

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野 「地球規模の環境課題の解決に資する研究」領域)

エネルギー最小消費型の下水処理技術の開発

(インド)

平成 24 年度実施報告書

代表者：原田 秀樹

東北大学大学院工学研究科・教授

<平成 22 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本プロジェクトの狙いは、途上国の人々の健康に重大な脅威を与えている劣悪な水環境汚染を修復・改善し、水起因衛生リスクを低減して、安全で快適な水環境を取り戻すことである。その為に、途上国が適用可能な下水処理システムを創成して、広く普及を図ることが我々の役目である。

原田らは低コスト、超省エネ型（エアレーションが不要）で維持管理が容易な新規の下水処理プロセスの開発に多年にわたって携わってきた。平成 23・24 年度は、インド・アグラ市での DHS（Down-flow Hanging Sponge）リアクターの実規模試験の準備として、DHS リアクター用担体の選定と調達方法を決定し、また DHS 建設予定地の整地および測量、DHS リアクターの基本設計および詳細設計を終えた。インド側との協力体制のもと、アグラ DHS リアクターの建設工事に着手するとともに、機材の供与を進め実験室の整備を行っている。平成 24 年度のインドの既存下水処理場の調査では、6 箇所の下水処理場を視察し、その現状について実態把握を行った。またカルナール下水処理場では、パイロットスケールリアクターの過負荷実験のための改造工事を行った。国内研究においては、小型 DHS リアクターを製作し、 KLa による物理科学的メカニズムの解明、迅速・簡便な RNA 定量法の開発および新規微生物検出法の開発、新潟県長岡市においてパイロットスケールの UASB-DHS システムによる実下水連続通水実験を進めながら DHS 技術の新展開に向けて高効率な高度処理技術の確立を目指している。

2. 研究グループ別の実施内容

研究題目 1: インド・アグラ市の 78MLD 下水処理場での実規模試験の準備と実施（東北大学、木更津高専、長岡技大、NRCD, UP 水道公社, AMU, CPCB, CPHEEO）

① 研究のねらい

インド・アグラ市の下水処理場に新規建造する DHS リアクターで連続処理実験を行い、UASB—DHS システムの下水処理への適用性を実証する。

② 研究実施方法

項目 1. DHS リアクター用担体の選定、発注、納品

項目 2. UASB-DHS システムの設計と建造

項目 3. 連続処理モニタリングと下水処理への適用評価

項目 4. 既存の下水処理施設の調査を行い、省エネ効果の評価のための情報収集を行う



項目 5. 建造する DHS リアクターに電力メーターを設置し、消費電力から省エネ効果を評価する

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

(1) DHS リアクター用担体の開発

カルナールで実施している G3 タイプと G6 タイプの担体の性能比較実験より、優れた処理性能を示した G3 担体をアグラで使用することに決定した。G3 および G6 タイプの担体仕様は表 1 に示すとおりである。新規 G3 担体として、円柱状の外側ネットリングに六角柱状のポリウレタン（中央に円柱状のくり抜きがある）を詰め込んだ形状の G3.4 担体（詳細は非提示）を作製した。

表 1 担体比較試験に導入した G3 および G6 の仕様

		G3	G6
形状			
ポアサイズ	mm	1.5	1.8
体積	m ³ /sponge	2.57E-05	3.95E-05
表面積	m ² /sponge	4.82E-06	8.72E-06

(2) 5MLD DHS リアクターの設計

DHS 建設予定地に埋設されていた DHS リアクター建設に障害となる配管は、UP 水道公社により撤去された (図 1)。また、DHS 基本設計に必要となる情報収集のために、所要箇所 (既存 UASB リアクター、DHS 建設予定地、放流先周辺) の測量を行い (図 2)、この測量結果を元に基本設計 (図 3) を行った。25 年度実施する DHS リアクター建設に向けて、24 年度は、詳細設計およびインドの建設業者の入札を終えた (図 4)。



