± 12	76 ± 19	90 ± 5	93 ± 5	54 ± 21
大腸菌	Log 10		2.8	2.8	2.5	2.6
余剰汚泥発生量						
kgTSS/m ³ -wastewater			0.001	0.008	0.009	0.013
kgTSS/kgBOD-removed			0.010	0.068	0.11	0.11

装置の立ち上げが完了した後のHRT 4時間（装置の改良等を施した関係で、便宜的にPhase-3と4に区別）においては、処理水の全BODは 4.6 ± 3.1 mg/L（Phase-3）、 5.0 ± 3.6 mg/L（Phase-4）とバンコク都の排水基準である 20 mg/Lを大きく下回った。また、固形物（TSS）の除去はPhase-4において若干悪化した。90%以上の除去率を達成した。一方で、処理水のアンモニア性窒素は 6.8 ± 5.4 mgN/L（Phase-3）、 7.5 ± 3.1 mgN/L（Phase-4）と高く、硝化反応の進行は不十分であった。一方、高有機物負荷かつ、酸素不足な状況が生じることで脱窒反応が進行し、処理水の硝酸性窒素濃度は 7.7 ± 2.6 mgN/Lにまで低下した。装置上段では、保持された汚泥の自己分解に伴うアンモニア生成速度がアンモニア分解（硝化）速度を上回る現象も確認されたため、HRT 4時間では、排水基準である5 mgN/L以下を安定的に達成することは困難であると判断し、HRTを5時間に延長して性能評価を継続実施した（Phase-5）。その結果、処理水のアンモニア性窒素は 3.2 ± 3.0 mgN/Lまで低減され、HRT 5時間が排水基準を安定的に達成するために適切な条件（運転負荷）である事が明らかになった。

その後、Phase-6では、(図(1)-3(右))に示す条件で流量変動運転を行った。その結果、処理水のBOD濃度、アンモニア性窒素濃度も一定流量運転のPhase-5と同様に低く維持（全BOD 4.1 ± 2.5 mg/L、アンモニア性窒素 3.0 ± 2.1 mgN/L）されており、性能実証を行った好気性ろ床は、流量変動運転下においても優れた排水処理性能を発揮出来る事が実証された。また、一定流量運転であるPhase-5と比較して、ろ床下部での保持汚泥の自己消化、あるいは高流量時（高負荷時）の有機物供給などにより脱窒反応が生じ、処理水の硝酸濃度は17 mgN/Lから10 mgN/Lまで低減することが明らかになった。

図(1)-13に流量変動運転（Phase-6、595日目）における低流量時および高流量時における排水流下方

向での汚泥濃度、水質変化の様相を示す。流量変動運転前は、装置上部（1槽目、2槽目）で汚泥濃度が高く、下部に向かって減少する傾向であったが（データ未提示）、流量変動下での長期運転により保持汚泥濃度が排水流下方向で均一化した。保持汚泥濃度が均一化した後は、高流量時にも水質が悪化すること無く、良好な水質を維持した（高流量時には処理水のアンモニア性窒素濃度が若干増加するが、排水基準を満たしていた）。



図(1)-13 各槽における保持汚泥濃度と排水流下方向での水質変化(高流量時および低流量時)

表(1)-4には、飽和食塩水を用いたトレーサー試験による好気性ろ床における排水の実滞留時間の算定結果を示した。トレーサー試験の結果より、Phase-3 (99日目)では、設定HRT 4時間における実排水滞留時間は約半分の1.7時間（設定値の41%）にとどまっていた。この時、スポンジ担体の汚泥濃度は、特に下部で3~7 gVSS/L-sponge程度と低く、短絡流が生じ易い状態であったと考えられる。Phase-4 (279日目)では、装置下部の槽においても汚泥濃度は10~15 gVSS/Lに達し、その結果、実HRTは2.3時間（設定値の56%）にまで達した。排水滞留時間が適切に維持された事で、好気性ろ床における排水処理性能は運転期間を通じて安定的に維持された。また、流量変動運転を実施したPhase-6 (589日目)においては、低流量時、高流量時における滞留時間の評価を行った。その結果、スポンジ担体をろ材に用いる好気性ろ床では、図(1)-4に示す通り、スポンジ担体に均一かつ高濃度に汚泥が保持されることで、低流量条件、高流量条件共に理論値の50%程度の排水滞留時間が確保され、処理水質の安定化に寄与している事が示唆された。

表(1)-4 各Phaseにおける排水の設定滞留時間と実測滞留時間

	(1) 設定した HRT (hr)	(2) 実測 HRT (hr)	(2)/(1)
Phase-3 (day 99)	4.0	1.7	0.41
Phase-4 (day 279)	4.0	2.3	0.56
Phase-6 低流量 (day 589)	7.1	3.5	0.50
Phase-6 高流量 (day 589)	3.1	1.6	0.50

表(1)-5には、好気性ろ床と既存の活性汚泥法（AS）の最終的な性能比較を示した。処理水質については、性能実証を行った好気性ろ床は、ASに対して特にアンモニア性窒素と大腸菌（*E. coli*）の除去性能に優れていることが明らかになった。また、処理時間（設置スペース）についてもAS比で58%低減可能であり、運転に関わる電力消費や余剰汚泥の発生量についても、AS比で79%、78%と大幅に削減可能である事が実証された。以上の結果より、スポンジ担体を用いる好気性ろ床は、生活排水の中規模分散

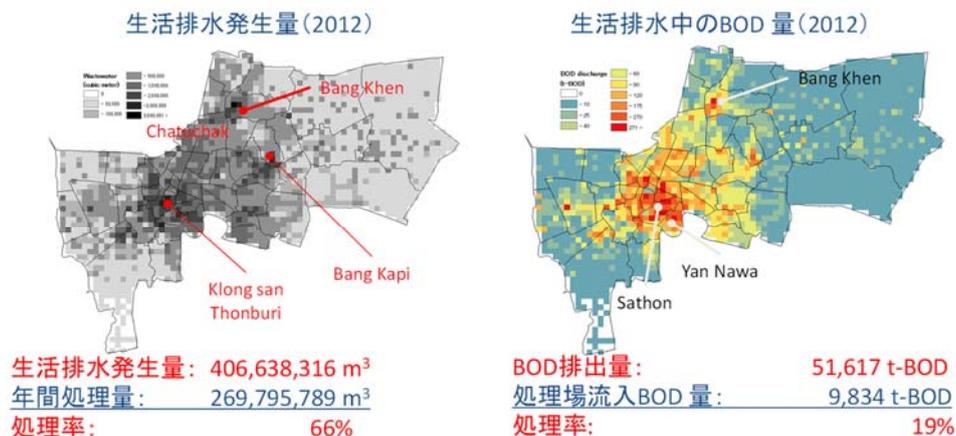
処理の省エネ・低コスト化に貢献可能であり、その優れた性能から、タイの日系民間企業の社宅排水の処理システムとして実規模導入（処理量40 m³/日，2018年より本格運用）された。

表(1)-5 好気性ろ床による排水処理性能（流入・処理水質）

	好気性ろ床(実証技術)	小規模活性汚泥
処理水質		
全BOD (ATU-BOD)	4.1 mg/L	3.3 mg/L
アンモニア性窒素(NH ₄ -N)	3.0 mgN/L	17 mgN/L
<i>E. coli</i>	6.0 x 10 ² CFU/mL	5.2 x 10 ³ CFU/mL
処理時間	5時間（実質10時間）	24時間
（スペース）	[AS比58%削減]	
電力消費	0.06 kWh/m ³	0.289 kWh/m ³
	[AS比79%削減]	
余剰汚泥発生量	0.013 kgTSS/m ³	0.0582 kgTSS/m ³
	[AS比78%削減]	

4-(1)-4 排水・汚濁負荷インベントリの作成

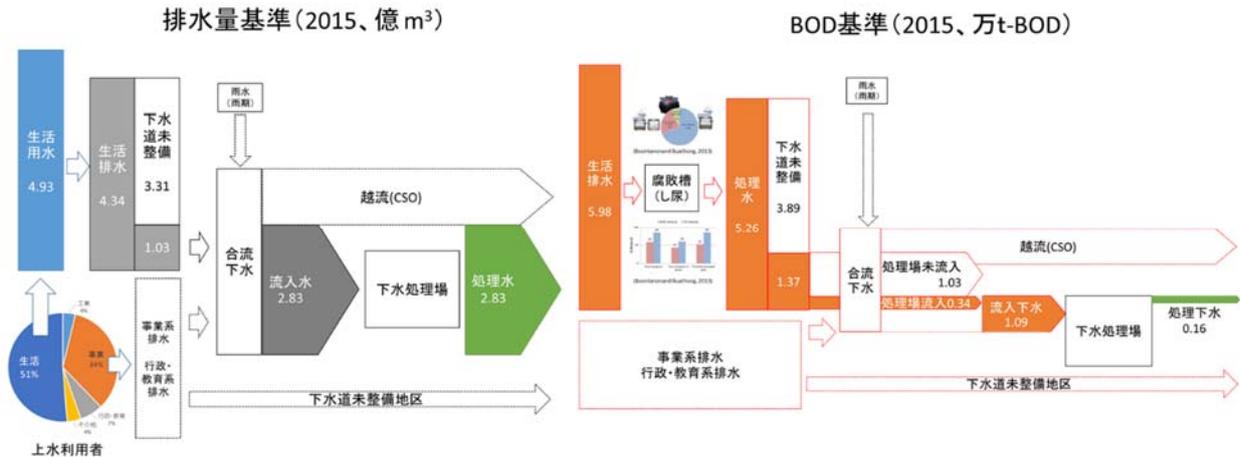
分散型排水処理システムの導入効果を評価するため、バンコクをモデル都市として、人口分布に基づく排水・汚濁負荷インベントリを作成した。その結果、排水量をベースとした処理率（雨水含む）が66%であるのに対し、処理場の受入BODをベースとした排水処理率では僅か19%となり、大きな隔たりがあることがわかった（図(1)-14）。つまり、既存の下水収集システムでは、BODの回収が十分に機能していない事が示唆された。また、この原因として、雨水を含む合流下水の越流、腐敗槽等の既存衛生設備によるBOD除去、下水管路内での自然浄化あるいは下水道への未接続（河川への直接放流）などが想定され、分散型排水処理による対策や下水の分流収集の必要性が確認された。



図(1)-14 バンコクにおける生活排水インベントリーの一次計算結果

続いて、既存の処理施設（下水道、下水処理場、腐敗槽）の処理性能と排水インベントリから、バンコクの生活排水のフロー（排水量およびBOD基準）を、図(1)-15に示す。バンコクでは、4.3億m³の生活排水が発生し、77%は下水道未整備地区で、23%が下水道整備地区で排水されている。また、下水処理場への流入下水の36%が生活排水で、残り64%は事業系排水および雨水に起因すると考えられる。同時に、生活排水と共に約6万t-BODの汚濁負荷が発生しているが、腐敗槽でのし尿処理により12%のBODが除去され、最終的に住宅から5.3万t-BODの汚濁負荷の排出している。この内、74%は下水道未整備地区で排出されており、下水道整備地区での排出BODの75%は下水処理場へ未流入との結果となった。また、下水処理場への流入汚濁負荷は0.34t-BODとなり、これは流入下水中のBODの31%に相当し、69%は事業系排水

等からの流入と推察される。最終的に、下水処理場未流入の汚濁負荷1.0t-BODと処理下水中汚濁負荷0.2t-BODが河川へ放流される結果となり、前者未処理排水の汚濁負荷対策が課題と考えられる。



図(1)-15 バンコクの生活排水のフロー

上述の下水処理場未流入の理排水対策の一環として、河川水質の改善が芳しくない下水道整備地区であるディンデーン地区およびチョンノンシー地区の高層住宅へのDHSの導入効果を図(1)-16に示す。ディンデーン地区の高層住宅では、生活排水により2,981t-BODの汚濁負荷が発生し、OWTでの処理プロセスを経て、最終的に447t-BODの汚濁負荷を排出している。本排出量は、高層住宅からの排出基準(20mg-BOD/L)の生活排水が排出された場合のBOD排出上限を上回る数値であるが、DHSの導入により大幅に排出基準を満たす結果となった。一方、チョンノンシー地区の高層住宅では、生活排水により1,984t-BODの汚濁負荷が発生しており、OWTでの処理により298t-BODの汚濁負荷を排出している。DHSの導入で汚濁負荷の排出をより抑制できる反面、同地区の高層住宅からの汚濁負荷の排出はBOD排出上限を下回っているため、DHSの導入により過剰処理となる可能性も示唆された。生活排水を直接処理する場合は問題無いが、対象とする建物に既に処理槽が設置されている場合、3次処理としての活用が期待されるが、二重処理になることから、制度上の整理と過剰処理への配慮が必要になると考えられた。



図(1)-16 河川水質の改善が芳しくない下水道整備地区でのDHS導入効果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

従来、浄化槽の国際展開としては、モデル設置等のプロジェクトが実施されてきたが、制度構築と連携のない技術移転は、インパクト、持続性ともに低いことに着目し、政策・社会実装に直結した制度構築と技術の現地化を連携させた総合的なアプローチに基づく研究開発を行うことで、産学官ネットワークによるステークホルダー会合を通じ、相手国における性能評価試験方法の草案を作成し、国家標準化を進めることができた。技術面においてもパイロット試験を通じて、東南アジアの環境条件や生活習慣に適合した技術の現地化の方向性が示された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

東南アジアにおいては生活排水による水環境汚染が著しく、その改善のため、早急かつ具体的な国際協力が求められている分野である。これに対し、我が国の浄化槽システムは、経済的で設置に係る期間が短く、水環境保全効果の発現も早い分散型の生活排水処理技術であることから、東南アジア諸国への導入が期待されている。但し、気候条件等が日本とは大きく異なることから、本研究では、技術的な現地化を実証試験により推進し、槽容量の最適化や効率化に関する知見を得ることができた。

また、多くの東南アジア諸国においては、生活排水処理に関する排水基準を担保する各種スキームが欠落しているため、粗悪で安価な製品を排除できず、適正な処理機能を有する製品が市場で対等に勝負できない状況に陥っている。本研究では、性能評価制度を中心として、ソフト面での制度構築に向けた調査研究を実施し、インドネシア版の性能評価試験方法（草案）を作成し、国家標準化のプロセスが進められている。

これらは、浄化槽の東南アジアでの展開を図る上で、基盤となるものであり、本研究成果を踏まえ、他の対象国においても同様の政策的支援を行うことにより、浄化槽をはじめとした我が国の汚水処理技術の海外展開の推進に大きく貢献できる。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) (国研) 国立環境研究所とバンドン工科大学における廃棄物管理に関する研究協力の覚書
「排水処理工学および管理システム」
スウォンド プラヤトニ教授・バンドン工科大学・インドネシア
共同での調査研究を実施するとともに、生活排水処理に係る関係者間の合意形成に向けたステークホルダー会合を共催した。
- 2) (国研) 国立環境研究所とキングモンクット工科大学トンブリ校環境工学科都市下水の分散処理に対応する持続可能な下水処理システムの開発に関する共同研究覚書
「処理システムの最適化」
ウィラシー ユーチャッチャヴン助教授・キングモンクット工科大学トンブリ校・タイ
- 3) (国研) 国立環境研究所とバンコク都都市下水の分散処理に対応する持続可能な下水処理システムの開発に関する共同研究覚書
「処理システムの評価」
パサン ボンジャンブー博士・バンコク都排水下水道局・タイ

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Miyaoka Y, Yoochatchaval W, Sumino H, Banjongproo P, Yamaguchi T, Onodera T, Okadera T, Syutsubo K (2017) Evaluation of the process performance of a down-flow hanging sponge reactor for direct treatment of domestic wastewater in Bangkok, Thailand, J Environ Sci Health A

Tox Hazard Subst Environ Eng., 52(10), 956-970.

- 2) Miyaoka Y., Hatamoto M., Yamaguchi T., Sytsubo K. (2017) Eukaryotic Community Shift in Response to Organic Loading Rate of an Aerobic Trickle Filter (Down-Flow Hanging Sponge Reactor) Treating Domestic Sewage. *Microbial Ecology*, 73, 801-814

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) Ebie Y. (2019) Institutional Approach to Spreading Appropriate Decentralized Domestic Wastewater Treatment Facilities, Workshop on WEPA Action Program in Indonesia (Bandung, 国外)
- 2) Ebie Y. (2018) Establishment of the performance test for decentralized wastewater treatment facilities in Indonesia, 6th International Workshop on Decentralized Domestic Wastewater Treatment in Asia (Tokyo, 国内)
- 3) Ebie Y., Pham Ngoc Bao (2018) Septage Management in the Urban Areas of Indonesia, World Water Challenge 2018 (Daegu, 国外)
- 4) 段下剛志, 山口隆司, Wilasinee Y., 富岡典子, 蛭江美孝, 珠坪一晃 (2019) 流量変動を伴う集合住宅排水への DHS リアクターの適用評価. 第 53 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 414 (甲府、国内)
- 5) Thonglee S., Yoochatchaval W., Danshita T., Yamaguchi T., Okadera T., Ebie Y., Sytsubo K. (2018) Evaluation of Nitrification and Denitrification Performance of Down-flow Hanging Sponge System for High-Strength Domestic Wastewater Treatment. IWA Water Reuse 2018 IWA Regional Conference on Opportunities for Water Reuse in Southeast Asia, Abstract and Proceeding Book, 206-212 (Phuket, 国外)
- 6) 宮岡佑馬, 中澤駿一, ウィラシニーユーチャッチャブン, 角野晴彦, 山口隆司, 珠坪一晃 (2017) 好気性ろ床の下水処理特性に及ぼす流量変動の影響評価. 第 51 回日本水環境学会年会, 同講演プログラム, 140
- 7) Miyaoka Y., Yoochatchaval W., Yamaguchi T., Sytsubo K. (2017) PROCESS PERFORMANCE OF A DOWN-FLOW HANGING SPONGE REACTOR FOR DIRECT TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER IN BANGKOK, THAILAND. International conference of Science of Technology Innovation 2017, Abstracts, 65
- 8) 岡寺智大, 珠坪一晃, 小野寺崇, Yoochatchaval W. (2016) バンコクの大規模下水処理場と都市河川水質の現状. 第 53 回 日本地域学会年次大会, なし
- 9) 大山由香, 杉浦洋輔, 蛭江美孝, 山崎宏史: 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析、土木学会関東支部第 44 回技術研究発表会（埼玉）2017 年 3 月 7、8 日、同予稿集、VII-38.
- 10) Yoshitaka Ebie, Rieko Kubota, Hiroshi Yamazaki, Elis Hastuti, Sri Darwati, Prayatni Soewondo (2017) Performance Testing Method for Decentralized Domestic Wastewater Treatment Facilities in Indonesia, 2nd International Forum on Sustainable Future in Asia, Bali, Indonesia, 26-28 January, 2017, Program Book, p.34.
- 11) Yoshitaka Ebie (2016) Institutional Approach for Dissemination of Decentralized Domestic Wastewater Treatment Systems, 12th WEPA Annual Meeting, Hanoi, Vietnam, 28-30 November, 2016
- 12) Okadera T., Sytsubo K., Onodera T., Yoochatchaval W. (2016) Analysis of sewage treatment with wastewater inventories in Bangkok, Water and Environment Technology Conference 2016 (WET2016), Program and abstracts, 25.
- 13) 宮岡佑馬, 中澤駿一, ウィラシニーユーチャッチャブン, 角野晴彦, 山口隆司, 珠坪一晃 (2017) 好気性ろ床の下水処理特性に及ぼす流量変動の影響評価. 第 51 回日本水環境学会年会, 同講演プ

ログラム, 140

- 14) Miyaoka Y., Yoochatchaval W., Yamaguchi T., Syutsubo K. (2017) PROCESS PERFORMANCE OF A DOWN-FLOW HANGING SPONGE REACTOR FOR DIRECT TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER IN BANGKOK, THAILAND. International conference of Science of Technology Innovation 2017, Abstracts, 65
- 15) 岡寺智大, 珠坪一晃, 小野寺崇, Yoochatchaval W. (2016) バンコクの大規模下水処理場と都市河川水質の現状. 第53回 日本地域学会年次大会, なし
- 16) 大山由香, 杉浦洋輔, 蛭江美孝, 山崎宏史: 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析, 土木学会関東支部第44回技術研究発表会(埼玉)2017年3月7、8日、同予稿集、VII-38.
- 17) Yoshitaka Ebie, Rieko Kubota, Hiroshi Yamazaki, Elis Hastuti, Sri Darwati, Prayatni Soewondo (2017) Performance Testing Method for Decentralized Domestic Wastewater Treatment Facilities in Indonesia, 2nd International Forum on Sustainable Future in Asia, Bali, Indonesia, 26-28 January, 2017, Program Book, p.34.
- 18) Yoshitaka Ebie (2016) Institutional Approach for Dissemination of Decentralized Domestic Wastewater Treatment Systems, 12th WEPA Annual Meeting, Hanoi, Vietnam, 28-30 November, 2016
- 19) Okadera T., Syutsubo K., Onodera T., Yoochatchaval W. (2016) Analysis of sewage treatment with wastewater inventories in Bangkok, Water and Environment Technology Conference 2016 (WET2016), Program and abstracts, 25.

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 珠坪一晃、茨城(国立研究開発法人国立環境研究所)、春の環境講座、2018年4月21日、「水質汚染問題を解決する!微生物を利用して汚れた水をキレイに」
- 2) 蛭江美孝、茨城(国立研究開発法人国立環境研究所)、春の環境講座、2017年4月22日、「家で使った汚れた水はどこへ行く?(日本で、アジアで)」

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

II-2 東南アジアにおける環境技術の地域標準化に関する研究

独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所

小島 道一(平成28年度)

大塚 健司(平成29、30年度)

平成28～30年度累計予算額：3,953千円

(うち平成28年度：1,340千円、平成29年度：1,340千円、平成30年度：1,273千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

本サブテーマでは、分散型排水処理に関する試験方法、関連制度について、東南アジアにおける現状分析を通じて、地域標準化に向けた戦略を提示することにある。初年度は、「タイ、カンボジアなどの東南アジア諸国における関連規制・制度の現状を調査するとともに、ASEANのACCSQ（アセアン標準化・品質管理諮問評議会）の取り組み、EUが支援している省エネエアコンの規格標準化に向けたASEAN SHINEプロジェクトなど、ASEAN地域での規格標準化に向けた先行事例を調査し、地域標準化に向けたプロセスを明らかにする」ことを目指して調査を実施した。次年度は、「分散型生活排水処理システムに関する地域標準化に向け、関係省庁、業界団体、研究組織など各国主要機関とのネットワークを構築する」ことを目指した。最終年度は、引き続きASEAN各国の取り組みについて調査し、ネットワークを拡げるとともに、地域標準化に向けた分散型生活排水処理に関するプラットフォームの構築と、地域標準化戦略の策定を目標に、研究・調査を実施した。また、マレーシア、タイ、インドネシアの分散型排水処理に関する関係者を招いて国際ワークショップを開催し、地域標準化に向けた戦略の策定に向けて議論を行った。

【キーワード】

ASEAN、分散型生活排水処理、試験方法、規制・制度、地域標準化

1. はじめに

適切な処理施設の普及には性能評価等の制度が必須であり、サブテーマ1においてインドネシアにおける取り組みが進められている。しかしながら、経済統合の進むASEANにおいては、各国が異なる制度を適用している場合、メーカーは国毎に異なる製品を製造・流通・施工・管理していくことになり、極めて非効率的でコスト削減も難しい。性能評価制度をASEANで共有できれば、分散型排水処理施設の大きなマーケットを創出することができ、メーカー、維持管理業者、行政のみならず、消費者にとっても非常に有用である。本研究では、標準化・調和化に向けた戦略について検討を行った。

2. 研究開発目的

本研究では、ASEAN経済共同体の発足も踏まえ、東南アジアにおける地域標準化を目指した現状分析、ネットワーク作り、戦略策定を検討することを目的とした。特に、標準化・調和化に向けた複数のアプローチを明らかにするとともに、公表データやヒアリング等を進め、ASEAN各国の排水処理に係わるステークホルダーの特定と各国の規格や制度の現状を整理し、プラットフォーム構築に繋げることとした。

3. 研究開発方法

本研究では、分散型排水処理技術の評価方法に関する地域標準化の戦略を、他分野での地域標準化に向けた取り組みを参考にしながら、検討を行った。具体的には、ASEANのACCSQ（アセアン標準化・品質管理諮問評議会）の取り組みや、省エネエアコンなどのASEAN地域での規格標準化に向けた先行事例について、ベトナム（ハノイ、ホーチミン）およびインドネシア（ジャカルタ、バンドン）において様々な政府機関、研究機関、民間企業などに対してヒアリングを実施した。また、2016年11月にハノイで開催されたアジア水環境パートナーシップ（WEPA）第12回全体会合では、ラオスの資源環境省などからヒア

リングを実施した。その他、東南アジアでFS調査や事業活動を行っている日本企業への訪問・電話ヒアリングを行うとともに、先行研究や公式サイト等の情報を参考に地域標準化に向けたプロセスについて整理してまとめた。

性能評価試験に関する地域標準化・調和化については、マレーシア、タイ、インドネシアの分散型排水処理に関する関係者を招いて国際ワークショップを開催し、議論をまとめた。

4. 結果及び考察

4-(2)-1 分散型排水処理の適正普及に関する制度

日本や東南アジア諸国における調査を踏まえ、分散型排水処理が適切に設計、設置され、当該国の水環境の改善に資するための制度として、次のようなものが挙げられた。

⑤ 分散型排水処理設備の普及に関する制度

分散型排水処理の設置が、何らかの条件のもとで、義務づけられているか。あるいは、設置を促す政策がとられているか

- ・ 建設許可の条件となっているか。
- ・ 設置を命令できる権限が政府機関にあるか。
- ・ 分散型排水処理の普及に関する政策があるか。

⑥ 分散型排水処理設備の性能

分散型排水処理設備が満たすべき要件が定められているか。

- ・ 住民数、利用者数などをもとに、標準的な大きさが定められているか。
- ・ 満たすべき強度について規定されているか
- ・ 排水基準があるか

⑦ 分散型排水処理設備の性能評価方法

分散型排水処理技術が定められた要件を満たしているかどうかを測定する方法が定められているか。

- ・ 分散型排水処理設備が満たすべき要件を満たしているかを測定・評価するための標準的な作業に関する規定

⑧ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

分散型排水処理設備およびメンテナンスに関する規定があるか。

- ・ 適切に設置することを担保するトレーニング、資格制度などが整備されているか。
- ・ 汚泥の引き抜きについての資格など、満たすべき要件が定められているか。
- ・ 汚泥の処理についてのルールが定められているか。

このうち、特に地域での標準化・調和化が効果的と考えられるのは、3番目に掲げた「分散型排水処理技術が定められた要件を満たしているかどうかを測定する方法」である。分散型排水処理設備が満たすべき要件は、国・地域の状況に応じて異なる基準となることは合理的である。しかしながら、ユニット型腐敗槽、浄化槽がASEAN地域内で国際的に取引が行われていることから、性能評価を行う試験方法が標準化されることは、市場での適正な競争を促すことにつながり、また、性能評価にかかる時間やコストを削減できることになる。ASEANの枠組みのなかで、市場の統合が進む中で、ASEAN諸国で分散型処理技術の性能評価に関する地域標準化を進めることは、極めて意義のあることである。

4-(2)-2 ASEANにおける工業規格・建築関連法令と分散型排水処理の状況

分散型排水処理の適切な普及のための制度面での整備状況について、シンガポールを除くASEANの9ヶ国について調査した結果は以下の通りである。

(1) ブルネイ

① 分散型排水処理設備の設置・普及に関する制度

建築許可基準は、Authority for Building Control and Construction Industryが、ブルネイ規格（Brunei Darussalam Standard (PBD)）であるBuilding Guidelines and Requirements (PBD 12:2017)にもとづき実施している。このガイドライン中で、家庭排水等については、下水管につなぐこと、あるいは、セプティックタンクにつなげることが求められている。

河川上に建設されている家も少なくなく、水上部落が形成されているが、国王が支援して整備された水上部落を除くと、家庭排水はたれ流されている。

② 分散型排水処理設備の性能

セプティックタンクについては、開発省のDepartment of Drainage and Sewerageが認めているものとされており、曝気槽がついたものが担当部局内の基準として規定されている。下水処理水は、British Royal Commissionの排水基準を用いているが、セプティックタンクに関する排水基準はない。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

試験方法については、情報がなく、輸出国での試験などを参考にしていると考えられる。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

セプティックタンクで回収されたスラッジは、Department of Environment, Park and Recreationが管理している施設で処理されている。ただし、回収したスラッジを下水管に投棄するといった不法投棄の事例も報告されている。

(2) カンボジア

① 分散型排水処理設備の設置・普及に関する制度

建設許可に関する1997年土地管理・都市計画・建設省Sub-Decree No. 86では、セプティックタンクの設置が義務づけられている。JICAのプノンペン都下水・排水改善プロジェクトでは、下水・排水に関するマスタープラン案がまとめられている。プノンペン中心部では、下水道をさらに普及させるものの、北部のセプティックタンクが普及している地域については、下水道、腐敗槽、浄化槽、コミュニティープラントを比較して、経済性や処理性能といった観点から浄化槽を設置するのが望ましいと指摘しており、今後、浄化槽の普及が図られる可能性がある。

② 分散型排水処理設備の性能

建設許可に関する1997年土地管理・都市計画・建設省Sub-Decree No. 86第31条3項でセプティックタンクの大きさに加え、ブローアを使うこと、雨水が浸透しないようにすることが定められている。下水道につなぐ場合には、フィルタリングを行うこととされている。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

試験方法について整備されていない。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

プノンペンでは、汚泥の引き抜き業者についての許可制度がなく、民間の業者が行っている。引き抜かれた汚泥は、Dongkorごみ処分場に持ち込まれるか不法投棄されている。

(3) インドネシア

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

インドネシア政府は、SANIMASというコミュニティ管理型の分散型生活排水処理プログラムを実施し、50世帯から100世帯に対応できる分散型排水処理システムの導入を進めてきている。SANIMASプログラムは、1998年から2003年のパイロット・フェーズ後に、2003年から本格実施された。Mitchell and Abeyesuriya (2015)によると、2003年から、13,600のコミュニティ排水処理システムが支援されている。公共事業・人間居住省はSANIMASアドバイザーを設置しているものの、設置から半年から1年後に、1回だけチェックされる以外は、ほとんどモニタリングされておらず、全体像を把握するのは難しい状態にある。SANIMASプログラムには、4つの資金メカニズムがあり、関連する省庁も部分的な情報しか持っていない。4つの資金メカニズムは表(2)-1の通りである。

表(2)-1 SANIMASプログラムの実施機関と予算

名称		実施機関	予算	設置数
SANIMAS Regular	2010-	公共事業省	中央政府一般予算	10,340
SANIMAS DAK SLBM	2012-2014	財務省	中央政府特別基金	1,350
SANIMAS USRI	2014-2017	公共事業省	アジア開発銀行	500
SANIMAS IDB	2008-	公共事業省	イスラム開発銀行	1,200
SANIMAS	2003-2007		オーストラリア、ADB	215

(出所) Mitchell and Abeyesuriya (2015) をもとに作成。

なお、これまでの分散型排水処理システムは、嫌気性処理であり、ブロウを使った好気性処理技術は用いられていない。

② 分散型排水処理設備の性能

インドネシア環境・林業省は、2016年に家庭排水の基準を改定した（生活排水の水質基準に係る省令 No. 68/2016）。BODの基準値が100から30に下がったことに加え、アンモニアや大腸菌の基準などが新たに加わった。この新排水基準の達成には好気処理が必須である。ただし、政府関係者によると、基準の適用については、地方政府の裁量で適用する時期や対象となる建物などを規定し、柔軟に運用することができる。

インドネシア国家基準（SNI 03-2398-2002）では、セプティックタンクの設計手順が規格となっている。15世帯までを対象としたセプティックタンクの設計手順であり、タンクの大きさ、タンクを少なくとも2つ設けるといった構造などについて定められている。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

所謂、性能評価方法は整備されていないが、既設の処理施設の検査・評価する仕組みが存在し、公共事業省人間居住研究所が実施している。なお、本研究のサブテーマ1において、性能評価試験方法の草案が同研究所とともにドラフトされている。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

汚泥処理施設は、全国517県市の汚泥処理施設を有するのは190県市にとどまっている。

(4) ラオス

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

ラオスは、建設許可を受けるために、標準的なセプティックタンクを備えていることが求められている。JICA(2011)によると、セプティック・タンクの設置率は46%で、1992年以降、セプティック・タンクの設置率が高くなるという傾向は見られなかったという。

JICAは、首都ビエンチャンを対象にJICAが水環境改善プロジェクトを2017年末までの予定で実施してきた。その一部でも、分散型排水処理を進めるため、ガイドラインの作成などの支援を行ってきた。分散型排水処理に関する部分のラオス側のカウンターパートは、公共事業・運輸省の公共事業・運輸研究所である。また、公共事業・運輸省は、水供給局の中に、約2年前に水衛生課を設置し、家庭からの排水処理の向上に向けた努力を始めようとしている。

② 分散型排水処理設備の性能

標準的なセプティックタンクの設計については、1991年に作成され、1992年に住宅都市計画省がまとめた建設規制に関するマニュアル（Manual on Construction Regulations）に含まれている。この標準的な設計を制定するにあたっては、JICAの協力があつた。セプティックタンクの設計は、3つのコンポーネント、大きさは利用する人数に応じて決められている。同じ基準は、都市部のホテルや事務所、寄宿舎、病院等の都市の建物にも適用される。

天然資源環境省は、2017年2月に水関連の環境基準を改正し、ビルやトイレなどからの排水基準を強化している。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

性能評価方法は整備されていない。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

フランス政府の支援で、セプティックタンク汚泥の処分施設が建設され、2017年12月に操業が開始されている。東南アジア最大の規模であるという。

(5) マレーシア

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

マレーシアは、水サービス産業法（2006）の中で、セプティックタンクの定義や、関連の規定を定めている。セプティックタンクは、“a basic form of on-site treatment facility consisting of one or more compartments that provides treatment of sewage by means of sedimentation and anaerobic process”と定義されている。また、Communal セプティックタンクは、“a septic tank which treats sewage from two or more premises through a communal internal sewerage piping”と定義されている（第2条）。

セプティックタンクの建設、改造等については、書面での国家水サービス委員会（SPAN）の承認が必要とされている（第45条）また、第63条では、SPANにセプティックタンクの設置を命じることができるとし、その建設費は、所有者や管理会社が負担すると規定している（第63条）。

② 分散型排水処理設備の性能

分散型排水処理システム（On-site sewage treatment units）について2つの規格を定めている。一つは、Prefabricated Septic Tanks Specifications (MS 2441-1-2012)であり、もう一つは、Packaged Prefabricated Small Sewage Treatment System Specifications (MS 2441-2-2014)である。前者で、セプティックタンクが定義されており、一つあるいは複数の反応槽で嫌気性微生物で有機物を分解するタンクと定義されている。後者は、Small Sewage Treatment System (SSTS)を、下水を受け入れ一定の水準まで浄化するシステムと定義しており、二次処理で好気性のプロセスを有するものとしている。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

性能評価方法については、上述のSPANが所管している。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

下水システムに関するサービスライセンスを持つものが、そのサービスエリアのセプティックタンクのスラッジを、随時、回収しなければならないと定めている（水サービス産業法第44条）。

(6) ミャンマー

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

ミャンマーは、環境法を含め、さまざまな分野で国レベルにおける法令整備が遅れている。環境保護法が2012年に制定された。その細則である環境保護規則が2015年に制定されている。環境保護法は、環境保護・林業省が所管しているが、下水等のインフラについては、建設省のBuilding Department にWater and Sanitation Divisionが置かれている。また、Ministry Border AffairsのDepartment of Development Affairsがセプティックタンクに、保健・スポーツ省保健局環境衛生課がトイレに関与している（Aung Khaing Min 2016）。

国レベルでの規制作りも進んでいるが、ヤンゴン、ネピドー、マンダレーのそれぞれの市開発委員会がより具体的な取り組みをしている。

② 分散型排水処理設備の性能

2015年に、National Quality (Emission) Guidelinesが制定された。大気、水質に関する環境基準に加え、排水基準についても示されている。Sanitary Dischargeについては、一般的な排水基準が適用されるとされている（表(2)-2）。

表(2)-2 ミャンマーの排水基準

指標	排水基準	単位
BOD ₅	50	mg/l
NH ₄ -N	10	mg/l
Oil and grease	10	mg/l
pH	6-9	-
総大腸菌群数	400	/100ml
TSS	50	mg/l

Wastewater, Storm Water Runoff, Effluent and Sanitary Discharges (general application)

出所 : National Quality (Emission) Guidelines

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

性能評価方法は整備されていない。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

ヤンゴンについては、下水処理場で汚泥の処理が行われている。

(7) フィリピン

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

フィリピンでは、フィリピン公衆衛生規則でセプティックタンクの設置が義務付けられている。この規則は、保健省が所管している(新日本有限責任監査法人 2016)。下水道関連のインフラについては、公共事業省が担当している。フィリピン国家下水管理プログラム(National Sewage and Septate Management Program)の実施機関である。

② 分散型排水処理設備の性能

1995年にImplementing Rules and Regulations of Chapter XVII - “Swage Collection and Disposal, Excreta Disposal and Drainage” of the Code on Sanitation of the Philippines(P.D. 856)が制定されている。その中で、Section 4 “Design and Construction of Septic Tanks, Leaching Tile Field and House Sewers”が分散型排水処理と関連している。セプティックタンクの大きさ、設置場所などについて規定されている。セプティックタンクの構造については、地方の権限のある当局で許可を得る必要があると規定されている。また、Pre-fabricatedのセプティックタンクの性能評価は、地方の権限のある当局が求めれば、独立した試験施設でテストしなければならない(4.1.5)。なお、地方の権限のある当局とは、州では州知事、市では市長である。

排水基準は、環境天然資源省(DENR)の環境管理局(EMB)が担当しており、EMBに水質管理課(Water Quality Management Section)が置かれている。排水基準の設定およびモニタリングは環境管理局および地方事務所が実施している。2016年5月にWater Quality Guidelines and General Effluent Standards of 2016(Department Administrative Order 2016-08)が制定され、排水基準が改訂された。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

情報が得られていない。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

2004年に、「家庭排水汚泥及びセプティック汚泥の収集、取扱、運搬、処理、処分に係る衛生法補足施行令」(IRR Governing Sludge and Septage)が制定され、さらに2008年には、そのオペレーション・マニュアル(Operations Manual on the Rules and Regulations Governing Domestic Sludge and Septage)が発行されている。同マニュアルには、各政府機関の役割、環境衛生許可の仕組みなどが規定されている。また、Local Government Unitは、汚泥の引き抜きに関する条例を定めることが求められている。

(8) タイ

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

タイでは、建設許可に当たって、セプティックタンクの設置などが義務づけられているが、十分に検

査されておらず、執行が十分でないとされている (Boontanon and Buathong, 2013)。

② 分散型排水処理設備の性能

セプティックタンクの製造事業者を規制している法令はなく、設置後に排水基準を満たしているかどうか問われる形となっている。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

分散型排水処理設備の性能評価方法については、2014年頃にタイ環境研究研修センター (ERTC) において、研修施設の隣接する刑務所の排水を使って浄化槽の試験方法の確立が進められていたが、規格化はなされなかった。その後、アジア工科大学 (AIT) がBORDA (ドイツのブレーメンに本部を持つ国際 NGO) とともに欧州規格をベースとした試験方法が作成された。ここでは、タイ標準化機関に技術委員会が設置され、試験方法の標準化に向けた検討が行われた。また合わせて、試験設備がAITのキャンパス内に整備され、運用が開始されたところである。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

し尿・汚泥処理については、公衆衛生法で地方政府 (LGOs) の責任とされているが、メンテナンスを定期的に行うことは義務付けられていない (Suwanna and Thapanee 2013)。し尿以外の生活排水の汚泥処理については特に定められていない。

(9) ベトナム

① 分散型排水処理設備の普及に関する制度

ベトナムでは、建築基準により腐敗槽の設置が義務づけられている (山本 2004)。下水道などの都市部での排水処理については、基本的に建設省建設部が担当している。一方、農村部での浄化槽の普及については、農業省が実施している。

② 分散型排水処理設備の性能

建設省通達「排水及び排水処理に関する政府議定No. 80/2014/ND-CPの一部条項に関する指針」において、分散型排水処理の種類、汚泥処理等が言及されている。

③ 分散型排水処理設備の性能評価方法

ベトナムで、製品として浄化槽を販売する場合には、科学・技術省の製品チェックが必要になるとされるが、基準等があるかどうかについては不明である。

④ 分散型排水処理設備の設置・メンテナンス・汚泥処理

腐敗槽から引き抜かれた汚泥は、有価物として農家や樹木管理者に売却されている (山本 2004)。一方、ホーチミンのセプティックタンク汚泥処理について調査した日立造船 (2016) では、引き抜き汚泥が不法投棄されることも少ないことが報告されている。

なお、これらの内容は、ASEANにおける地域標準化を支援・推進するため、分散型生活排水処理に関するプラットフォームとして、各国の関係機関、法制度等の情報を共有するための情報発信をするため、アジアの水問題の関係者が情報共有する場となっている「アジア水環境パートナーシップ」のウェブサイトにおいて公開することとした。

4-(2)-3 分散型排水処理の性能評価の地域標準化に資する取組

国際標準化機構 (ISO) の分散型排水処理に関する取り組み、ASEAN における分散型排水処理以外の各種の地域標準化に向けた取り組み、分散型排水処理の性能評価を法令制定前に普及・利用していくために利用できる枠組みの3つの観点からさまざまな取り組みが進んできている。また、分散型排水処理施設の性能評価を取り込む認証制度の運用もされている。ASEAN地域における、分散型排水処理技術の性能評価に関する地域標準化戦略の検討にあたり、これらの様々な取り組みについて調査を実施した。

1) 国際標準化機構 (ISO)

国際標準化機構 (ISO) では、分散型排水処理に関する国際規格の制定に向けた取り組みが進められ

てきている。2016年9月にISO24521 “Guidelines for the management of basic on-site domestic wastewater services”、2018年10月には、ISO30500 “Non-sewered sanitation systems - Prefabricated integrated treatment units - General safety and performance requirements for design and testing” が刊行されて、ローテクのオンサイト技術やトイレの便器とユニット型の処理槽が満たすべき要件を規定している。実験室での性能評価に関して、実験室の温度、性能評価の手順、排水のパターンなどについても規定している。

また、ISOのInternational Workshop Agreementという正式な規格のたたき台をまとめる枠組みのなかで、2018年4月に、“IWA28 Faecal sludge treatment units- Energy independent, prefabricated, community scale resource-recovery units - Safety and performance” が発表されている。汚泥を処理する次世代の処理技術（エネルギーを相殺もしくは創出する）が満たすべき要件を定めている。

なお、2018年10月には、新たなISO規格「基礎的なオンサイトサンテーションサービスの維持管理ガイドライン」を作成することが決まり、TC224/WG8において活動が進められてきている。

2) ASEANにおける取組

ACCSQ

ACCSQ (ASEAN Consultative Committee on Standards and Quality) は、ASEANの経済共同体の中に位置づけられており、ASEAN加盟国の標準化関連機関が参加して、貿易障壁の低減につなげるため標準の調和に向けて取り組んできている。ASEAN諸国に基準が存在し、その基準が食い違っている場合に、IEC、ISOなどの国際規格にあわせる形で基準の調和を図っている。また、試験認証機関に関する相互承認をする枠組みを持っている。

しかしながら、今までのところ、ACCSQで独自の基準を作るというプロセスは進められておらず、性能評価等についての基準を新たに作成することは困難である。一方、複数の国で浄化槽関連の基準が作成され、その基準に基づく浄化槽が国際取引されていれば、規格の調和をACCSQの議題に載せることも可能と考えられる。前述のISOをはじめとして、昨今水と衛生分野での国際標準化活動が活発に行われていることを背景に、特に水と衛生分野の課題が多いASEANにおいて、同分野の標準化に関する議論を継続的に実施するべきであるという提案が2018年10月に日本の経済産業省及びISOシンガポール事務所から共同提案されている。ACCSQはASEAN加盟国に共通する地域的条件をISO標準開発に盛り込んでいくことも任務の一つとしており、ACCSQに水と衛生分野について継続して議論できる場が形成されれば、ISOへの地域的条件に関するインプットを取りまとめることが可能となる。

ASEAN Standard for Organic Agriculture

2014年にASEAN Standard for Organic Agriculture (ASEAN有機農業規格) が作成されている。2012年の高級事務レベル会合で、専門委員会の設置が決議され作成作業がはじまった。各国の基準の比較や国際的な基準を参考にドラフトが作成され、セクター別ワーキング・グループ、高級事務レベル会合を経て、農業大臣会合で承認を受けるというプロセスを経て発表されている。

ASEAN有機農業規格の作成にあたっては、フィリピンがリード国として、重要な役割を果たした。また、インドネシアやラオス、フィリピン、タイなどが協力した。ASEAN事務局によると、認証の仕組みについては議論を継続中であり、結論は出ていないとのことであった。

ASEAN Guidelines on Peatland Fire Management

ASEAN Guidelines on Peatland Fire Managementは、泥炭地における火災を緩和するための戦略を提供することにより、泥炭地における火災の問題を解決することを目的に作られたガイドラインである。ASEAN加盟国の代表によりまとめられた。Prevention、Preparedness、Response、Recoveryの4つの段階ごとに、泥炭地火災への対応戦略がまとめられている。各国の泥炭地火災への対応を進める参考とするためのガイドラインである。

ASEAN Shine Project

ASEAN Shine プロジェクトは、EUの支援により、2012年から2016年末に実施されたプロジェクトである。ASEANエネルギーセンター（ACE）を通じて、経済共同体エネルギー大臣会合下のエネルギー効率・保全に関するサブセクター・ネットワーク（EEC&SSN）の中に位置づけられている。

対象商品は、エアコン、対象国は、タイ、マレーシア、フィリピン、ベトナムとなっている。主な内容としては、ASEAN諸国内で省エネエアコンに関する試験方法及び評価基準の調和化、ASEAN地域レベルでMEPS（Minimum Energy Performance Standard:最低エネルギー効率基準）およびHEPS（High Energy Performance Standard: 高レベルのエネルギー効率基準）の地域内政策ロードマップの策定、試験機関の人材育成などとなっている。

3) グリーン・ビルディング・プログラム

環境に配慮したグリーン・ビルディングを認証するプログラムが国際的に、あるいは、各国で展開されている。

国際的なグリーン・ビルディング・プログラム

国際的に展開されているグリーン・ビルディングの認証スキームとして、LEED（Leadership in Energy & Environmental Design）がある。アメリカの非営利団体U. S. Green Building Councilが開発し、Green Building Certification Inc. が運用を行っている。「建築設計および建設」「インテリア設計および建設」「既存ビルの運用とメンテナンス」「近隣開発」「ホーム」の5つの認証システムが用意されている。また、それぞれの評価システムをもとに評価された結果が、ポイントとして集計され「標準認証」「シルバー」「ゴールド」「プラチナ」の4つのレベルで認証される形となる。

2017年11月27日時点でのデータによると、認証件数は、全世界で65,807件に達している。米国がそのうち55,058件と83.7%を占めているが、中国1,202件、インド747件、香港173件、タイ、132件、台湾122件、韓国104件、日本101件などとなっている。（https://www.gbj.or.jp/leed/about_leed/）

なお、水関連では、効率的な水利用は強調されているものの、排水の処理については、あまり強調されていないのが現状である。

東南アジア各国におけるグリーン・ビルディング・プログラム

東南アジア各国でも、独自にグリーン・ビルディングについての認証を行う取り組みが進んでおり、NGOなどの民間団体が中心となっている（表(2)-3）。インドネシア、ベトナム、フィリピン、タイでのヒアリングからは、民間団体である強みを活かして、効率的に、認証スキームを立ち上げ、実際の認証プログラムの実施につなげていることが確認できた。また、それぞれの団体から、分散型排水処理の評価システムが確立された場合、評価システムの中で取りこむことも可能であるとの意見が聞かれた。なお、シンガポールもグリーン・ビルディングに関する団体があるが、分散型排水処理普及の対象とはなり得ないと考えられるため記載していない。

表(2)-3 東南アジア各国のグリーン・ビルディング プログラム

	認証スキーム	実施機関	ウェブサイト
インドネシア	Greenship	Green Building Council Indonesia	http://www.gbcondonesia.org/
マレーシア	(認証スキームなし)	Malaysian Green Building Confederation	http://www.mgbc.org.my/
	Green Building Index	Greenbuildingindex Sdn Bhd.	http://new.greenbuildingindex.org/
フィリピン	Building for Ecologically Responsive Design Excellence (BERDE) Rating	Philippine Green Building Council	http://mackproof.com/green/berde-rating-schemes/

	System		
タイ	Carbon Reduction Certification for Buildings	Thailand Environment Institute	
	TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability)	Thai Green Building Institute	http://www.tgbi.or.th/index.php?lang=en
ベトナム	LOTUS	Vietnam Green Building Council	http://www.vgbc.org.vn/index.php/en

出所：各実施機関のウェブサイトおよびWorld Green Building Councilのウェブサイト (<http://www.worldgbc.org/>) より作成

インドネシア

Green Building Council IndonesiaはNGOであり、レーティング・ツールとしてGreenShipというプログラムをもうけている。新築、既築、家など5つのカテゴリーを設けている。監査を行う専門家の研修を行い、それぞれの専門家がレーティングを行うかたちとなっている。これまでに24の建物がレーティングされている。GreenShip Homeは、プラチナ、金、銀、銅の4段階でGreen Buildingを格付けする仕組みである。満点が77点、そのうち74%にあたる56点を得られればプラチナ、43点（57%）を得られれば金となる。

排水に関しては、3点分配分されており、「台所シンクにグリース・トラップを導入していること」で1点、「フィルターなど環境に配慮したプロセスをもったセプティックタンクを使用していること」で2点、あるいは、セプティックタンクを使用していること」で1点となっている。インドネシアでは、家庭排水の排出基準を定めており、点数のみではなく、最低限、満たすべき基準を別途定めるのが妥当と考えられる。

フィリピン

フィリピンでは、グリーン・ビルディング・カウンシルが開発した認証スキームが利用されている。2017年6月に、同カウンシルでおこなったヒアリングでは、外資系企業を中心に、グリーン・ビルディングの認証を取得したビルにオフィスを求める動きがあり、認証を取得する建築物も増えてきているとのことだった。一部の地方政府は、グリーン・ビルディングの認証を得ることを義務化したり、税制上の優遇措置を設けたりするところも出てきているという。

タイ

タイには、二酸化炭素の排出減少に向けたタイ環境研究所（TEI）の認証スキームと、タイ・グリーン・ビルディング研究所（TGBI）が作成したより広範囲の認証スキームの2つのスキームが存在している。2017年5月に行ったTGBIへのヒアリングでは、認証を取得している場合には、バンコク都庁が建築基準を緩和するといったインセンティブを提供しており、認証を取得する建築物が増えてきているとのことだった。

ベトナム

Vietnam Green Building Councilは、Lotusというグリーン・ビルディング認証プログラムを行っている。2016年11月現在、22の建物が認証を受けている。有名な会社としては、ショッピングセンターを展開しているBIC Cが数店舗認証を受けているという。排水については、国基準を守っていることを条件としている。

以上に示すとおり、グリーン・ビルディングの認証プログラムは、NGOが中心となって行われていることから、政府主導の仕組みに比べて機動力があり、また、実際のユーザーを意識した取り組みとなっ

ている。政府機関よりも早く、政府基準よりも高い基準を設けることも可能であり、環境意識の高い建設主に対しては、グリーン・ビルディングの枠組みを利用しやすいと考えられる。

4-(2)-4 分散型排水処理に関する性能評価に関する地域標準化戦略

これまでの、浄化槽等分散型排水処理の普及に向けた協力の内容は、主に、パイロット事業として、浄化槽等を設置し、その有効性を相手国政府等に認知してもらうことに主眼を置いたものとなってきた。そこで、これまでの調査を踏まえ、地域標準化に向けた戦略に関して、その必要性と、地域標準化に向けたプロセスの観点から整理する。

1) 分散型排水処理に関する性能評価に関する地域標準化の必要性

分散型排水処理の必要性

安全な水の確保は、国連が採択した2030年持続可能な開発アジェンダでも、目標6「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」のなかで、「2030年までに、すべての人々の、適切かつ平等な下水施設・衛生施設へのアクセスを達成し、野外での排泄をなくす」ことがうたわれている。

安全な水を確保するために、家庭等からの生活排水を処理する方法としては、下水道を整備する方法もあるが、農村地域など人口密度が低い地域では、分散型の排水処理設備を整備するほうが、コストがかからないと考えられる。また、都市部でもスラム地域等、再開発等が考えられる地域では、大規模な投資が必要な下水道ではなく、分散型排水処理を普及するほうが低コストで、排水処理を進めていけると考えられる。

性能評価制度の必要性

家庭の排水はトイレからの排水、洗濯からの排水、台所、浴室からの排水など、さまざまな排水が混ざっている。1日のうちの変動も大きい。これらの廃水を処理する装置もいろいろと開発されているが、利用者にとっては、性能を評価するのは難しい。ベトナムでは、モールなどからの排水を工場排水と同様に実際の排水濃度を計測し、排水基準を満たしていなければ、摘発する形をとっている。分散型排水処理設備を導入したあとに、性能が十分でないことが明らかになれば、分散型排水処理設備を追加したり、入れ替えたりする必要があり、費用もかかることになる。

このようなことにならないように、性能評価の方法を定め、性能評価試験を行い、評価を通過した場合のみ、販売・設置が可能とするというしくみが考えられる。実際に、日本では、性能評価を行う施設・機関があり、その評価をもとに、建設許可が発出する仕組みが作られている。

地域標準化の必要性

ユニット型の腐敗槽、浄化槽は国際的に取り引きされている。国際的に性能評価について標準化が進まなければ、各国で独自の性能評価方法を規定しており、その評価方法が異なれば、各国ごとに性能評価試験を実施しなければならないことになる。浄化槽など分散型排水処理設備の評価には、時間がたてば有機物を分解する微生物が増えることを考慮する必要がある。また、温度によっても有機物の分解は影響を受けるため、日本や欧州のように、夏と冬で気温が大きく変化する地域では、試験期間も長くなるざるをえない。

期間が長くかかる試験を国ごとに行う必要があるれば、それだけコストがかかってくることになり、性能評価方法が標準化されていることが、製造業者にとっても、また、その装置を購入する消費者にとっても望ましいことになる。日本や欧州、アメリカでは、それぞれ性能評価のしくみが作られているが、東南アジア地域とは気候条件が異なっており、他地域と同じ方法を適用するのは適切でない。ASEAN地域内の気候は、かなり似通っていること、また、ASEANの経済統合が進んできており、浄化槽などを製造し近隣国に輸出されていることから、東南アジア地域で分散型排水処理の性能評価の地域標準化を進める必要がある。

2) 地域標準化に向けたプロセス

性能評価に関する地域標準化の必要性について製造業者等からの声をあげるようになるのは、各国で性能評価が求められるようになり、また、その評価に時間がかかったり、コストがかかったりする場合である。性能が劣っている製品を利用しても、罰せられることはほとんどない状態では、性能評価の義務化もされていないため、製造業者にとって性能評価にコストをかける状況とはなっていない。しかしながら、水の汚染に対する関心の高まり、インドネシア、ラオスなどでの排水基準の強化、ベトナムにおけるモールなどに分散型排水処理の取り締まりの強化などを背景に、性能評価に対する関心は高くなってきている。また、マレーシアでは独自の性能評価方法が内部規定で定められ運用されている他、インドネシアとタイで、別々に浄化槽等の性能評価方法のガイドライン作りの作業が始まっており、地域標準化の必要性が高まっているといえる。

また、国際標準化機構は、ISO 30500で、浄化槽等の性能評価についての国際的な規格を2018年10月に発表した。ただし、ISO 30500がASEAN諸国の気候、一日の中での廃水量の変動などと合致しているものかどうかを検討する必要がある。

以上の状況を踏まえて、ASEANにおける地域標準化としては、4つのプロセスを見いだすことができた。以下4つのアプローチは、最初の2つがASEANに設置された既存の枠組みを活用して分散型生活排水処理の議論を継続、地域標準化推進を目指すものであり、残り2つは各国レベル、もしくはアカデミック、学会等を中心に地域標準化を推進する提案である。これらはどれか一つのアプローチを採用するというものではなく、複数のアプローチを同時に進めながら、分散型生活排水処理分野の複数の利害関係者が、ASEAN地域の生活排水による水質悪化を食い止めるため、性能評価試験の地域標準化の重要性の理解醸成を図ることが肝要である。

ACCSQのワーキング・グループ / タスクフォース

これまで、ASEAN標準化・品質管理諮問評議会（ACCSQ）では、ISOなど国際的な規格に各国の規格を合わせるかたちで、ASEAN域内な工業規格を統一したものにしている取り組みを行ってきた。2018年11月には、ACCSQのWG1（Working Group on Standards and Mutual Recognition Arrangements(MRAS)）の会議において、日本政府が、分散型排水処理システムの試験方法の標準化の支援を依頼するとともに、水と衛生に関して継続的に議論をする場の設置、ゆくゆくはタスクフォース等の設置を求めた。

仮に、ACCSQのもとでWGなりTFが結成された場合、そのWG/TFを立ち上げ、ISO 30500、インドネシアやタイの規格を参照しながら、東南アジア諸国の気候や水使用パターンなどを踏まえて、ISO 30500をベースにしつつ、必要な修正を行う方向で検討が進められるのが望ましい。

ASEAN水資源管理ワーキンググループ（AWGWRM）での検討

ISO 30500、タイおよびインドネシアで作成中の性能評価試験のガイドラインやマレーシアやブルネイの審査用の基準をベースに、地域標準化に向けたタスクフォースを設置する。すでに、有機農業のASEANガイドラインなど、WGのレベルで、取りまとめたガイドラインが存在しており、ASEANの水資源管理ワーキング・グループのもとにタスクフォースを作り、地域標準化に向けた議論を進めることが考えられる。

各国での取り組みをまず進める

ASEANレベルでの枠組みを作ることが難しい状況であれば、各国での分散型排水処理の性能評価方法に関する取り組みをまず進めることから始めざるを得ないと思われる。JAIF事業として、2018年7月から始まっているPolicy Dialogue and Network Building of Multi-stakeholders on Integrated Decentralized Domestic Water Management in ASEAN Countries(PoDIWM)の事業は、分散型排水処理の現状を調査するとともに、各国の当該分野の能力向上を図るとともに、およびASEANレベルでの政策提言をまとめることが予定されている。ACCSQや AWGWRMを立ち上げるためにも、各国の現状把握と政府担当

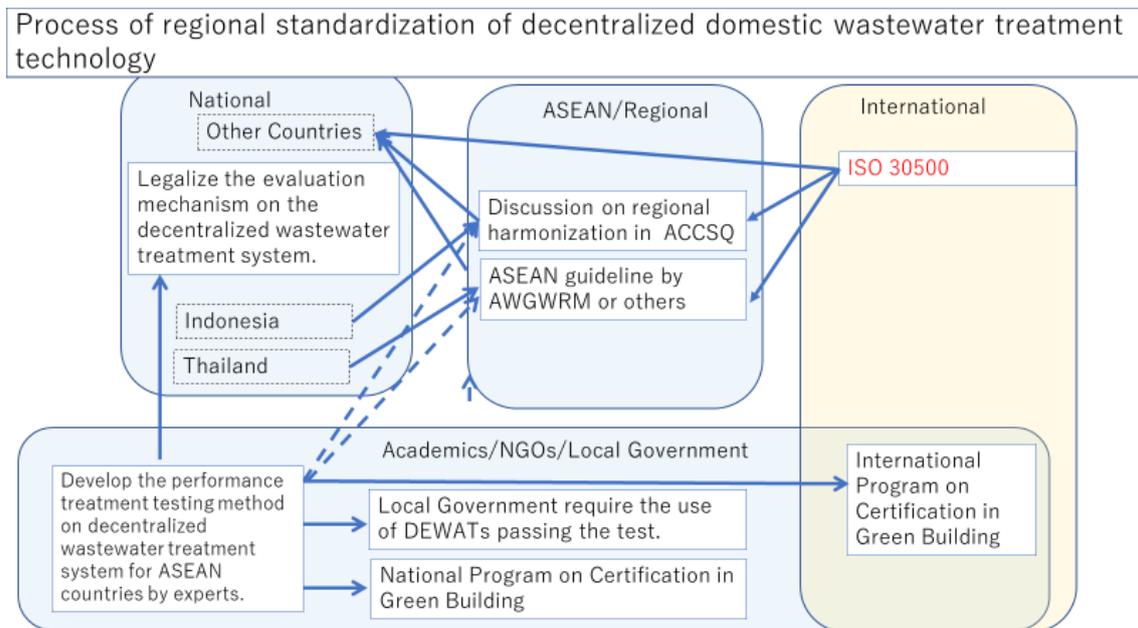
部局等の意識啓発からはじめ、時期をみて、ASEAN域内での標準化を図っていくといった方向性も考えられる。

研究者を中心に自主的なガイドラインをまとめる

ASEAN諸国の研究機関等を中心に、性能評価方法についてのガイドラインを作り、学会などでガイドラインを認めてもらい、試験施設に利用してもらおう。そのうえで、地方政府やグリーン・ビルディング認証団体に、ガイドラインを利用してもらおうという方法が考えられる。観光地など、水汚染対策に熱心な地方自治体であれば、一定の性能を満たした分散型排水処理を義務付ける可能性が高い。現在のグリーン・ビルディングの認証では、項目としては排水対策が取り上げられているが、性能評価については触れていない。しかし、グリーン・ビルディングの認証団体でのヒアリングでは、性能評価方法が標準化されれば、評価基準に入れることを検討したいとの意見があった。

中央政府が浄化槽の設置や性能評価を義務づける法令・政策を取らなくとも、水質保全に関心の高い地方政府が建設強化を出す要件としたり、グリーン・ビルディングの認証機関が性能評価を求めたりするようになれば、浄化槽等の導入も進んでいくと考えられる。

以上の4つの地域標準化に向けた道筋を図(2)-1にまとめる。



図(2)-1 地域標準化戦略

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、標準化の先事例等を調査・分析し、ASEANにおける分散型排水処理に関する標準化・調和化に向けた複数のアプローチを明らかにした。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、標準化の先行事例等を調査・分析し、ASEANにおける分散型排水処理に関する標準化・調和化に向けた複数のアプローチを明らかにした。これを踏まえ、経済統合の進むASEANにおいて、性能評価制度を地域で共有できれば、分散型排水処理施設の大きなマーケットを創出することができる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 久保田利恵子・小島道一(2018) 東南アジアにおける環境技術の地域展開のための地域標準化戦略、国際開発学会第19回春季大会(渋谷区、国内)
- 2) Michikazu Kojima and Kenji Otsuka (2019) What is the advantage of regional harmonization of standards on decentralized domestic wastewater treatment?, ASEAN regional workshop on Standardization for Domestic Wastewater Treatments (Tsukuba, 国内)

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 片山徹「浄化槽の海外展開について」中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会浄化槽専門委員会(第19回:2006年9月22日)資料。<http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y039-19/mat03.pdf>
- 環境省、エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社『平成27年度 浄化槽システムの国際普及戦略作成等検討業務 報告書』2016年3月。
- 北井良人「浄化槽の海外ビジネス展開について」『月刊浄化槽』No.424、2011年8月号、pp.18-20。
- 雲川新泌「マレーシアにおける浄化槽整備による生活排水処理」No.471、pp.28-32。
- クボタ『アジア水環境改善モデル事業インドネシア国ジャカルタ特別州浄化槽試験面整備による水質改善事業業務報告書平成23年度』2012。
- クボタ『アジア水環境改善モデル事業インドネシア国ジャカルタ特別州浄化槽試験面整備による水質改善事業業務報告書平成24年度』2013。
- 新日本有限責任監査法人(2016)『相手国の産業政策・制度構築の支援事業(APEC:上水の確保・排水処理を通じた水環境保全に係る・技術の重要性等に係る調査)』経済産業省委託「平成27年度新興国市場開拓事業」

- 大栄産業『インドネシア国公共施設への分散型排水処理施設としての浄化槽導入事業の案件化調査業務完了報告書』国際協力機構、2017年
- ダイキアクシス『マレーシアにおける浄化槽整備による生活排水処理報告書：平成27年度アジア水環境改善モデル事業』2016年
- 建設技研インターナショナル・日本工営・北九州ウォーターサービス『プノンペン都下水・排水改善プロジェクト ファイナルレポート』国際協力機構、2016年12月
- 馬場雄二郎「タイの浄化槽について」『月刊浄化槽』2014年1月号。
- 日立造船株式会社(2016)『ホーチミン市におけるセプティックタンク汚泥処理プロジェクト』〔平成27年度 アジア水環境改善モデル事業〕。
- 本田了「タイ王国における水利用技術の研究開発および浄化槽普及プロジェクト」『月刊浄化槽』No. 424、2011年8月号、pp. 18-20。
- 山本充弘「ベトナムにおける生活排水の実態および浄化槽普及の可能性」『月刊浄化槽』2004年7月号、No339, pp. 14-18.
- ASEAN(2014) ASEAN Standard for Organic Agriculture.
[http://www.asean.org/storage/images/Community/AEC/AMAF/OtherDocuments/ASEAN%20STANDARD%20FOR%20ORGANIC%20AGRICULTURE%20\(ASOA\).pdf](http://www.asean.org/storage/images/Community/AEC/AMAF/OtherDocuments/ASEAN%20STANDARD%20FOR%20ORGANIC%20AGRICULTURE%20(ASOA).pdf)
- Aung Khaing Min (2016) “Current Status of the Planning of Municipal Wastewater Treatment System” presentation file at WEPA meeting at Nagoya, July 2016.
- Beatings, Erick and Declan O’Leary (2010) Rapid Assessment of Household Sanitation Services, Vientiane, Lao PDR, Final Report for WSP. (Downloaded from <http://www.ircwash.org/sites/default/files/Baetings-2010-Rapid.pdf>)
- Boontanon, Suwanna Kitpatii and Thapanee Buathong (2013) “On-Site Management for Domestic Wastewater in Thailand” WEPA Policy Brief 3.
- Ittisupornrat, Suda and Jittima Jarudecha (2015) 「タイにおける浄化槽導入事例と分散型排水処理施設の性能評価」『月刊浄化槽』2015年7月号、No. 471, pp. 9-14。
- JICA(2011) *The Study on Improvement of Water Environment in Vientiane City : Final Report Vol. 1.*
<http://libopac.jica.go.jp/images/report/P1000000849.html>
- Mitchell, C, Ross, K, and Abeysuriya, K. (2015). An analysis of performance data for local scale wastewater services in Indonesia. Institute for Sustainable Futures
<http://communitysanitationgovernance.info/wp-content/uploads/2016/04/Working-Paper-3-Performance-Data-2016-April.pdf>
- Pramadhita, Adhitia, Resmiani and Setiawan Wangsaatmaja (2007) “Environmental Manager Trainees and Certification as the Pollution Control Program Implementation in West Java Province” presented at International Forum on Water Environmental Governance in Asia: Technologies and Institutional Systems for Waste Environmental Governance, held on March 2007 at Bangkok. <http://www.wepa-db.net/pdf/0703forum/paper02.pdf>
- Sudarmadji and Hamdi (2013) “Tangki Septik dan Peresapannya Sebagai Sistem Pembuangan Air Kotor Di Permukiman Rumah Tinggal Keluarga” PILAR *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 9, No. 2, September 2013. (Downloaded from <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=155294&val=4006&title=TANGKI%20SEPTIK%20DAN%20PERESAPANNA%20SEBAGAI%20SISTEM%20PEMBUANGAN%20AIR%20KOTOR%20DI%20PERMUKIMAN%20RUMAH%20TINGGAL%20KELUARGA>)
- Suwanna Kitpatii Boontaono and Thapanee Buathong (2013) “On-Site Management for Domestic Wastewater in Thailand”, WAPA and IGES.

II-3 地域の社会特性が生活排水の質・量および排水処理特性に及ぼす影響解析

東洋大学理工学部

山崎 宏史

平成28～30年度累計予算額：10,355千円

(うち平成28年度：3,510千円、平成29年度：3,510千円、平成30年度：3,335千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

分散型污水处理技術等の現地適用化のために、現地での性能評価試験実施に必要な試験用原水の濃度や量、流入パターン、ピーク係数の設定等の他、排水処理規模設定のための算定方法を検討した。さらに、浄化槽処理水における衛生指標の検討、浄化槽のコンパクト化のためのモデル試験による検証等をサブテーマ1と連携しつつ実施した。

東南アジアにおける生活排水の質・量に関する考察を行い、BOD、SS濃度は日本と同等であるがT-N濃度は高く、水量は少ないことを明らかにした。これらの結果とインドネシア側での調査結果を元に、現地で開催されたステークホルダー会合を通じて、現地関係各機関と現地での分散型污水处理施設性能評価試験における原単位について、調整を図った。さらに、現地での性能評価試験結果を用いて、様々な使用用途への適用やスケールアップする方法についてヒアリングを行ったが、日本の様な統一的で、詳細な基準は存在しておらず、上水使用量が参考とされているとともに、実態として、日本企業が現地代理店に対し、日本の算定基準（JIS）をレクチャーしている場合が多いことが明らかとなった。流入水負荷に関して、日本と同程度以下であると考えられたため、当面の間、公平性の観点から、日本における算定基準（JIS A 3302:2000）の参照を推奨していくことが望ましいと考えられ、ステークホルダー会合にて提案・議論した。

日本で設置されている汎用的な浄化槽を対象に継続的な調査を行い、浄化槽の各処理工程と衛生指標生物除去率との関係、水温の影響、処理機能との関係を解析した。その結果、生物ろ過槽の好気処理能により、大腸菌群、大腸菌、腸球菌が除去できること、嫌気槽の固液分離能により、嫌気性芽胞菌が除去できることを明らかにした。また、それら衛生指標生物の除去は水温の増加とともに増大することを確認できたが、インドネシアの排水基準を遵守するためには、塩素消毒が必要であることをステークホルダー会合にて提案した。さらに、維持管理制度が確立されていないインドネシアの現状を踏まえ、定期的な追加補充を必要とする塩素消毒以外の方法である紫外線消毒について、基礎的な検討を行った。

日本の汎用型浄化槽を模擬したモデル浄化槽を構築し、日本の水温を想定した13℃、20℃試験、東南アジアの水温を想定した30℃試験において、滞留時間を変化させることで、処理性能や貯留汚泥量に及ぼす影響を解析した。これらの結果から、日本製浄化槽の大きさを100とした場合、東南アジアに設置する浄化槽を75とコンパクトにした浄化槽であっても、日本と同等の性能を有すると考えられた。また、維持管理制度が確立されていないインドネシアの現状を踏まえ、日本の浄化槽容量のまま設置し、水温が高いことを利用し、浄化槽内での汚泥転換量を少なくすることで、汚泥清掃までの期間を長くする等の検討も必要であると考えられた。

[キーワード]

生活排水原単位、浄化槽、性能評価試験、衛生指標生物、現地化

1. はじめに

Iで述べられている通り、本研究全体としては、政策・社会実装に直結した制度の確立と技術の現地化を連携させた総合的なアプローチに基づく研究開発を行うことで、我が国の分散型污水处理技術を東南アジア地域に展開するための道筋を付ける事を目的としている。そのため、東南アジアでの分散型污水处理技術の性能評価方法の確立と地域標準化、現地の産学官との連携による技術の現地化を目指した

内容となっている。その中で、サブテーマ3では、分散型汚水処理技術等の現地適用化のために、現地での性能評価試験実施に必要な試験用原水の濃度や量、流入パターン、ピーク係数の設定等の他、排水処理規模設定のための算定方法を検討することを目的とした。さらに、浄化槽処理水における衛生指標の検討、浄化槽のコンパクト化のためのモデル試験による検証等をサブテーマ1と連携しつつ実施した。

2. 研究開発目的

上記を踏まえ、サブテーマ3の研究開発目的をさらに3つに細分化し、それぞれ、以下の内容を明らかにすることを目的とした。

- 3-1 インドネシアにおける生活排水原単位設定
- 3-2 東南アジアにおける生活排水処理水衛生指標の検討
- 3-3 モデル浄化槽を用いた東南アジアの排水条件での排水処理性能

平成28年度は、高く安定した気温、トイレトーパーを使わない習慣等を踏まえ、インドネシアを中心として生活排水の質的・量的調査による仮の原単位設定や衛生指標の検討を行う。さらに、モデル槽を用いたラボ実験により、東南アジアの排水条件での排水処理特性の基礎データを取得する。平成29年度は、高く安定した気温、トイレトーパーを使わない習慣等を踏まえ、生活排水の質的・量的調査を進め、原単位設定の他、性能評価試験に必要なピーク係数の設定等を行う。また、前年度に検討した衛生指標を元にその削減に係る検討をする。平成30年度は、過年度の成果およびサブ1の実証結果等を踏まえて、人員算定方法等に関する提言を行う。また、排水処理における衛生指標について、政策提言を行う。

3. 研究開発方法

上記2. で説明したとおり、本研究では、サブテーマ3をさらに3つに細分化した。

3-1 インドネシアにおける生活排水原単位設定

本テーマでは、これまでの東南アジアにおける生活排水処理施設への流入水の質・量に関する既往調査を整理するとともに、現在、積極的に海外展開を行っている浄化槽メーカーの協力も得つつ、新たな調査を行い、それらの結果を整理し、東南アジアにおける生活排水の質・量に関する考察を行った。また、これらの結果とインドネシア側での調査結果を元に、インドネシアで開催されたステークホルダー会合を通じて、現地関係各機関と現地での分散型汚水処理施設性能評価試験における原単位について、調整を図った。さらに、この現地での性能評価試験を住宅の最小規模を想定した原単位にて実施し、その結果を用いて、様々な使用用途に適用する際やスケールアップする際の方法について、東南アジアの現状を調査し、それらの結果を元に人員算定方法等に関する提言としてまとめた。

3-2 東南アジアにおける生活排水処理水衛生指標の検討

本テーマでは、各国の衛生指標とされている微生物を調査するとともに、日本で設置されている汎用的な浄化槽を対象に継続的な調査を行い、浄化槽の各処理工程と衛生指標生物除去率との関係、水温の影響、処理機能との関係を解析した。また、それらの結果を元に、塩素消毒必要の有無について、考察を行った。さらに、維持管理制度が確立されていないインドネシアの現状を踏まえ、定期的な追加補充を必要とする塩素消毒以外の方法である紫外線消毒について、基礎的な検討を行った。

3-3 モデル浄化槽を用いた東南アジアの排水条件での排水処理特性

本テーマでは、日本の汎用型浄化槽を模擬したモデル浄化槽を構築し、日本の水温を想定した13℃、20℃試験、インドネシアの水温を想定した30℃試験において、滞留時間を変化させることで、処理性能や貯留汚泥量に及ぼす影響を解析した。また、それらの結果から、東南アジアに適した浄化槽の容量について、検討を行った。

4. 結果及び考察

サブテーマ 3-1 インドネシアにおける生活排水原単位設定

3-1.1 インドネシアにおける新排水基準の施行

表(3)-1は、本研究が開始された直後の2016年8月にインドネシアで新たに施行された生活排水処理施設に係る排水基準¹⁾に、日本における浄化槽の基準と汎用型浄化槽の主な性能を追加したものである。インドネシアKLHK（環境森林省）へのヒアリングによれば、この新排水基準は、河川への環境負荷を低減する目的で作成されており、特にBOD（100mg/L→30mg/L）やアンモニア（10mg/L：新規追加項目）などの項目が強化されている。猶予期間は3年とされているため、本研究プロジェクトの終了直後である2019年8月にはこの新排水基準が適用されることとなる。この新排水基準がそのまま施行されれば、BOD 30 mg/L以下やアンモニア 10 mg/L以下を達成させるためには、好気処理が必要であると考えられるため、従来、インドネシアで設置されてきたセプティックタンクは使用できなくなる可能性があり、日本の浄化槽のような好気処理を有した排水処理施設が普及する可能性が高くなると考えられる。

表(3)-1 インドネシアにおける新排水基準¹⁾
(2016.8 施行)

Parameter	Satuan	Kadar maksimum	日本浄化槽基準 (汎用型の性能)
pH	-	6-9	5.8-8.6
BOD	mg/L	100→30	20
COD	mg/L	100	- (30以下は可能)
TSS	mg/L	30	- (20以下は可能)
Minyak&lemak (油&脂肪)	mg/L	5	- (20以下は可能)
AmoniaK (アンモニア)	mg/L	10(新規追加)	- (1以下は可能)
Total Coliform	Jumlah/100mL (個/100mL)	3,000(個/100mL) (30個/mL)	3,000(個/mL)
Debit	L/orang/hari (L/人/日)	100(新規追加)	- (標準200L/人/日)

3-1.2 東南アジアにおける生活排水の質・量調査に関する既往研究の整理

本研究における調査を開始する前に、東南アジアにおける生活排水の質・量調査に関する既往研究を整理した。既往研究を整理した結果は、表(3)-2に示すとおりである。表(3)-2から、バラツキはあるものの、東南アジアにおける高く安定した気温により、生活排水の原水温に大きな変化や季節変動は認められないことが確認された。一方、生活排水の水質に関して、バラツキはあるものの、生活排水中に含まれる有機汚濁物質の指標であるBODやSSに関しては、それぞれ、日本の浄化槽性能評価試験の原水水質基準値⁷⁾である、200 mg/L、160 mg/L と同等以下であった。これらの結果は、生活習慣の違いとして、トイレトペーパーを使用しないことや中食の多さ等が原因であると考えられた。足立が試算した「浄化槽に対するトイレトペーパーの負荷」によれば、日本の浄化槽へのSS流入負荷は、全体を浄化槽の性能評価試験基準値である32 g/人・日（SS濃度160 mg/L、水量200 L/人日）とした場合、トイレトペ

表(3)-2 東南アジアにおける生活排水の質・量調査に関する既往研究まとめ

No	国名	調査対象	水量	使用人数	1人当たりの 使用水量	気温	原水温	pH	SS	BOD	CODcr	T-N	NH ₄ -N	T-P	Oil & Grease	備考	出典
			m ³ /日	人	m ³ /人・日	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L			
1	ベトナム	ビンフン 下水処理場	-	-	-	33.9 ±1.3	30.2 ±1.4	7.23	138.8	120.5	268	31.0	25.1	4.7	-		2)
2	ベトナム	トゥザウモット 下水処理場	-	-	-	27.4 ±2.2	29.9 ±1.8	7.05	78.3	92.0	227	39.0	28.4	3.5	-		2)
3	マレーシア	浄化槽	-	-	-	-	32.0	-	7.53	146	110	-	109	-	4.54	-	3)
4	インドネシア	浄化槽1	1.795	5	0.359	27.4 ±1.1	29.7 ±0.3	-	-	70-200	-	-	-	-	-	レストランに 食材を調達	4)
5	インドネシア	浄化槽2	0.082	4	0.021	31.3 ±2.1	30.2 ±0.6	-	-	50-400	-	-	-	-	-		4)
6	インドネシア	浄化槽3	0.436	9	0.048	28.9 ±2.4	29.3 ±0.2	-	-	30-60	-	-	-	-	-		4)
7	インドネシア	浄化槽4	3.131	5	0.626	26.6 ±1.0	29.2 ±0.4	-	-	20-120	-	-	-	-	-	洗濯時に地下水を 流し続けている	4)
8	タイ	公共住宅	-	-	-	-	-	-	84	130	-	143 (TKN)	-	-	19.8		5)
9	タイ	刑務所	-	-	-	-	-	20-30	-	150-500	156	-	-	3-20	-		6)

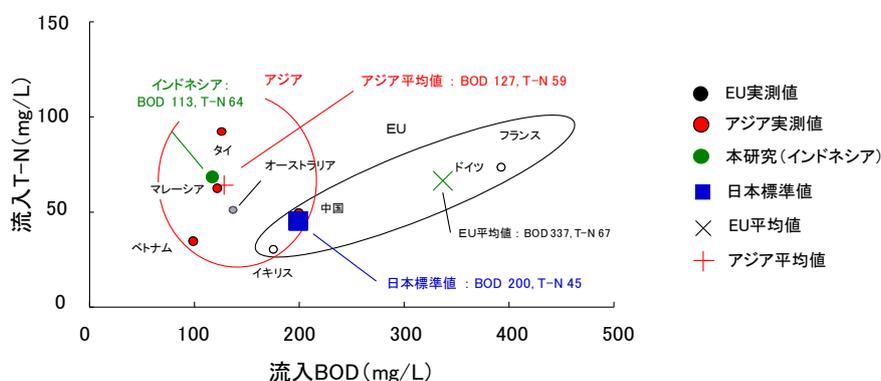
ーパーのSS負荷は6.6 g/人・日となり、生活排水全体のSS負荷量の21%を占めると報告している⁸⁾。すなわち、東南アジアにおいて、トイレトーパーを使用しない習慣がある場合には、このトイレトーパーの負荷分、SSの原単位負荷が低くなる可能性があると考えられた。一方、栄養塩類である窒素、リン成分に関しては、データが少なく一定の評価をすることは困難であると考えられたが、T-Pに関しては、比較的安定したデータが示されており、T-Pの排出源がし尿中心であることを考慮に入れると、日本における浄化槽性能評価試験で用いられる生活排水原水T-P濃度の基準値5 mg/L⁷⁾と同等であると考えられた。栄養塩類の排出源であるし尿量に大きな変化がないと考えれば、栄養塩類の負荷に関しては、日本と同様であると考えられた。

3-1.3 インドネシアにおける生活排水の水質に関する調査

表(3)-3は、現在、積極的に海外展開を行っている浄化槽メーカーの協力を得つつ、本研究で調査したインドネシアにおける生活排水処理施設流入水質調査結果を示している。この結果より、BOD, SS濃度の平均値は前項と同様、日本の浄化槽性能評価試験の原水基準値⁷⁾である、200mg/L、160mg/Lと同等以下であることを確認できた。一方、栄養塩類であるT-N, T-P濃度の平均値は、日本の浄化槽性能評価試験の基準⁷⁾である、45mg/L、5mg/Lより高く、栄養塩類の排出源であるし尿量に大きな変化がないと考えれば、他の生活雑排水での希釈効果が少ないものと考えられた。図(3)-1は、東南アジア、EU、日本における生活排水処理施設流入水質の調査結果まとめを示している。この図で示すとおり、EUにおいては、

表(3)-3 インドネシアにおける生活排水処理施設
流入水質調査結果

場所	用途	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	T-N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)
ジャカルタ	戸建	142	-	-	10.9	4.8
ジャカルタ	戸建	85.9	232	-	38.1	5.6
ジャカルタ	戸建	66	56	-	0.7	6.0
ジャカルタ	集合	136	-	-	23.4	7.1
パルクパパン	集合	284	321	-	38.4	-
プカン(西ジャワ)	集合	50	129	60.0	2.4	3.6
プカン(西ジャワ)	集合	102	119	50.9	15.8	3.7
デポック(西ジャワ)	集合	81	61	80.4	32.1	3.6
ジャカルタ	下水道	66	24.5	63.7	24.3	3.0
Min.	-	50	56	50.9	0.7	3.0
Ave.	-	113	135	63.8	20.7	4.7
Max.	-	284	321	80.4	38.4	7.1



図(3)-1 東南アジア、EU、日本における生活排水処理施設
流入水質調査結果まとめ

日本の生活排水標準値と比較して濃度が高くなっているが、BOD/T-Nは日本と顕著な差が生じていない。すなわち、EU各国での節水効果による高濃度化であると推察できる。一方、本研究の対象である東南アジアでは、BOD濃度は日本より低いものの、T-Nが高くなっており、上述したとおり、トイレトペーパーを使用しないことや中食の多さ等が原因であると考えられた。また、その影響から、東南アジア各国ではBOD/T-Nが低くなるのが予想され、生活排水処理においては、脱窒反応が困難になるのが予想された。表(3)-1で示したインドネシアにおける新排水基準では、窒素成分に関して、アンモニアのみが基準項目であるため、現時点で問題ないと考えられるが、今後、T-N等が基準となった場合には、新たな対策が必要であると考えられる。

3-1.4 インドネシアにおける生活排水の水量に関する調査

表(3)-4および表(3)-5は、浄化槽メーカーから提供頂いたインドネシアにおける、戸建住宅および集合住宅生活排水水量調査の結果を示している。日本の標準的な生活排水量200 L/人・日と比較して生活排水量は少なく、これは浴槽に入る習慣がない影響と考えられた。一方、上述した生活排水の水質と合わせた負荷を考慮した場合、日本の生活排水原単位負荷と比較して同等以下であると考えられた。

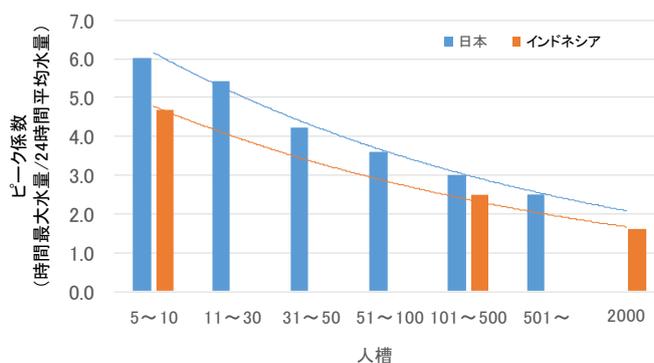
表(3)-4 インドネシアにおける生活排水量調査
戸建住宅 (4人+メイド2人)

	Black Water (L/日)	Gray Water (L/日)	Total (L/日)	Peak Coefficient
Sunday	14.5	112	126	4.7
Monday	14.1	193	207	3.4
Tuesday	11.8	183	195	6.0
Average	13.5 (3.4 L/人日)	163 (40 L/人日)	176 (44 L/人日)	4.7

表(3)-5 インドネシアにおける生活排水量調査
集合住宅 (250人)

	Black Water (L/日)	Gray Water (L/日)	Total (L/日)	Peak Coefficient
Sunday	2,836	6,512	9,348	2.6
Monday	3,046	8,290	11,336	2.2
Tuesday	2,906	8,150	11,056	2.8
Average	2,976 (11.8 L/人日)	8,220 (32.9 L/人日)	11,196 (45 L/人日)	2.6

この結果より、現地での性能評価試験に係るピーク係数について検討を行った。図(3)-2では、日本での性能評価試験における各人槽に対するピーク係数と今回の調査で得られたインドネシアでのピーク係数を合わせて示した。この結果から、各人槽に対するピーク係数はインドネシアにおいても日本と同等と考えることが可能で、処理対象人員が大きくなる程、ピーク係数を軽減することは可能であると考えられた。また、日本における性能評価試験ではピーク流入時に、瞬間最大流速として、59 L/分の設定が設けられているが、東南アジアでは浴槽に入る習慣がないため、瞬間最大流速の設定は不要であると考えられた。



図(3)-2 日本とインドネシアにおける生活排水ピーク係数の比較

3-1.5 インドネシアにおける性能評価試験に係る原単位設定

上記、調査結果等を踏まえ、日本-インドネシア関係各機関が集まったステークホルダー会合にて、インドネシアにおける分散型生活排水処理施設性能評価試験における流入水に関する原単位設定に関して議論が行われ、以下の通り設定された。

試験原水 (Wastewater fed to the test product)

試験原水は生活排水を主体として、原水採水後、所定項目について測定し 表(3)-6の範囲に入るように、水質を調整するとともに、試験期間全体を通じて、表(3)-6の範囲に入っていないなければならない。

表(3)-6 インドネシアにおける分散型生活排水処理施設性能評価試験のための試験原水水質範囲

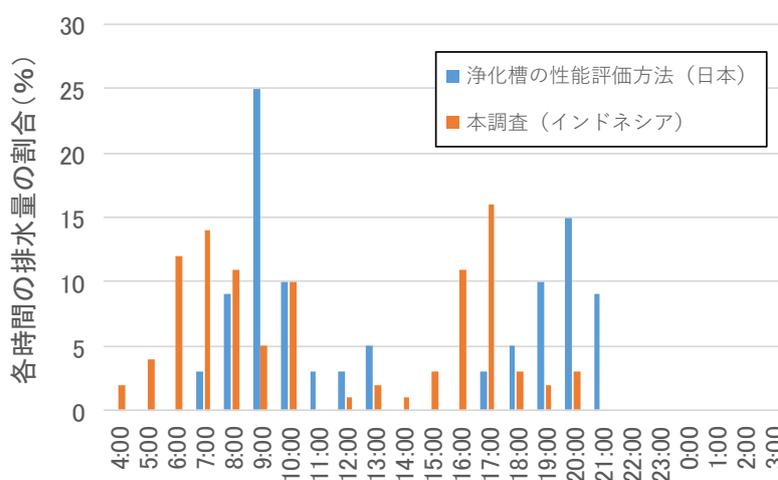
	pH	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	Oil&Grease (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)
Min.	5.8	150	145	20	27	3
Ave.	7.2	200	160	25	39	5
Max.	8.6	350	175	30	52	7

これらの原単位を設定するに際し、生活排水に伴う汚濁負荷を次のように設定した。

- ・BOD 40 g/人・日
1人当たりの水量を200 L/人・日とすれば200 mg/Lとなるが、PUSPERKIMの調査では150～300mg/Lであった。また、各地域で汚濁負荷が異なり、ジャカルタでは46 gBOD/人・日、バンドンでは27 gBOD/人・日、ジョグジャカルタでは28 gBOD/人・日という設定も考えられた。
- ・全窒素 10 g/人・日
- ・全リン 1 g/人・日

流入パターン (Inflow pattern)

ピーク係数は排水処理施設の規模による異なるが、流入パターンは重要な因子である。バンドンにある集合排水処理施設では朝晩に2つの生活排水量ピークが確認され、このことは日本と同様であったが、朝のピークは日本より2～3時間程早く、これは日の出以前での宗教上の理由であると考えられた。



図(3)-3 日本とインドネシアにおける生活排水流入パターンの比較

3-1.6 東南アジアにおける排水処理規模の算定方法

日本では、浄化槽の性能評価試験を一般住宅の最小規模を想定した流入原単位にて実施し、それを様々な使用用途に適用する際やスケールアップする際に、「建築物の用途別による屎尿浄化槽の処理対象人員算定基準 (JIS A 3302:2000)」を参照することとしている。そこで、各国においても、日本と同様な排水処理規模を算定するための方法や算定基準存在の有無について、情報を収集した。その結果は、表(3)-7に示す通りであった。この表からも明らかのように、調査した各国では、日本の様に統一的で、詳細な基準は存在しておらず、排水処理メーカーや代理店が決定している場合が多く見受けられた。インドネシアでは、インドネシア国家規格である配管システムの計画手順(03-7065-2005)に記載の上水使用量を参考にしているものの、地域や収入により、計画汚水量が異なっていた。また、表(3)-8はジャカル

タでの用途別人員算定であるが、この様に各州で独自に設定している場合も見受けられた。東南アジア全体としては、上水使用量を参考にするとともに、実態として、日本企業が現地代理店に対し、日本の算定基準（JIS）をレクチャーしている場合が多いことも聞き取ることができた。

この結果は、現地で性能評価制度が確立しておらず、様々な使用用途に適用する際やスケールアップする際の基本となる設計根拠が存在していないことが原因で、適用のための算定方法に関する整備が進んでいないと考えられた。また、本研究の結果より、東南アジアでは、日本の生活排水原単位負荷と比較して同等以下であると考えられたため、現地の実態を踏まえ、性能評価制度が確立し、運用が開始されるまでの間、公平性の観点からも、日本における「建築物の用途別による尿尿浄化槽の処理対象人員算定基準（JIS A 3302:2000）」の参照を推奨していくことが望ましいと考えられた。

表(3)-7 各国における排水処理規模の算定方法

国	内容
アメリカ合衆国	ベットルーム数に単位汚水量を乗じて汚水量を算定 単位汚水量は、各州・各郡により異なる
オーストラリア ドイツ	家の大きさを人員を算定し単位汚水量を乗じて汚水量を算定 日本のような明確な基準はない 各地のレギュレーターまたはエンジニアが決定
ミャンマー スリランカ インド	建築物の計画汚水量を元に算定 算定は代理店に任せていることが多い
インドネシア	SNI(インドネシア規格)03-7065-2005 記載の上水使用量を参考 各州により、計画汚水量が異なる 収入、居住地区により上水使用量が異なる
東南アジア	上水使用量を参考 日本企業が現地代理店に対し、日本の算定基準(JIS)をレクチャーしている場合が多い

表(3)-8 ジャカルタ知事制定 用途別人員算定 122 2005

Appedix II : Regulation of DKI Jakarta Province Governor
Number 122/2005
Date 19 October 2005

Total Population Equivalent (PE) for WWTP design Based on Building Designation

NO.	Building designation			Clean water usage	Waste water Volume	Unit	Person Equivalent	Reference
				Liter/day	Liter/day			
1	Luxurious house	rumah mewah	高級住宅	250	200	liter/inhabitant/day	1.67	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
2	Usual house	rumah biasa	住宅	150	120	liter/inhabitant/day	1.00	JICA study (2010 projection)
3	Apartemen	apartmen	アパート	250	200	liter/inhabitant/day	1.67	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
4	Home Shop/Home Office	rumah toko rumah kantor	店舗・オフィス	100	80	liter/inhabitant/day & employee/day	0.67	SNI 03-7065-2005
5	Office Building	gedung kantor	オフィスビル	50	40	employee/day	0.33	SNI 03-7065-2005
6	Department store (convenience store, mall, department store)	toserba	店舗	5	4.5	liter/m2 floor area/day	0.04	SNI 03-7065-2005
7	Factory/Industry	pabrik industri	工場	50	40	liter/employee/day	0.33	SNI 03-7065-2005
8	Restaurant	restoran	レストラン	15	13.5	liter/seat/day	0.11	SNI 03-7065-2005
9	Performance Hall	gedung pertunjukan	劇場	10	9	liter/seat/day	0.08	SNI 03-7065-2005
10	Theater	gedung bioskop	映画館	10	9	liter/seat/day	0.08	SNI 03-7065-2005
11	Budget hotel up to 2 star	hotel melati s/d bintang 2	2星ホテル	150	120	liter/bed/day	1.00	SNI 03-7065-2005
12	3 Star hotel and above	hotel bintang 3 ke atas	3星ホテル	250	200	liter/bed/day	1.00	SNI 03-7065-2005
13	Worship Building	gedung peribadatan	礼拝堂	5	4.5	liter/person/day (not including wudhu water)	0.04	SNI 03-7065-2005
14	Library	perpustakaan	図書館	25	22.5	liter/visitor/day	0.19	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
15	Bar	bar	バー	30	24	liter/visitor/day	0.20	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
16	Social Association	perkumpulan sosial	懇親会	30	27	liter/visitor/day	0.23	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
17	Night Club	klab malam	ナイトクラブ	235	188	liter/seat/day	1.57	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
18	Convention Hall	gedung pertemuan	ホール	25	20	liter/seat/day	0.17	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
19	Laboratory	laboratorium	実験室	150	120	liter/staff/day	1.00	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
20	Traditional/Modern Market	pasar tradisions modern	市場	40	36	liter/kiosk/day	0.30	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
1	Flat	rumah susun	平屋	100	80	liter/inhabitant/day	0.67	
2	Dormitory	asrama	ホステル	120	96	liter/inhabitant/day	0.80	
3	Clinic/health center	Klinik	クリニック	3	2.7	liter/visitor/day	0.02	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
4	Luxurious hospital	Rumah sakit Mewah	高級病院	1000	800	liter/bed/day	6.67	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
5	Middle class hospital	Rumah sakit Menengah	中小病院	750	600	liter/bed/day	5.00	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
6	General hospital	Rumah sakit Umum	総合病院	425	340	liter/bed/day	2.83	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura
7	Primary School	Sekolah dasar	小学校	40	32	liter/student/day	0.27	SNI 03-7065-2005
8	Junior High School	Sltp	中学校	50	40	liter/student/day	0.33	SNI 03-7065-2005
9	Senior High School	Sltg	高校	80	64	liter/student/day	0.53	SNI 03-7065-2005
10	University	Perguruan tinggi	大学	80	64	liter/student/day	0.53	SNI 03-7065-2005
11	Station/Terminal	stasiun terminal	駅・ターミナル	3	2.7	liter/arrive dan depart passenger/day	0.02	SNI 03-7065-2005
12	Airport *	bandara udara	空港	3	2.7	liter/arrive dan depart passenger/day	0.02	Design and Maintenance of plumbing system, Souflan M, Noerbambang and Takeo Morimura

Information :

- * For public service
- calculations using the PE approach only if there is no actual data of clean water usage per day

サブテーマ 3-2 東南アジアにおける生活排水処理水衛生指標の検討

3-2.1 東南アジアでの現地政府機関および現地排水処理メーカーへのヒアリング調査

日本の生活排水処理施設である下水道および浄化槽では、排水基準である大腸菌群3,000 cfu/mLを遵守するために、塩素消毒がなされている。この塩素消毒は、排水基準が適用される施設だけでなく、生活排水量1 m³/日程度の家庭用浄化槽でも実施されている。一方、海外では、塩素添加により生成するトリハロメタン等の健康被害の方が重要視されていることから、小規模の生活排水処理施設では塩素消毒がなされていない場合が多い。そこで、現在、東南アジアにおける生活排水処理施設における衛生指標や塩素消毒に関する認識を調査するために、インドネシアとタイにおける政府機関および排水処理メーカーに、ヒアリング調査を行った。結果は表(3)-9に示す通りであった。

表(3)-9 インドネシア、タイにおける衛生指標、塩素消毒に関するヒアリング調査結果

国	対象機関	内容
インドネシア	KLHK (環境森林省)	<ul style="list-style-type: none"> ・新基準は表流水への放流を対象にしている ・地下浸透へは適用されない。地下浸透する基準はまだない ・個別の家庭は適用外 ・インドネシアには15の重要河川がある。そのうち、3河川の調査結果をみると、大部分が生活排水による汚染であり大腸菌群が重要な汚染パラメーターになっている
	PT Daiki Axis Indonesia	<ul style="list-style-type: none"> ・浄化槽には消毒槽、薬剤筒を付けて、販売・設置している ・国内で塩素剤は販売しているが、メンテナンス制度が確立していないため、継続的には消毒はされていない ・公衆衛生を鑑みた場合、塩素消毒は必要だと思う
タイ	ERTC (環境研究研修センター)	<ul style="list-style-type: none"> ・塩素消毒はしていない ・トリハロメタン等塩素副生成物が怖い ・河川等の環境基準には大腸菌、大腸菌群が共にある
	Aqua Nishihara Co.Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> ・大腸菌群の規制はないが、大規模施設においてモニタリング対象となっている ・浄化槽にオプションとして、消毒槽、薬剤筒を付けている
	Thammasorn Co.Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> ・大腸菌群に関しては、現在、チェックしていない

上記のヒアリング結果や予備調査から、東南アジアの生活排水処理施設では、一般に塩素消毒は行われていないことが確認できた。しかし、水系感染症が多発しており、環境水にはそれぞれ大腸菌群等の衛生指標による環境基準が適用されており、公衆衛生確保の必要性は認識されていると考えられる。一方で、副生成物であるトリハロメタンを懸念する声もあり、塩素消毒の必要性に関しては、調査・議論が必要であると考えられた。また、衛生指標生物として、大腸菌群等より適切な微生物がいる、という指摘もある。この様な点を踏まえ、分散型生活排水処理施設である浄化槽における衛生指標生物について、調査・検討を行った。

3-2.2 浄化槽の各処理工程における衛生指標生物の挙動解析

(1) 本研究で対象とした衛生指標生物

衛生指標生物に関して、日本では、対象箇所により、大腸菌群や大腸菌あるいは糞便性大腸菌群を衛生指標生物として、区分して排水基準や環境基準に適用している。一方、海外では、対象箇所によっては、大腸菌群、大腸菌の他、嫌気性芽胞菌や腸球菌を衛生指標生物として基準としている場合もある。これらの衛生指標生物の特徴や対象箇所は、表(3)-10に示したとおりである。特に、嫌気性芽胞菌や腸球菌は、大腸菌群と異なり、グラム陽性菌であることから、熱耐性や塩素耐性がある等の特徴も有しており、塩素消毒に対して、消毒効果がない場合も考えられる。また、本研究で対象とした各衛生指標生物は、今後の普及も鑑み、の分析方法として、比較的、安価で、安定した評価が可能であるものを対象とした。

(2) 調査対象浄化槽

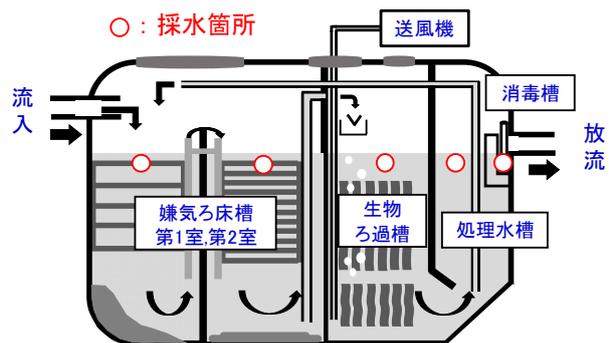
本研究では、日本国内に設置されている汎用型浄化槽を対象に、継続的な調査を行い、浄化槽の各処理工程と衛生指標生物除去率との関係、水温の影響、処理機能との関係を解析した。本研究で対象とした浄化槽の仕様は、表(3)-11で示したとおりであり、その処理フローは、図(3)-4に示したとおりである。この処理フローに従い、浄化槽を構成する各単位装置から採水を行い、各単位装置での衛生指標生物の除去効果について、検討を行った。

表(3)-10 本研究で対象とした各衛生指標菌の特徴

菌種	特徴	衛生指標	培地	培養
大腸菌群 好気性・通性嫌気性菌 人畜の腸管内に生息 30~40℃	し尿汚染を判断する (糞便1g中約100億存在) Escherichia coliの他 Citrobacter属、Enterobacter属 Klebsiella属等 環境由来菌も検出	環境水・浄化槽処理 水水質基準 (日本) 排水基準(ベトナム)	デンキ シコール 硫酸塩 培地	
大腸菌 無芽胞桿菌 30~40℃	ほぼ無害だが病原性を持つものも 病原細菌(赤痢菌、コレラ菌)と 塩素抵抗性が類似	水道水水質基準 (日本) 排水基準(アメリカ)	クロモ アガー ECC 培地	
嫌気性芽胞菌 偏性嫌気性桿菌 70℃でも生息	環境水中では、生育に必要な栄養 や嫌気条件が満たされないため 芽胞型で存在 クリプトスピリジウム、ジアルジアの 汚染推定	糞便性指標+ 消毒効果指標 環境基準(EU)	ハンド フォード 改良 培地	
腸球菌 通性嫌気性連鎖球菌 (糞便性連鎖球菌) 35℃	・水環境中で増殖しない ・生存性が高い ・乾燥に強い ・塩素抵抗性高い →生存性の高い糞便由来汚染 指標細菌として大腸菌より適正	地下水 糞便性指標 環境基準(アメリカ) 飲料水水質ガイ ドライン(WHO) レクリエーション 水基準(USEPA)	m-エン テロ コッカス 培地	

表(3)-11 本研究で対象とした浄化槽の仕様

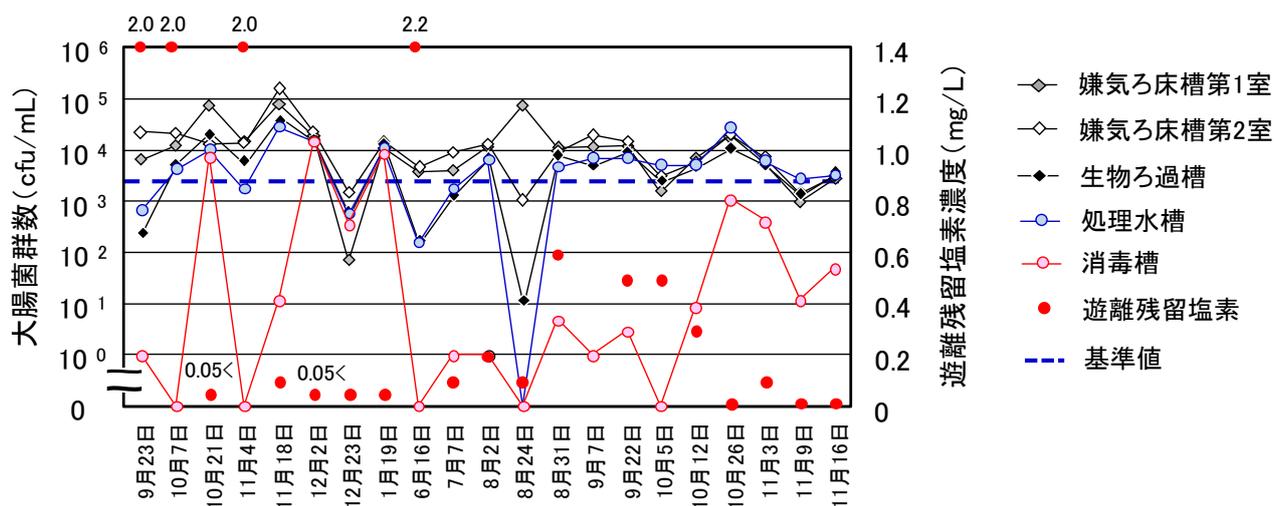
処理方式	流量調整型嫌気ろ床生物ろ過循環方式	
処理対象人員	5人	7人
実使用人員	3人	2人
設計水量	1.0 m ³ /日	1.4 m ³ /日
総容量	2.02 m ³	2.79 m ³



図(3)-4 本研究で対象とした浄化槽の処理フロー

(3) 各処理工程における大腸菌群数の挙動

図(3)-5は浄化槽の各処理工程における大腸菌群数の継続的な挙動を示している。この図から、各処理工程において、大腸菌群の除去が進んでいると考えられるが、消毒前の処理水では、基準値である3,000 cfu/mL前後を推移し、消毒後の放流水において、概ね基準値である3,000 cfu/mL以下となっていた。また、消毒後における大腸菌群数は、試験期間中、大きな変動を見せており、大腸菌群数が基準値3,000 cfu/mLを超過していたサンプルは、塩素消毒不足か、NH₄-Nの残存等処理水質の悪化により塩素の消毒効果が低下したことにより、大腸菌群が除去されなかったと考えられた。



図(3)-5 各单位装置における大腸菌群数の変化

(4) 各処理工程における衛生指標生物の除去率

浄化槽の各処理工程における衛生指標生物の除去率を求め、図(3)-6に示した。この図から、前項で述べた大腸菌群に限らず、大腸菌に関しても、他の処理工程の除去率と比較して、消毒槽における除去率が最も高い結果となった。一方、嫌気性芽胞菌は耐塩素性を有するため、消毒槽での除去率は、大腸菌群、大腸菌の除去率と比較して低い結果となった。また、大腸菌群、大腸菌、腸球菌の3種の衛生指標生物に関しては、消毒槽の他、好気槽である生物ろ過槽においても、一定の除去効果が認められた。特に腸球菌に関しては、生物ろ過槽において、最も高い除去率を示した。そこで、生物ろ過槽における汚濁物質の処理状況と衛生指標生物の除去率との関係について、検討を行った。

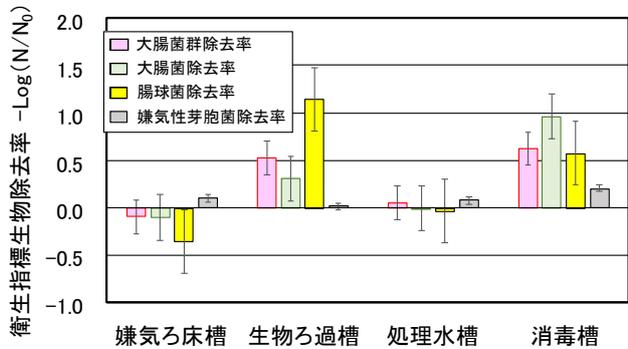
(5) 生物ろ過槽における汚濁物質の処理状況と衛生指標生物除去率の関係

図(3)-7は生物ろ過槽におけるBOD除去率と水温に対する大腸菌群、大腸菌、腸球菌の各衛生指標生物除去率の関係を示している。また、表(3)-12は、嫌気ろ床槽、生物ろ過槽の各処理工程におけるBOD除去率、SS除去率と各衛生指標生物の除去率に対する相関係数を示している。本対象浄化槽における生物ろ過槽は、上段で担体付着微生物による好気処理が行われており、下段で担体を利用した固液分離が行われている。表(3)-12の結果より、BOD除去率と大腸菌群、大腸菌、腸球菌との間で相関があると考えられるため、これら衛生指標生物に関しては、生物ろ過槽上段の担体付着微生物による好気処理能により除去が進行していると考えられた。一方、水温の影響として、図(3)-7から、大腸菌群、大腸菌、腸球菌の各衛生指標生物とも、浄化槽内の水温が25℃以上の時に、除去率が高い場合が多い。そのため、これらの衛生指標生物は、水温が上昇することで、担体付着微生物による好気処理能が高まり、除去効果も高くなったと考えられた。

(6) 浄化槽の処理工程における嫌気性芽胞菌の挙動

図(3)-6で示したとおり、嫌気性芽胞菌は、消毒槽において、僅かながら除去ができていないものの、その他の各処理工程においては、その除去率は少ない。一方、図(3)-6から、大腸菌群、大腸菌、腸球菌の衛生指標生物が嫌気ろ床槽で除去がされていないのに対し、嫌気性芽胞菌は僅かながら除去が認められた。図(3)-8は嫌気ろ床槽における嫌気性芽胞菌除去率とSS除去率の関係を示している。図(3)-8および表(3)-12より、SS除去率に対する嫌気性芽胞菌除去率の相関係数は、0.60と比較的高い相関を示した。併せて、嫌気ろ床槽第1室に堆積している污泥中の嫌気性芽胞菌数を計測したところ、1,100~1,800 cfu/mL 検出され、嫌気ろ床槽第1室の水中よりも多量の嫌気性芽胞菌が存在していることが明らかとなった。これらの結果から、嫌気性芽胞菌は嫌気槽における固液分離により、嫌気ろ床槽底部污泥とともに堆積している可能性があると考えられた。

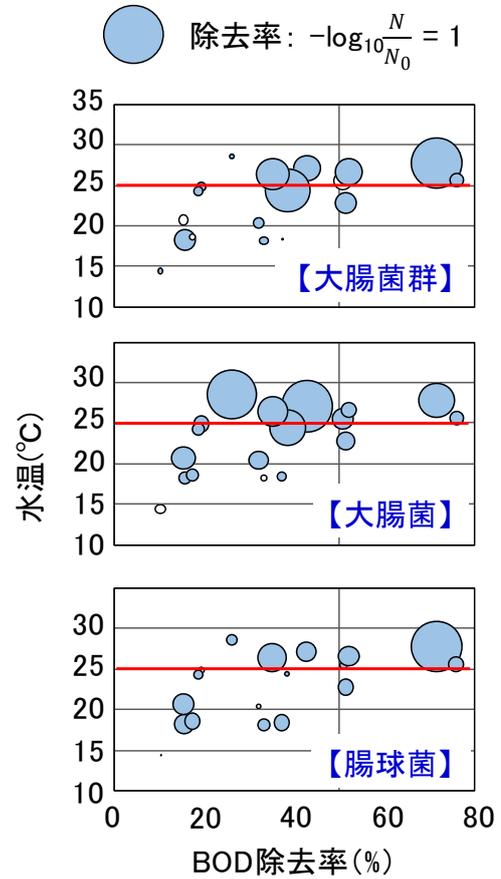
これらの結果を踏まえ、大腸菌群、大腸菌、腸球菌の各衛生指標生物においては、水温25℃以上の東南アジアでは、BOD除去率の向上とともに、衛生指標生物の除去効果も高くなると考えられた。また、嫌気性芽胞菌が嫌気槽での固液分離能により除去される特徴を踏まえ、東南アジアに設置する浄化槽においては、前段に固液分離部を設ける等により、嫌気性芽胞菌の除去に効果があると考えられた。



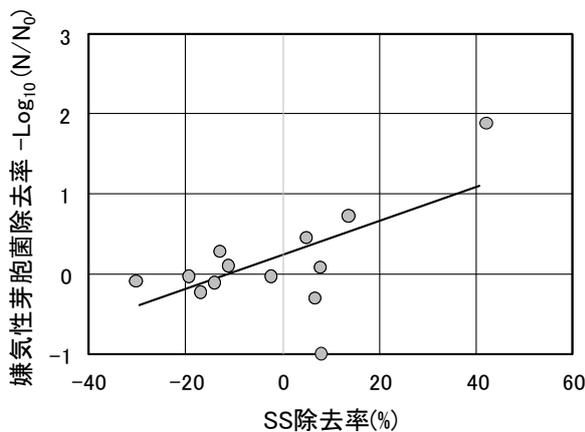
図(3)-6 各処理工程における衛生指標生物の除去率

表(3)-12 浄化槽の各処理工程における汚濁物質と衛生指標生物の除去率に対する相関係数

処理工程	衛生指標生物				
	大腸菌群除去率	大腸菌除去率	腸球菌除去率	嫌気性芽胞菌除去率	
嫌気ろ床槽	SS除去率	0.12	0.01	0.14	0.60
	BOD除去率	0.17	0.01	-0.28	0.35
生物ろ過槽	SS除去率	-0.08	-0.05	0.17	0.16
	BOD除去率	0.53	0.55	0.31	-0.09



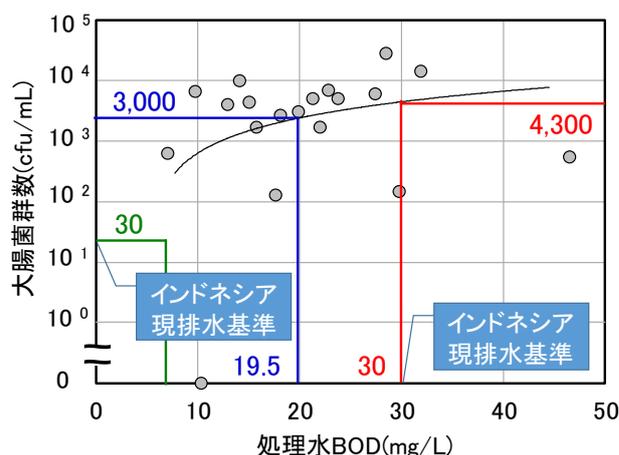
図(3)-7 生物ろ過槽におけるBOD除去率と水温に対する大腸菌群、大腸菌、腸球菌除去率



図(3)-8 嫌気ろ床槽における嫌気性芽胞菌除去率とSS除去率の関係

3-2.3 本研究の結果およびインドネシア排水基準を考慮した塩素消毒の必要性

表(3)-1で示したインドネシアにおける新排水基準¹⁾(2016.8 施行)では、現在の日本の排水基準と同様、衛生指標生物として、大腸菌群数が用いられている。本研究の結果における塩素消毒前の処理水におけるBOD濃度と大腸菌群数の関係は、図(3)-9に示す通りである。この図には、インドネシアにおける新排水基準を合わせて示した。この図から、本研究においては、処理水BOD濃度が低い程、大腸菌群数は少ない傾向にあると考えられた。さらに、日本の排水基準、大腸菌群数3,000 cfu/cm³以下を達成するには、BOD 20mg/L 以下もしくは塩素消毒が必要であると考えられた。しかし、現在のインドネシアにおける新排水基準は大腸菌群数 3,000個/100mL と日本の排水基準より100倍厳しく、かつ、BOD 30mg/L と有機物汚濁指標は緩やかとなっている。また、処理水窒素の観点からも、インドネシアにおける新排水基準ではアンモニア 10 mg/Lであるため、塩素の不連続点以上となる塩素注入量は76 mg/Lと試算される。そのため、水系感染症を減らしてきた実績のある日本の排水基準である大腸菌群数3,000 cfu/cm³を参照すること、現生活排水処理施設の整備レベルを勘案するとともに、排水基準達成のためには、塩素等の消毒が必要であると考えられた。また、維持管理制度が確立されていないインドネシアの現状を踏まえると、維持管理に対する教育や定期的な固形塩素剤の補充体制の速やかな達成が困難な場合には、排水基準としてBOD 20 mg/L以下に下げの必要性や、紫外線などの消毒方法の適用についての検討も有用であると考えられた。

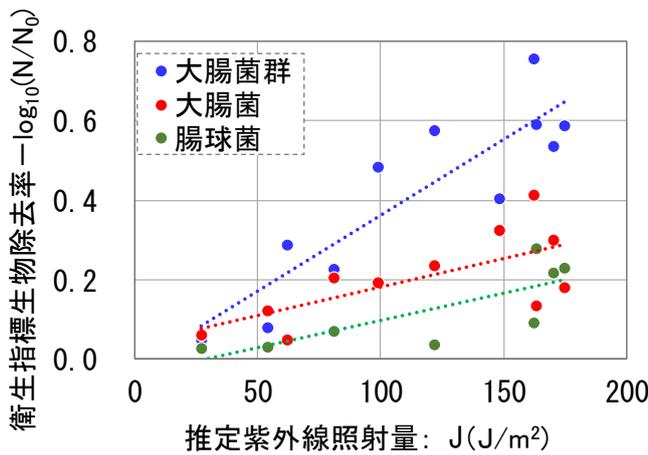


図(3)-9 塩素消毒前処理水におけるBOD濃度と大腸菌群数の関係

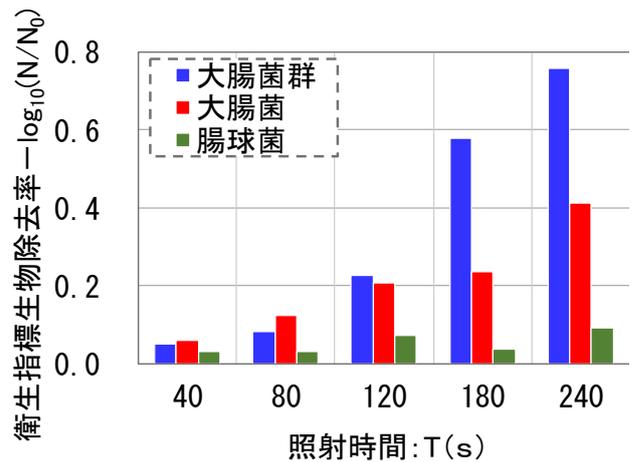
3-2.4 浄化槽消毒へのUV-LED適用に関する基礎的検討

紫外線(UV)による下水処理水の消毒は、塩素とは異なり化学剤を添加しないため、副生成物を生じない等、放流先の環境負荷を低減することが可能である。現在、消毒に使用されている紫外線水銀ランプは、設備が過大となるため家庭用浄化槽に使用された例はない。しかし、近年、消毒効率が高いUV-C波長(200-280nm)に限定して照射することが可能なUV-LED素子が開発されたことにより、小型・低電圧で消毒効果を得る事が可能となった。このような状況を鑑み、浄化槽消毒にUV-LEDを適用した場合における大腸菌群、大腸菌、腸球菌の除去に対する基礎的な検討を行った。

図(3)-10は推定紫外線照射量に対する大腸菌群、大腸菌、腸球菌の除去率を示している。この図より推定紫外線照射量が増加するに従い、衛生指標生物の除去率が増加することを確認できた。また、図(3)-11は紫外線照射線量率が67.46 μ W/cm²時における照射時間と衛生指標生物除去率の関係を示している。この図より、照射時間が長い程、大腸菌群、大腸菌に関しては除去率の増加を確認できたが、腸球菌に関しては、照射時間を増加させても除去効果の増加は認められなかった。そのため、この紫外線照射量では、グラム陽性菌である腸球菌は除去されにくいと推察された。そこで、紫外線照射線量率を97.15 μ W/cm²に増加させ、消毒効果の確認を行った結果、腸球菌に対しても、除去率が増加することを確認できた。さらに、浄化槽消毒にUV-LEDを適用する場合、BOD濃度が高いと吸光度も高くなり、補正係数が低くなることから、消毒効率が低下することが確認された。そのため、消毒槽より前の各処理工程にてBOD濃度を低減することで、UV-LEDによる消毒効果が増大すると考えられた。



図(3)-10 推定紫外線照射量に対する衛生指標生物除去率



図(3)-11 紫外線照射線量率67.15 μw/cm²時における照射時間と衛生指標生物除去率

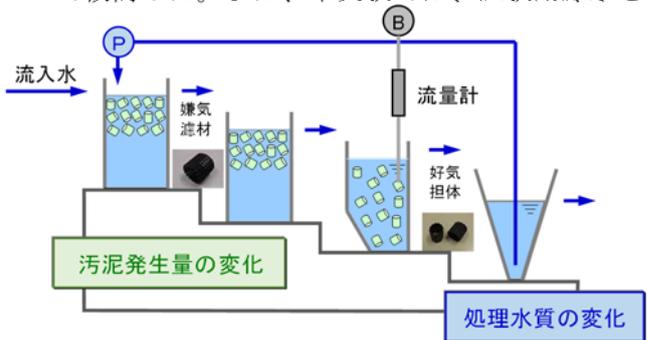
サブテーマ3-3 モデル浄化槽を用いた東南アジアの排水条件での排水処理性能

3-3.1 モデル浄化槽を用いた東南アジアの排水条件での排水処理性能

(1) 本実験で用いたモデル浄化槽

東南アジアで浄化槽を設置する場合、水温30℃付近の中温環境で、かつ水温変化がほとんどないため、その環境下での浄化槽処理性能を把握する必要がある。一般に中温環境下では浄化槽内での細菌類が活性化し、処理水質の向上が期待できるとともに、余剰汚泥の可溶化が進むことにより、貯留汚泥量の減少が期待できる。しかし、この余剰汚泥の可溶化が過度に進行した場合、2次処理である生物処理槽に多くの有機物や窒素負荷がかかることも予想され、処理水質の悪化を招く可能性もある。さらに、水温上昇に伴う浄化槽の1次処理における汚泥貯留能力と2次処理における排水処理能力の差から、日本で普及している浄化槽と東南アジアに設置する浄化槽とでは、1次処理部、2次処理部の最適容量が異なることも予想される。したがって、日本国内に浄化槽を設置する場合を想定した13℃、20℃環境下と東南アジアに浄化槽を設置する場合を想定した30℃環境下において、それぞれの処理性能を把握し、東南アジアでの処理性能、汚泥貯留能を確保しつつ、最適な容量バランスを再検討する必要がある。そこで、本研究では、日本国内で汎用されている浄化槽を模擬したモデル浄化槽を用い、水温と滞留時間を変化させることにより、浄化槽の処理性能、汚泥貯留能に及ぼす影響を解析し、その結果から、東南アジアに設置する浄化槽の1次処理部、2次処理部の容量の最適化について、考察を行った。

図(3)-12は、本研究で用いたミニチュアモデル浄化槽の概要を示している。このモデル浄化槽は、日本国内で汎用している浄化槽をモデルとして、滞留時間を概ね同等とし、5人槽の概ね1/70にミニスケール化したものを使用した。また、このモデル浄化槽の槽内水をヒーターまたはクーラーを用いて水温調整し、それぞれ、13℃、20℃、30℃に設定し、さらに流入水量を変化させることで、水温変化と滞留時間の変化が、処理水質と汚泥貯留量に及ぼす影響について検討した。また、本実験では、試験用原水として、学内で採水した生活排水を原水とし、表(3)-6で示したインドネシアにおける分散型生活排水処理施設性能評価試験のための試験原水水質範囲内とするため、採取した原水を希釈し、窒素濃度を調整するとともに、BOD濃度はグルコースを添加することで調整した。流入パターンに関しては、図(3)-3で示した日本とインドネシアにおける生活排水流入パターンを参照し、13℃、20℃試験に関しては、日本の流入パターンを参照し、30℃試験に関しては、インドネシアの流入パターンを参照し、実験を行った。



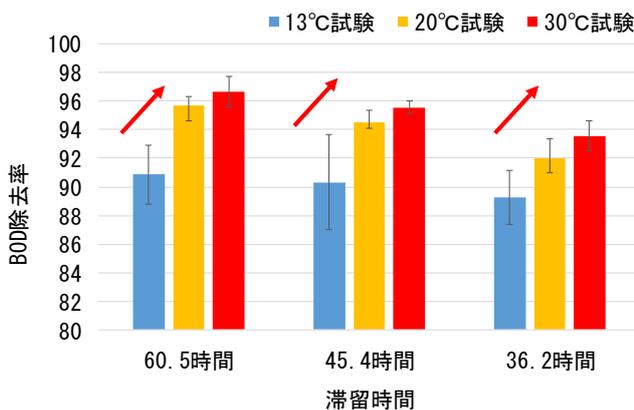
図(3)-12 ミニチュアモデル浄化槽の概要図

(2) モデル浄化槽における滞留時間と水温の変化に対する処理性能

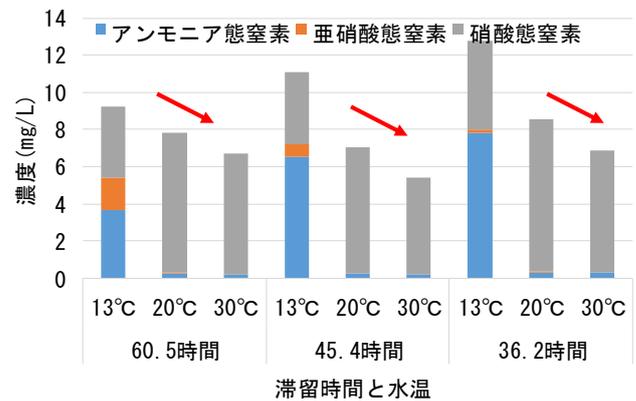
図(3)-13は、モデル浄化槽を用いて、滞留時間と水温を変化させた場合のBOD除去率を示している。標準HRTを45.4hr、水温20℃とし、滞留時間と水温を変化させた結果、いずれの滞留時間でも水温上昇により、BOD除去率が増加することが明らかとなった。しかし、13℃においては滞留時間を変化させても、BOD除去率に顕著な差が無いことから、水温低下時においては、生物学的な反応より物理学的な反応による処理の進行が支配的であると考えられた。これらの結果から、浄化槽のBOD除去率に対し、水温上昇に伴う生物学的なBOD除去の影響は大きいと考えられる。

また、図(3)-14は、滞留時間と水温を変化させた場合の処理水窒素濃度を示している。いずれの滞留時間においても、13℃においては、アンモニア態窒素の残存が認められることから、13℃では一部硝化反応が滞っていると考えられた。一方、20℃、30℃を比較した場合に、両条件とも、アンモニア態窒素の残存が認められないことから、硝化反応は完全に進行したと考えられた。しかし、硝酸態窒素の残存量が異なることから、水温の上昇により、30℃において、脱窒反応も速やかに進行したと考えられた。

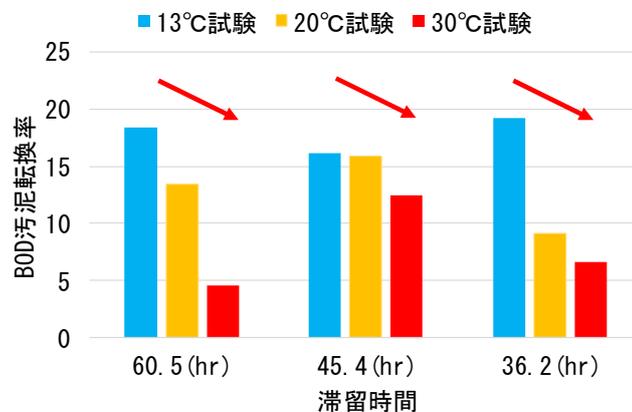
図(3)-15は、各実験終了時において、嫌気ろ床槽第1室、第2室の貯留汚泥量を調査し、除去したBOD量に対して汚泥に転換された割合を示している。この図(3)-15から明らかなように、水温の上昇に伴い、BOD汚泥転換率が減少している傾向が認められた。この現象は、水温上昇に伴い、BOD除去率も向上する傾向が認められるが、そのBOD除去量を上回り、汚泥転換量が少なかったことを示している。



図(3)-13 滞留時間と水温の変化に対するBOD除去率



図(3)-14 滞留時間と水温の変化に対する処理水窒素濃度



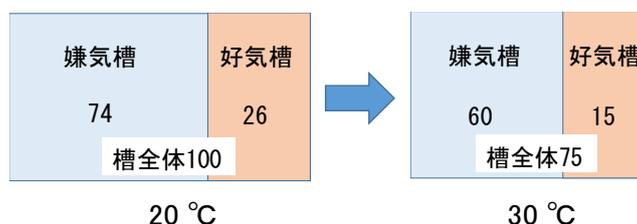
図(3)-15 滞留時間と水温の変化に対するBOD-汚泥転換率

当初、東南アジアに浄化槽を設置した場合、日本と比較して、水温が高いことから、微生物反応の活発化のみならず、貯留汚泥の可溶化が過度に進行し、処理水質が悪化する懸念があった。しかし、今回の実験結果から、水温30℃付近で一定であったならば、日本製浄化槽と同仕様であれば、処理水質は良好で、かつ、汚泥貯留量も少なくできると考えられた。

3-3.2 モデル浄化槽による東南アジアに設置する浄化槽の1次処理部、2次処理部の容量の最適化

図(3)-16は、20℃、すなわち日本の汎用型浄化槽の容量を100とした場合、30℃、東南アジアに設置した場合の浄化槽容量を試算した結果である。試算では、20℃、30℃の各滞留時間におけるBOD除去率を元に処理水BOD濃度が20mg/Lとなるように、好気槽の容量を試算した。また、BOD汚泥転換率から、汚泥貯留期間が1年となるように嫌気槽の容量を試算した。これらの試算結果から、日本製浄化槽を100とした場合、東南アジアに設置する浄化槽を75とコンパクトにした浄化槽であっても、日本と同等の性能を有すると考えられた。

また、維持管理制度が確立されていないインドネシアの現状を踏まえると、維持管理に対する教育や定期的な汚泥清掃体制の速やかな達成が困難な場合には、日本の浄化槽容量のまま設置し、水温が高いことを利用し、浄化槽内での汚泥転換量を少なくすることで、汚泥清掃までの期間を長くする等の検討も必要であると考えられた。



図(3)-16 インドネシアの条件での浄化槽容量の試算

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで浄化槽放流後の大腸菌群数の調査に関しては、いくつかの報告が見受けられるものの、浄化槽の各処理プロセスにおける各衛生指標生物である大腸菌群、大腸菌、腸球菌、嫌気性芽胞菌の挙動に関して、継続的に調査した結果は報告されていない。また、その調査を通じて、浄化槽水温や浄化槽を構成する各処理プロセスの機能と衛生指標生物の除去特性について、その関係を解析した研究も報告されていなかった。本研究により、これら浄化槽の処理プロセスにおける衛生指標生物の除去特性を明らかにできたことで、研究論文として誌上发表することができた。さらに、近年開発されたUV-LEDを用いて、浄化槽消毒への適用に関する基礎的な研究を行えたことで、今後、論文投稿を予定している。これらの研究成果は、今後、東南アジアのみならず、日本において設置されている浄化槽の塩素添加量を最小限とし、環境負荷を低減しつつ、公衆衛生を確保するための知見になると考えられる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 東南アジアにおける生活排水の質・量に関する考察を行い、BOD、SS濃度は日本と同等であるがT-N濃度は高く、水量は少ないことを明らかにした。これらの結果とインドネシア側での調査結果を元に、ステークホルダー一会合を通じて、現地関係各機関と現地での分散型污水处理施設性能評価試験

における原単位について、調整を図った。

- ・ 現地での性能評価試験結果を用いて、様々な使用用途への適用やスケールアップする際の方法について、当面の間、公平性の観点から、日本における算定基準（JIS A 3302:2000）の参照を推奨していくことを提案したい。
- ・ 現在のインドネシアにおける排水基準において、衛生指標となっている大腸菌群数3,000個/100mLは日本の排水基準より100倍厳しいことから、水系感染症を減らしてきた実績のある日本の排水基準である大腸菌群数3,000 cfu/cm³を参照すること、現在のインドネシアにおける排水基準達成のためには、塩素等の消毒が必要である。
- ・ 日本製浄化槽の大きさを100とした場合、東南アジアに設置する浄化槽を75とコンパクトにした浄化槽であっても、日本と同等の処理性能、汚泥貯留能を有する。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 山崎宏史, 中村颯馬, 塩原拓実, 蛭江美孝 (2018) 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析、土木学会論文集G（環境）、vol. 74、Ⅲ_407-Ⅲ_413

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 塩原拓実, 齊藤龍一, 見城匠一郎, 山崎宏史, 第46回土木学会関東支部技術研究発表会(2019), 浄化槽におけるUV-LEDを適用した新規消毒方法の開発
- 2) 山崎宏史, 中村颯馬, 塩原拓実, 蛭江美孝, 第55回土木学会環境工学研究フォーラム(2018), 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析
- 3) 見城匠一郎, 齊藤龍一, 塩原拓実, 山崎宏史, 第53回日本水環境学会年会(2019), 浄化槽における生物処理とUV-LEDの適用による衛生指標菌の削減
- 4) 塩原拓実, 蛭江美孝, 山崎宏史, 平成30年度全国大会第73回年次学術講演会（2018）, 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析
- 5) 塩原拓実, 中村颯馬, 山崎宏史, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会（2018）, 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析
- 6) 大山由香, 杉浦洋輔, 蛭江美孝, 山崎宏史, 第44回土木学会関東支部技術研究発表会（2017）, 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析

<ポスター発表>

- 1) 見城匠一郎, 齊藤龍一, 塩原拓実, 山崎宏史 (2019) 浄化槽における生物処理と UV-LED の適用による衛生指標菌の削減、第 53 回日本水環境学会年会（甲府、国内）

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA :
NOMOR:P. 68/Menlhk/Setjen/Kum. 1/8/2016 TENTANG BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK
- 2) 公益財団法人国際科学振興財団、有限会社ALS、株式会社日水コン：平成27年度アジア水環境改善モデル事業報告書：ベトナムにおける排水処理の高度化
- 3) 株式会社ダイキアクシス、株式会社極東技工コンサルタント、公益社団法人日本環境整備教育センター：平成27年度アジア水環境改善モデル事業報告書：マレーシアにおける浄化槽整備による生活排水処理
- 4) 株式会社クボタ：平成25年度アジア水環境改善モデル事業報告書：インドネシア国ジャカルタ特別州浄化槽試験面整備による水質改善事業
- 5) 公益財団法人日本環境整備教育センター：平成27年度し尿処理システム国際普及推進業務報告書
- 6) 公益財団法人日本環境整備教育センター：平成26年度し尿処理システム国際普及推進業務報告書
- 7) 一般財団法人日本建築センター：浄化槽の性能評価方法細則
- 8) 足立清和：月刊浄化槽(436, 27-29) (2012), 浄化槽に対するトイレトペーパーの負荷

<研究協力者>

東洋大学大学院理工学研究科 修士1年 塩原拓実（平成29～30年度）

II-4 汚泥の収集・処理システムの開発

公益財団法人地球環境戦略研究機関

ファン グク・パオ

平成28～30年度累計予算額：12,341千円

(うち平成28年度：4,170千円、平成29年度：4,970千円、平成30年度：3,201千円)

累計予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

東南アジア地域における汚泥管理が直面している課題は、規制や基準の不十分な実行、セプティックタンクの不適切な設計、家庭から汚泥収集需要の欠如、収集汚泥の不法投棄など多岐にわたるが、これらの課題に取り組むためには、サービスチェーン全体（世帯／事務所／レストランからの汚泥収集・輸送・処理および最終処分/再利用）での具体的な課題を特定し、汚泥管理の既存のビジネスモデルを再調査することが肝要である。

本研究では、インドネシアの都市部における汚泥管理のベースライン研究として包括的かつ詳細な調査を行い、バンドン市とデンパサール市における2つのケーススタディを通して、新たなビジネスモデルを提案することを目的とした。汚泥収集・処理の現状や関連する法制度の把握、汚泥フローの作成、料金設定・徴収等の経済的な仕組みや状況等に関する現地調査、関係者との会合等を踏まえ、商業的に持続可能な仕組み等を検討し、ビジネスモデルを提案した。

[キーワード]

汚泥管理、セプティックタンク、汚泥フロー、ビジネスモデル

1. はじめに

東南アジア地域における汚泥管理は、様々な理由により、事務上の大きな課題に直面している。規制や基準の不十分な実行、セプティックタンクの不適切な設計、家庭から汚泥収集需要の欠如、収集汚泥の不法投棄など、これらすべての課題に取り組むためには、サービスチェーン全体（世帯／事務所／レストランからの汚泥収集・輸送・処理および最終処分/再利用）での具体的な課題を特定し、汚泥管理の既存のビジネスモデルを再調査することが肝要である。その結果を踏まえ、地域の状況と条件を考慮に入れた上で、汚泥管理のための新しい適切で持続可能なビジネスモデルを検討する必要がある。

2. 研究開発目的

本研究では、インドネシアの都市部における汚泥管理のベースライン研究として包括的かつ詳細な調査を行い、バンドン市とデンパサール市における2つのケーススタディを通して、新たなビジネスモデルを提案することを目的とした。

具体的には、汚泥収集・処理の現状や関連する法制度の把握、料金設定・徴収の仕組み等に関する文献・現地調査を踏まえ、持続可能なビジネスモデル・料金設定・徴収の仕組み等を検討し、汚泥収集・処理システムのモデルを構築することとした。

3. 研究開発方法

汚泥管理の現状把握を行うため、既存の論文や報告書等を参照するとともに、一般家庭、情報提供者、事業者、コミュニティー等に対して異なる内容のアンケートを作成した。現地調査においては、一連の汚泥管理サービスにおいてキーとなる組織、人物を見いだし、バンドン市およびデンパサール市においてアンケート調査を行うとともに、関係者会合（行政、事業者、コミュニティー等）を開催した。また、現状把握や代替技術の提案において、汚泥性状や処理施設の現状分析が重要であることから、実際のセプティックタンク内の汚泥や汚泥収集車の汚泥、汚泥処理施設流出水についてサンプリングを行い、汚

泥の性状や処理施設の性能分析を行った。

1) 事前調査

学術論文や中央・政府から公表された文書ならびに国際NGOまたは世界銀行などの援助機関からの関連報告書を含む二次データに基づいて、以下のような情報・データについて調査を実施した。(i) 規制、立法、政策の枠組みの概要、全国の衛生および汚泥管理に影響を与えるサービス基準、(ii) 関係機関とその役割のマッピング：調査対象地域の衛生管理および汚泥管理サービスを担当者の特定、(iii) 都市情報としての人口、人口増加率、主要な物理的および地理的特徴、さらには、衛生および汚泥管理に関する重点地域と、汚泥管理関連サービスの潜在的需給、(iv) 既存のオンサイト・オフサイト汚泥処理技術・システム、(v) それぞれの処理施設における汚泥の生成割合、(vi) 既存の汚泥収集技術・方法（主にセプティックタンク、ピットトイレ）、(vii) 汚泥清掃・収集・処理処分に係る業者に関する情報

2) 現地調査

質問票を作成し、一般家庭、主要な情報提供者（研究機関、NGO、地方自治体、地方環境保護機関、公共事業省）、業者を対象として、定性的・定量的な現地調査を実施した。また、汚泥の収集、輸送、処理、および廃棄に関して適切なオプション検討に資するため、セプティックタンク、汚泥収集トラックおよび汚泥処理施設において汚泥を採取し、分析した。

- 世帯アンケート調査

2016年と2017年に世帯アンケート調査を実施した。2016年には、調査は250人の回答者を持つバンドン市と100人の回答者を持つデンパサール市で実施した。2017年に実施した同規模の調査では、家計状況と汚泥管理に関連する資金の流れに重点を置いた。サンプリング世帯はバンドン市の30地区とデンパサール市の21地区から選定した。

- 関連政府役員/管理職/計画担当者へのインタビュー

2016年および2017年に中央政府と地方自治体の両方のレベルで、汚泥管理のための政策および制度的枠組みに関連して、バンドンおよびデンパサールの両都市でインタビュー調査を実施した。

- サービスプロバイダへのインタビュー

バンドンおよびデンパサール市において、サービスプロバイダ（公共および民間の会社が運営する汚泥収集業者）へのインタビュー調査を実施した。技術的側面と非技術的側面の両方について、サービスを荒廃させる状況をより深く調査するためのアンケート調査が行われました。バンドンでの事業者へのインタビューは40名、デンパサールでは45人の回答者が得られた。

- フォーカスグループディスカッション (FGD)

フォーカスグループディスカッション (FGD) は、世帯インタビューおよびアンケート調査の前に、調査対象となったすべてのコミュニティで実施した。

3) ワークショップの開催

中央政府省庁の政策決定者を含む関係者全員に調査結果と提言を共有するため、汚泥管理に関する全国ワークショップを開催した（2019年1月25日）。調査対象であるバンドン市、デンパサール市の担当部門、汚泥収集業者（公営および民間企業）、NGO、大学および研究機関等の他、インドネシア全国から約20の地方自治体の代表者が参加し、参加者は約100名であった。

4. 結果及び考察

4-(4)-1 インドネシアにおける汚泥管理の現状

汚泥管理のための体制

現在インドネシアでは、2015～2019年の中期国家開発計画（大統領令No. 2/2015）において、2019年までに衛生処理率100%達成を目指しており、85%を分散型、15%を集中型（5%が都市スケール、10%が地域スケール）で整備することとしている。加えて、公共事業省の実施計画では、汚泥収集・処理を含めた整備がなされることとされている。

排水管理や汚水処理管理には、多数の政府機関が関与している。2000年代以降、中央政府は政策立案、標準設定および能力開発、そして計画、開発、資金調達および管理の責務の大部分を地方政府に移管することに焦点を当ててきた。排水と汚泥の管理に関連する主な利害関係者は、次に示す通りである。

- a. 国家開発計画局（BAPPENAS）および全国飲料水環境衛生運営委員会（AMPL）
- b. 公共事業・国民住宅省（MPW）
- c. 保健省（MOH）
- d. 環境林業省（MOEF）
- e. 地方環境庁（BLH）
- f. 地方公共事業局
- g. 空間計画局
- h. 地方自治体または地区の清掃部門（Dinas Kebersihan）
- i. 地方自治体が所有する水道事業体（Perusahaan Daerah Air Minum、PDAM）または衛生事業体（PD PAL）
- j. 民間サービス事業者
- k. コミュニティベースの組織

コミュニティベースの分散型排水処理システム（例：SANIMAS）が全国各地に建設されているが、中央政府、地方自治体、開発銀行のいずれかによって資金提供はなされるものの、残念ながら、地方自治体からのフォローアップやモニタリング等の支援システムは十分ではない。

汚泥の収集、運搬及び処理システムの改善のための課題

インドネシアでは、2010年までに150の汚泥処理場が建設されたが、90%は稼働していないか、非常に少量で稼働している（AECOM&Sandec-Eawag、2010；Tayler ら、2013、World Bank、2013）。バンドン市とデンパサール市は現在、技術的な面でも技術面以外でも、汚泥の管理において大きな課題に直面している。そこで、2つの調査対象都市における汚泥管理の実態を把握するため、現地調査を行った。

デンパサール市では、汚泥処理は市の責任で行われ、2つの汚泥処理専用施設を保有しているが、汚泥の収集・搬送は民間事業者に委ねられていた。一方、バンドン市ではPDAMと呼ばれる公社が集中型の下水処理場の管理を担っており、汚泥の収集についても実施していた。汚泥処理専用の施設は保有しておらず、下水処理場で合わせて処理されていた。

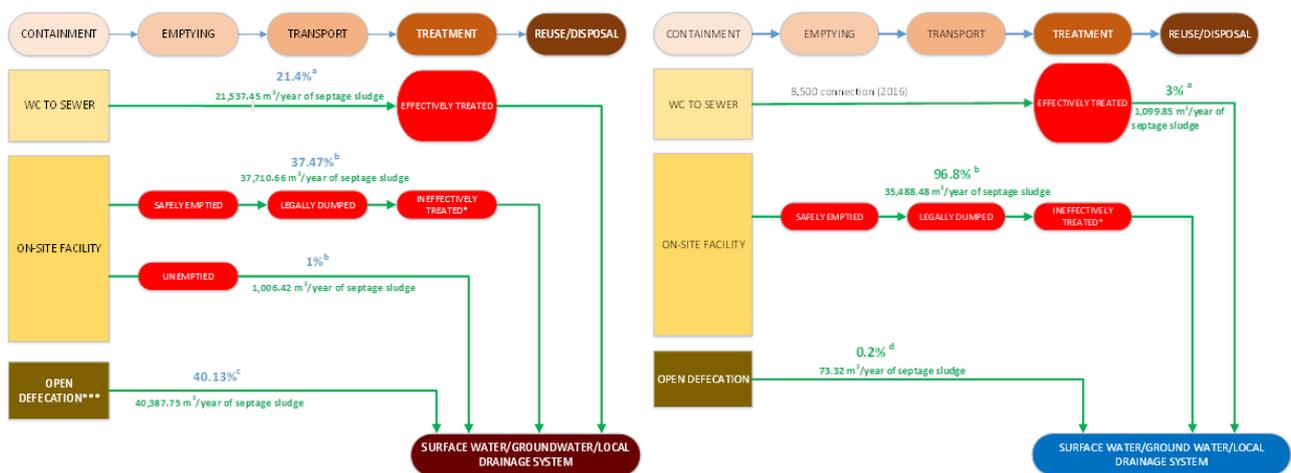
デンパサール市では、人口の93.1%がセプティックタンクを使用しているが、汚泥収集がなされているのは39.1%で、残りの54%は汚泥収集がなされず、周辺環境汚染の原因となっている。一方、バンドン市では、43%が下水道に接続、25%がセプティックタンクとなっている。セプティックタンクの汚泥収集は10.6%で実施されているが、残りは収集されていない。さらに、アンケート調査の結果から、多くのセプティックタンクは無底であり、極僅か（人口の5.9%）しか国の標準を満たすセプティックタンクを使用していないことがわかった。なお、未処理で河川等に放流している32%は、主に河川周辺のスラムエリアの住民によるものである。

セプティックタンク汚泥（4件）の分析の結果、バンドン市で5年および19年汚泥収集をしていないセプティックタンクのBODは、それぞれ4,600mg/L、5,400mg/L、デンパサール市では2年および8年のもので、

約15,000と50,000mg/Lと大きな違いがあった。過去の研究によると、デンパサル市のセプティックタンク汚泥は、公共トイレやバケツトイレなどで見られるレベルの高濃度の状態であった。寄生虫卵をみると、バンドン市では、セプティックタンクおよび汚泥収集車ともに約50個/Lで同程度であった。デンパサル市では、試料を採取したセプティックタンクでは0個/Lであったが、収集車では28～80個/Lが検出され、汚泥処理施設の流出水では、100～148個/Lが検出された。これらの値は途上国での既往研究（70～735個/L）から見て高い値では無いが、その処理・利用に当たっては十分な留意が必要である。

両市の汚泥管理の全体像を把握し、課題をより深く理解するため、汚泥フローを作成した（図(4)-1）。この図に示されているように、バンドンの人口の40%以上が野外排泄となっており、し尿や生活雑排水は、近くの運河や水域（河川、湖沼）に直接排出されていた。発生した汚泥の約37%のみが収集され、下水道（4ヶ所の指定された投棄地点）に排出され、生活排水とともにBo.jongsoang下水処理施設に送られている。なお、この調査を実施している時点では、バンドンには汚泥処理施設は存在していない。

一方、デンパサルではほとんどの世帯にセプティックタンクが設置されており、かなり状況が異なっていた。発生した汚泥の97%近くが民間企業によって回収されたと推定され、この回収された汚泥の極一部は、設計処理量400m³/日（実稼働で200～300m³/日）のSuwung汚泥処理場に輸送されている。収集されたものの汚泥処理施設に搬入されていない汚泥は不法投棄されている。



図(4)-1 バンドン、デンパサルにおける汚泥フローの調査結果

公共事業省の省令では、セプティックタンクについて、未処理排水の環境流出を防ぐため、汚水処理、汚泥収集、汚泥処理の3つで構成され、適切に計画・実行されなければならない、とされている。SNI: 03-2398-2002では、セプティックタンクの汚泥は槽の大きさ等に応じて2～5年に1回定期的に収集することとされている。これら2都市において、発生するし尿汚泥の量は、前述のSNIおよび公共事業・国民住宅省規則（No. 4、2017年）に基づいて、トイレ、台所などからの排水として1人当たり40リットルと推定されていた。また、設置されているセプティックタンクに関するデータが不足しているため、実際の発生量および回収可能量は、各セプティックタンクから一定量（1m³）が回収されると仮定して概算されていた。従って、衛生処理計画の立案者にとっての課題の1つは、汚泥の引き抜きに関する手順の標準化と発生汚泥量の推計の精緻化であると言える。このような情報は、汚泥処理場の設計時に処理規模を決定するために必須であるとともに、ビジネスモデルの提案において、維持管理費および料金体系等を決定することにも不可欠である。

これら2つの都市における調査結果を踏まえた汚泥管理に関する具体的な課題と改善の方向性を表(4)-1に示す。

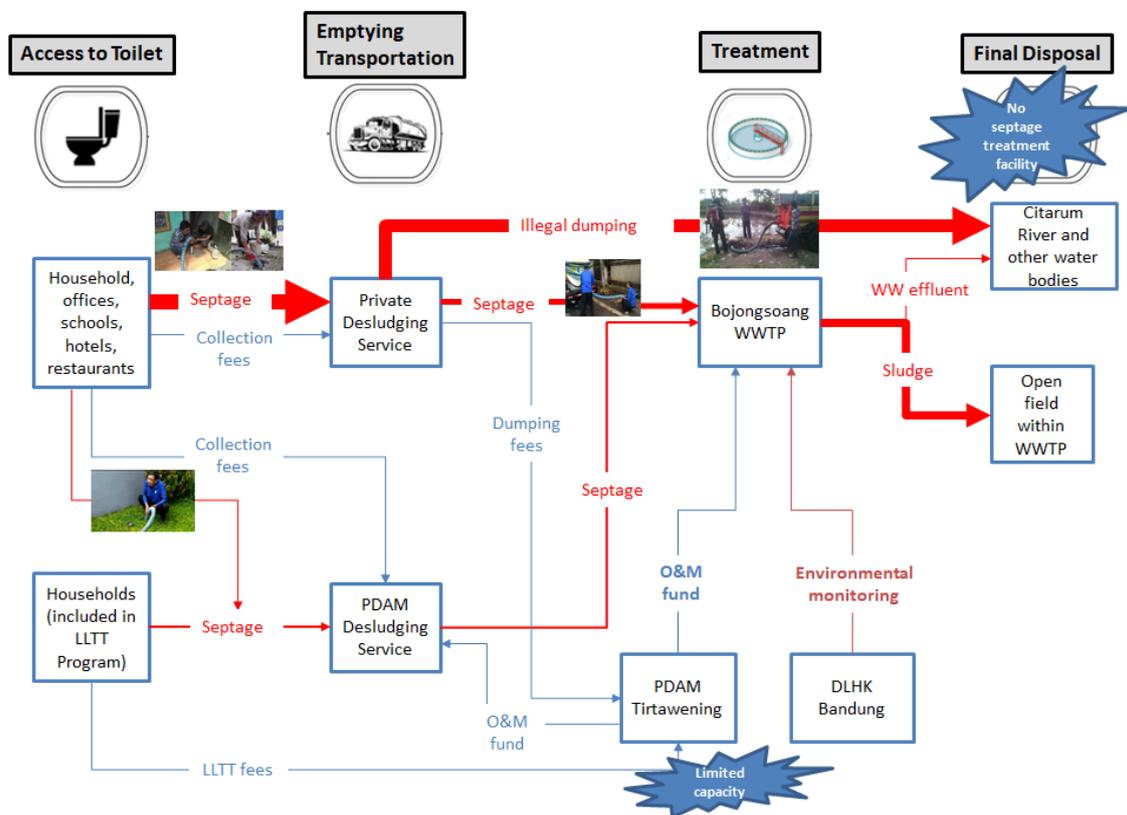
表(4)-1 調査対象都市における汚泥管理に関する課題と改善の方向性

課題	改善の方向性
ほとんどのコミュニティは、適切な設計のセプティックタンクを有していない。基準を満たす浄化槽を持っているデンパサールの世帯で30%、バンドンで49.4%である。	衛生施設を改善するためのソーシャライゼーション 低所得者向けの補助金
汚泥の引き抜きが徹底されておらず、バンドンで66.8%、デンパサールでも60%のセプティックタンクは少なくとも5年間は引き抜きを行っていない。(配管が詰まる等の問題が生じた場合のみ汚泥の引き抜きを実施する)	すべての住民に向けた定期的な汚泥引き抜きのプログラム セプティックタンクに関する台帳整備
汚泥引き抜きサービスの認知度が低い。	住民に対する啓蒙・啓発
多くの場合、汚泥引き抜き方法が不適切である。	汚泥引き抜き方法の標準化
排水処理技術の性能が評価されていない。	性能評価制度
汚泥処理施設の不足	PPPに基づく資金調達メカニズム コンパクトな汚泥処理技術

4-(4)-2 汚泥収集・処理に関するビジネスモデルの提案

バンドン市における汚泥管理に関する既存のビジネスモデルは図(4)-2に示す通りである。公社 (PDAM) のキャパシティが低いため、大部分 (90%以上) の汚泥は民間企業によって収集されている。また、ごく少数の世帯のみが、PDAMによる定期的な汚泥収集を受けている。

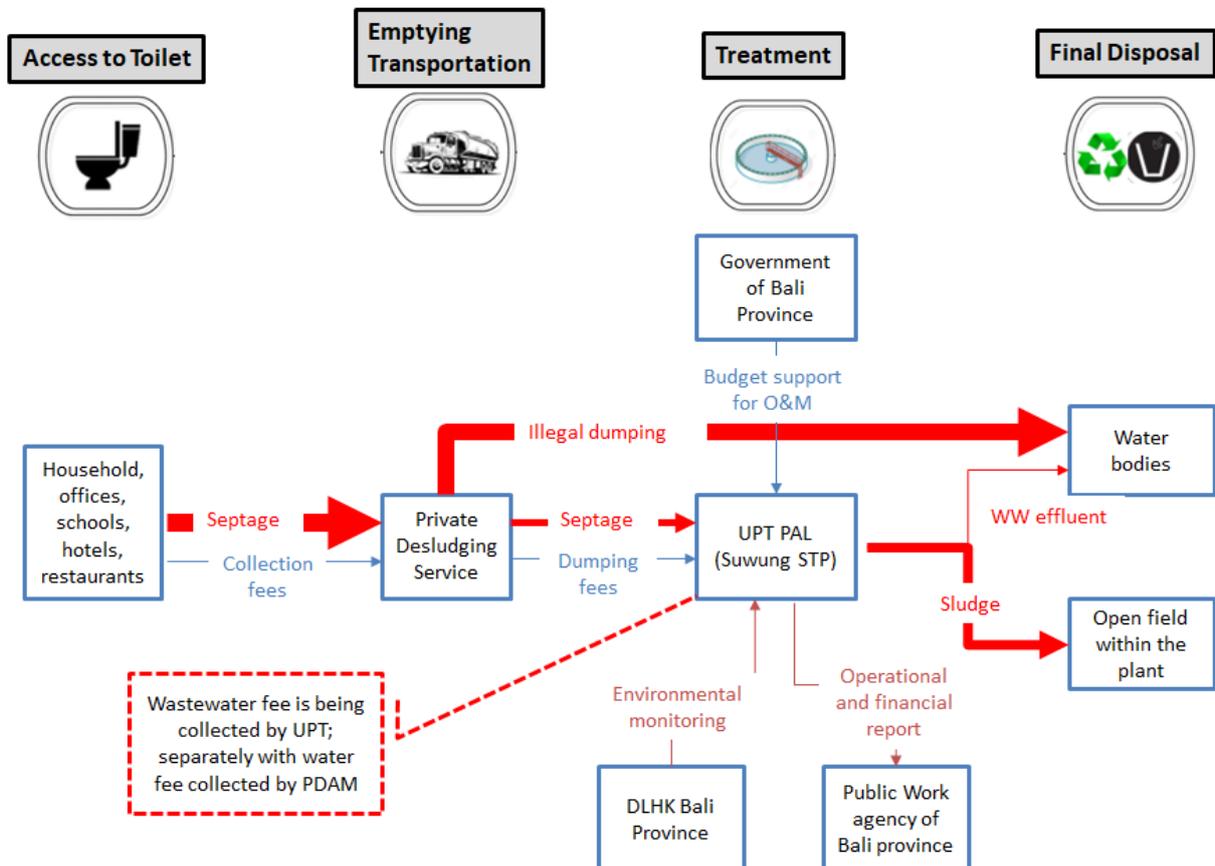
民間企業は、収集した汚泥をPDAMに指定された廃棄場所 (下水管) に投棄する際、費用を支払う必要がある。この支払いを避けるため、多くの民間企業は河川や湖沼等に違法に投棄しているのが現状である。



図(4)-2 既存のビジネスモデル (バンドン)

一方、デンパサール市における汚泥管理に関する既存のビジネスモデルは図(4)-3に示す通りである。基本的に汚泥収集は民間企業によって実施され、その一部はSuwung汚泥処理場に投入されている。この汚泥処理場は、同名の下水処理場内にある。バンドンのケースと同様に、民間企業は搬入にあたって管理者（UTP PAL：公社）に処理費用を支払う必要がある。この支払いを避けるため、多くの民間企業は河川や湖沼等に違法に投棄しているのが現状である。UPT PALにとっての大きな課題は、予算の確保である。水道料金はPDAMが収集しているが、排水処理費用はUPT PALによって収集されているため、排水処理費用を支払っている家庭は半数以下であり、その収入は、主としてホテルやレストランなどの商業施設からの支払いに頼っている。

汚泥収集に係るコストは、槽容量や移送距離によって異なるが、道路が狭いもしくは建物が混み合っている、清掃用のマンホールがない（コンクリートで覆われている）等によりセプティックタンクにアクセスしづらい場合もコストが上がる。実際、アンケート調査の結果から、バンドン市で53%、デンパサール市で41%のセプティックタンクで汚泥清掃のためのマンホールがないことが明らかとなっている。バンドン市及びデンパサール市での調査結果を表(4)-2に示す。バンドン市での汚泥収集費用の平均はRp 272,216、デンパサール市ではRp 415,114であった。仮に2年毎の汚泥収集を行うとすると、月々の世帯負担額は、それぞれRp 11,342、Rp 17,296である。収集コストを考える上で、バンドン市とデンパサール市での世帯収入について調査したところ、それぞれ、74%、67%がRp 1,500,000～5,000,000の範囲にあり、多くが中所得世帯であった。また、Rp 5,000,000以上の世帯もそれぞれ17%、15%以上存在していた。最低賃金（バンドン市：Rp 2,843,662、デンパサール市：Rp 2,173,000）から見ても、汚泥収集に係る月々の負担額は1%以下であり、実際、費用についてのアンケートでも、両市ともに85%程度の満足度が得られており、現状の汚泥収集費用が多くの場合で適正以下と受け取られていることがわかった。



図(4)-3 既存のビジネスモデル（デンパサール）

表(4)-2 バンドン市及びデンパサール市における汚泥収集の費用

	1基当たりの汚泥収集費用 (Rp)		1m ³ 当たりの汚泥収集費用 (Rp) *	
	最少	最大	最少	最大
バンドン市	200,000	500,000	66,666	166,666
デンパサール市	250,000	450,000	83,333	150,000

* 最大貯留量を3m³と仮定

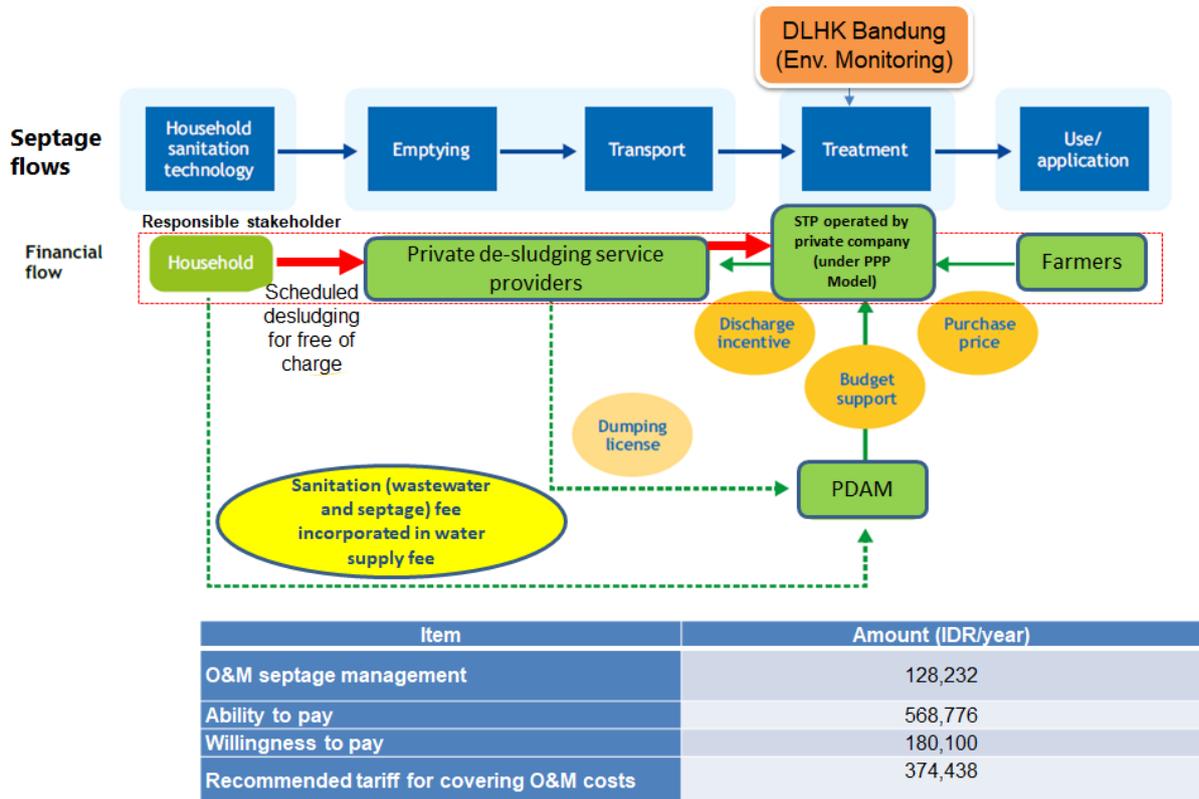
以上のように、インドネシアにおける汚泥管理の現状把握や調査対象都市における汚泥のフロー、汚泥収集にかかる現状とコスト等の把握を行い、浄化槽等が導入された際の適切な汚泥管理システムの構築のための知見を集積することで、ビジネスモデルの構築を進めた。

3年間のバンドンとデンパサールでの利害関係者グループ（中央政府と地方自治体のユニット）との一連の議論に基づき、バンドンとデンマークの両方における汚泥管理のための新しい革新的なビジネスモデル（図(4)-4、図(4)-5）を作成・提案した。提案したビジネスモデルの特徴の一つは、不法投棄を避ける動機付けを組み込んだところである。

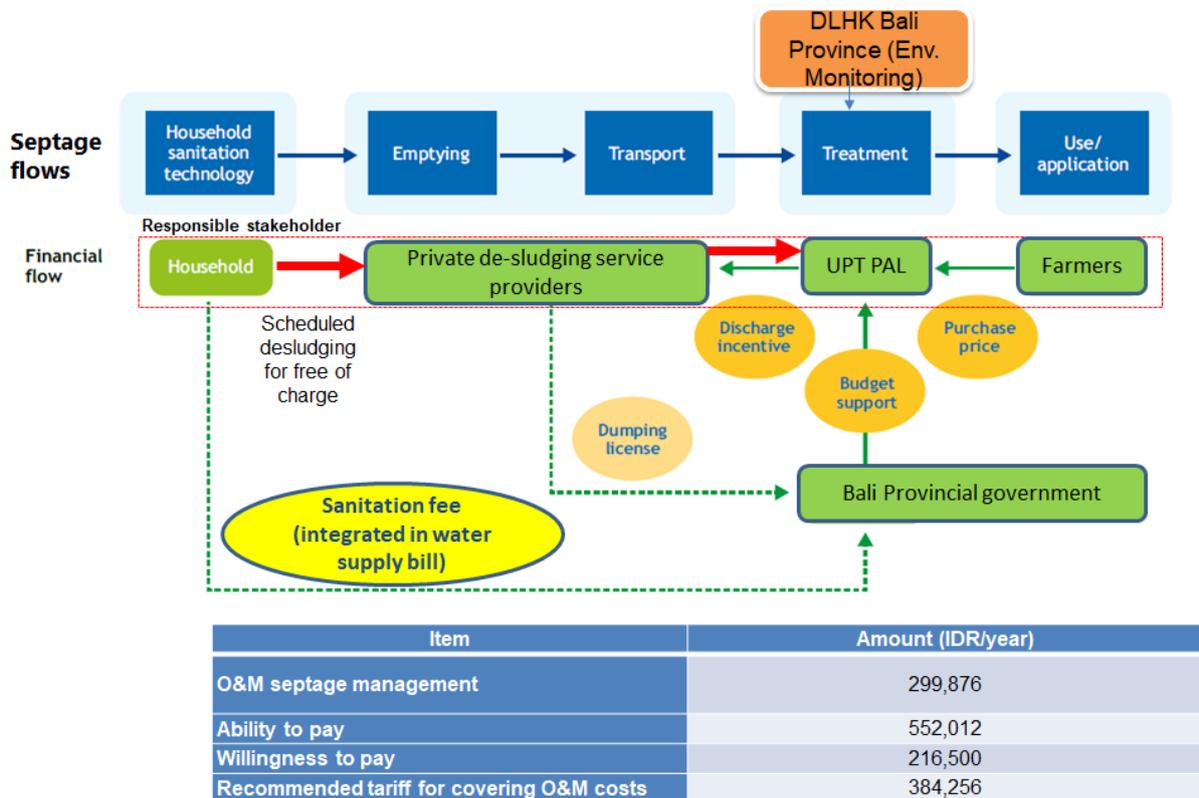
バンドンのモデルでは、定期汚泥引き抜きプログラムをPDAMと民間企業が共同で拡大する。この際、世帯から汚泥収集業者への支払いは発生せず、業者は汚泥処理施設に搬入することで、その量に応じて、収集・運搬に係る費用の支払いを受けられる形とした。また、PDAMや地方自治体とともに、官民連携モデルを通じて民間投資を呼び込み、汚泥処理場の建設費用を捻出する可能性についても記述した。

デンパサールでは、UPT PALが民間企業と共同で定期的な汚泥引き抜きプログラムを確立し、広めることとした。世帯から汚泥収集業者への支払いは発生せず、汚泥処理施設の搬入によって収入が得られる形はバンドンのモデルと同様である。また、現在PDAMによって収集されている水道料金に排水処理・汚泥管理料金を統合することについても記述し、デンパサールの関連政府機関との議論を進めた。

2つの都市における財務および費用の分析、支払能力、支払意思額の結果から、汚水処理管理システムの運営および維持費（排出、回収、輸送および最終処分を含む）をカバーするための適切かつ推奨される固定料金はバンドンで375,000（IDR /世帯/年）、デンパサール市で385,000 IDR /世帯/年）と推計された。なお、デンパサールは観光都市であり、デンパサールの支払い意欲はバンドンよりも高いことから、日々の業務にも大きな影響を与えていることがわかった。2つの都市で支払う能力も現在のレベルの3~4倍であった。

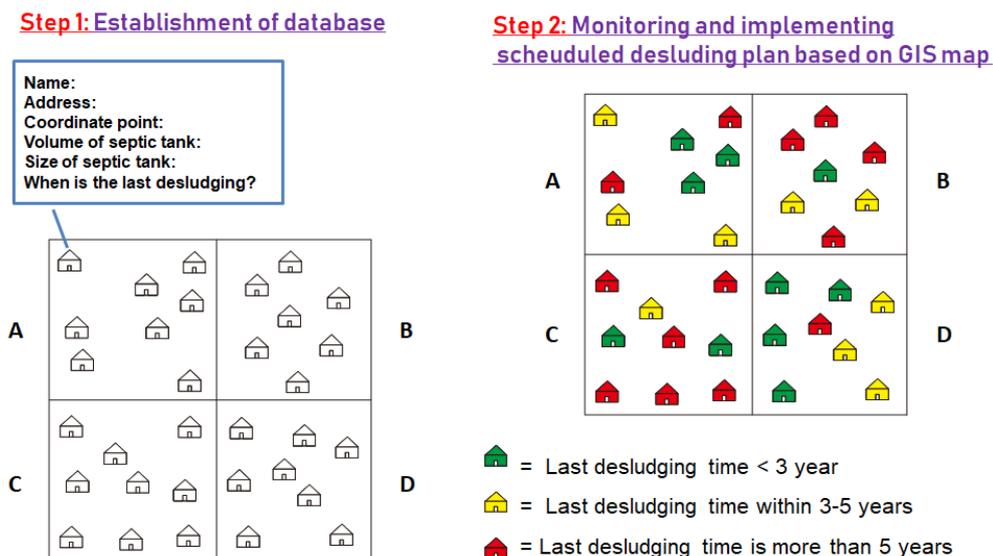


図(4)-4 本研究で提案した汚泥管理に関するビジネスモデル (バンドン)



図(4)-5 本研究で提案した汚泥管理に関するビジネスモデル (デンパサール)

PDAMまたはUPT PALは、提案されたGISベースのシステム（図(4)-6）を運用して、定期的な汚泥引き抜きプログラムにおける収集計画の策定と民間企業への割り当て、モニタリングを行うものとした。



図(4)-6 現地での議論を踏まえたGISベースシステムのイメージの提案

なお、デンパサール市のモデルは、2019年1月25日にバンドン市で開催された「インドネシアの都市部におけるセプタージ収集と処理のためのビジネスモデルに関する全国ワークショップ」で最終決定、提案、発表された。ワークショップには、20の地方自治体の関係部局、公共事業・住宅省の代表者、バンドンとデンパサールの関係部署、インドネシアの衛生に取り組んでいる地元および国際的なNGO、大学、研究機関から100名の参加者があり、汚泥管理に関する関心の高まりが示唆された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

過去10年間で、特にアジアの発展途上国における汚泥管理の課題に取り組むために、世界中の研究コミュニティによって多くの努力がなされてきたが、汚泥管理の実情は、特にインドネシア、タイ、ベトナム、ラオス、カンボジアのようなアジアの多くの発展途上国において、過去10年間で大きく変わっていない。

本研究の成果からもわかる通り、汚泥管理に関連する問題は、単に技術的側面に対処することによって解決されることができない。サービスチェーン全体（世帯/事務所/レストランからの汚泥収集・輸送・処理および最終処分/再利用）での具体的な課題を特定し、パフォーマンスの向上を目的とした、汚泥管理におけるすべての関連する側面に対処するための全体論およびステークホルダーの参加を伴う統合的アプローチが強く求められている。

本研究では、サービスチェーン全体を俯瞰しつつ、各ステークホルダーを巻き込んだアプローチが適切かつ商業的に実現可能なビジネスモデル構築に有効であることが示された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、モデル都市としてのバンドン市、デンパサール市それぞれに適した形でビジネスモデルを提案した。他の都市・地域では、このようなビジネスモデルをベースとしつつ、様々な利害関係者グ

ループ、特に地方自治体と民間セクター、ならびに地域社会およびその他の関連利害関係者グループからの貢献を引出していくことが可能であり、国際協力等のスキームでの活用が期待される。

6. 国際共同研究等の状況

(公財) 地球環境戦略研究機関とバンドン工科大学およびガネーシャ環境サービスによる研究協力
「汚泥管理に関する調査研究」

Marisa Handajani博士・バンドン工科大学・インドネシア、Muhammad Sonny Abfertiawan博士・ガネーシャ環境サービス・インドネシア

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) Pham Ngoc BAO, Muhammad Sonny Abfertiawan (2017). Septage Management in the Urban Areas of Indonesia. Case Study in Bandung and Denpasar City. Oral Presentation. Proceedings of the 7th IWA-ASPIRE Conference & Water Malaysia Exhibition 2017. 11-14th September 2017, Kuala Lumpur Convention Centre.
- 2) Pham Ngoc BAO, Muhammad Sonny Abfertiawan (2018). An Overview of Septage Management in Asia - Challenges and Opportunities. Oral Presentation. Proceedings of the 6th Workshop on Decentralized Domestic Wastewater Treatment in Asia held in Tokyo on 19th September 2018, by the Ministry of the Environment of Japan.
- 3) Muhammad Sonny Abfertiawan, Pham Ngoc BAO (2018). Challenges and Opportunities for Septage Management in Urban Areas of Indonesia - Case Study in Bandung. Oral Presentation. Proceedings of the Conference on Water and Sanitation Management toward Universal Access 2019, held on 13rd March 2018 at the Bandung Institute of Technology.
- 4) Pham Ngoc BAO, Muhammad Sonny Abfertiawan (2019). Business Models for Septage Collection and Treatment in Indonesia - Case Study in Bandung and Denpasar City. Oral Presentation. Proceedings of the National Workshop on Business Models for Septage Collection and Treatment in the Urban Areas of Indonesia, which was held on 25th January 2019 at the Institute of Technology Bandung (ITB).

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- AECOM International Development, Inc. and Eawag/Sandec. (2010). A Rapid Assessment of Septage Management in Asia: Policies and Practices in India, Indonesia, Malaysia, the Philippines, Sri Lanka, Thailand, and Vietnam. Report for USAID Regional Development Mission for Asia.
- JMP (2017). JMP Global Database – WHO/UNICEF. Available on: <https://washdata.org/>
- SNV (2017). Wastewater management in urban areas in Indonesia: SNV Indonesia's key finding and recommendations. Published by SNV. Available on: <http://www.snv.org/update/wastewater-management-urban-areas-indonesia-snv-indonesias-key-finding-and-recommendations>
- Taylor, K., Siregar, R., Darmawan, B., Blackett, I., & Giltner, S. (2013). Development of urban septage management models in Indonesia. *Waterlines*, 32(3), 221-236. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/24686902>
- World Bank (2008) Economic Impacts of Sanitation in Indonesia - A five-country study conducted in Cambodia, Indonesia, Lao PDR, the Philippines, and Vietnam under the Economics of Sanitation Initiative (ESI) Water and Sanitation Program East Asia and the Pacific (WSP-EAP). World Bank. Available on: http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/esi_indonesia.pdf
- World Bank (2017). Meeting Indonesia's Urban Sanitation Needs. Published by The World Bank. Available on: <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/03/21/meeting-indonesia-urban-sanitation-needs>

III. 英文Abstract

Integrated Approach for Dissemination of Decentralized Domestic Wastewater Treatment System in Southeast Asia

Principal Investigator: Yoshitaka EBIE

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
 16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
 Tel: +81-29-850-2725 / Fax: +81-29-850-2560
 E-mail: ebie.yoshitaka@nies.go.jp

Cooperated by: Institute of Developing Economies, Japan External Trade Organization, TOYO University, Institute for Global Environmental Strategies

[Abstract]

Key Words: Domestic wastewater, Decentralized treatment, Performance evaluation test, soft infrastructure, Institutionalize, Johkasou, Localization, Regional standard, Sludge collection and treatment, Business model

Although effluent standards for domestic wastewater have been established in many ASEAN countries, there is no adequate institutional arrangement ensuring that the performance of the wastewater treatment facility complies with the effluent standard. Therefore, a performance test and certification system for wastewater treatment facilities is crucial to ensure the reliability of treatment facilities product in the market. To address this urgent issue, stakeholders meetings were held to facilitate all of the stakeholders including central/local governments, research institutions, NGOs and manufacturers in Indonesia.

Through these stakeholders meetings, we have drafted the performance testing method for decentralized domestic wastewater treatment facilities in Indonesia. Some key factors for the testing condition, such as wastewater compositions and diurnal fluctuation of effluent water volume, were investigated and considered. A trial for the testing method was conducted to confirm availability of the equipment for the test and feasibility of the testing procedure. The drafted testing method is in the process of national standardization in Indonesia.

Localization of Japanese wastewater treatment technologies were also conducted in the condition of high temperature and Indonesian inflow pattern. The pilot test of a full-scale Johkasou revealed higher treatment efficiencies and lower sludge generation in ASEAN region, which should be advantages to reduce initial capital and operation cost. A down-flow hanging sponge process, which enables treatment of wastewater with low energy consumption, was also evaluated in Bangkok. Comparing with the current activated sludge process at the test site, our process showed higher removal efficiencies and lower energy and space requirements.

Because appropriate sludge management is also an important issue, investigation of sludge flow in two model cities was conducted. Based on the findings and consultation with stakeholders, we proposed an economically sustainable business model to which both local government and private sectors have agreed. This business model requires sludge collection companies to collect fees when they transport the collected sludge to sludge treatment plants,

rather than from households, so that no one tries to dispose the collected sludge into the environment illegally. The process followed for consensus building and the proposed business model should be a good practice for other cities and also for ASEAN member states.

Development of a strategy for regional standardization in ASEAN was considered for the performance testing method, and four approaches were identified as having a high possibility of occurrence through organizations such as ASEAN Consultative Committee on Standards and Quality (ACCSQ).