図 1 埋設管の撤去の様子

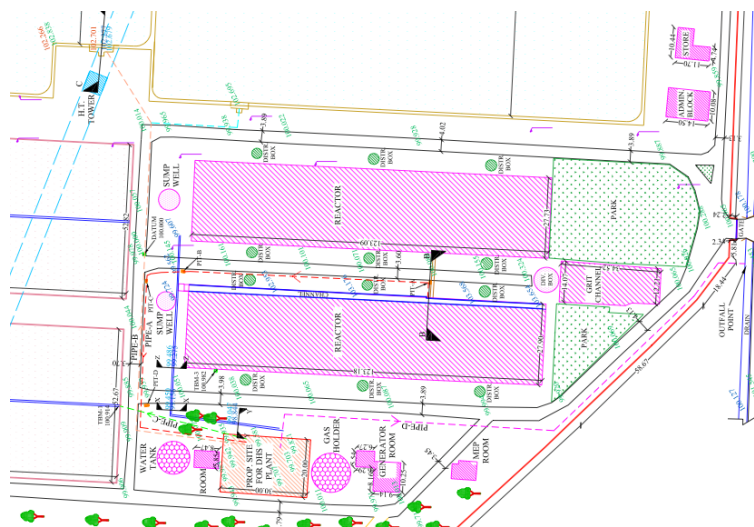


図 2 基本設計に向けた測量結果

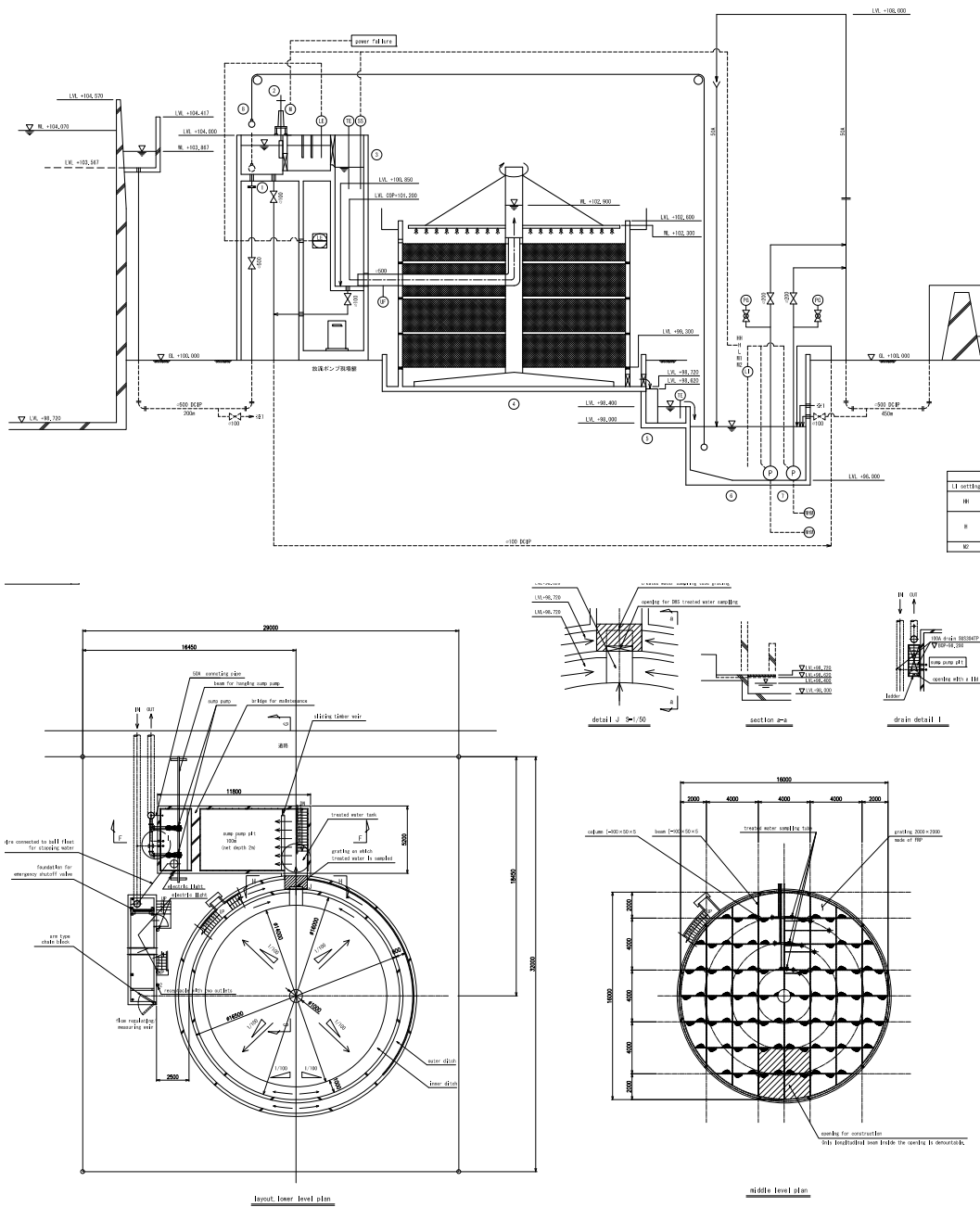


図3 アグラ DHS リアクターの基本設計図面の一例



図4 アグラ DHS リアクターの詳細設計・入札図書等

(3) アグラ実験室の改修工事

アグラ 78MLD 下水処理場内の事務所を実規模試験実施の為に改修工事を行った。平成 24 年度は事務作業を行う部屋および実験室について全面的な改修を行い、電気配線、上下水道管、床などの修繕工事が完了した。インドで調達した供与機材はほぼ全て設置が完了しており、各機器の動作確認の結果、不具合のある機器についてはメーカーに対応をさせ修正済みである。これによりアグラでもある程度の実験ができる体制が整った（図 5）。平成 25 年度は本邦調達した供与機材を輸送・設置させ、実規模 DHS プラントが竣工した際にはすぐに水質分析が行えるよう体制を整える。



図 5 アグラ実験室・事務所の改修工事

- ④ カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
平成 23・24 年度は特になし。

研究題目2: 処理メカニズムの解明と重要微生物の検出・定量・モニタリング技術の開発、DHS技術の新展開（東北大学，木更津高専，長岡技大）

① 研究のねらい

現行の DHS 技術を実機としての導入を促していくためには、そのメカニズムを明らかにする必

要がある。本研究題目では、物理化学的反応の解明、生物学的反応の解明を行う。これらの情報を基に、本研究題目で、DHS リアクターの下水以外への展開も試みると共に、ポスト G6 型 DHS リアクターの開発を行う。

② 研究実施方法

項目 1. DHS リアクターの酸素取り込み能力の把握

項目 2. DHS リアクターの汚泥補足能力の把握

項目 3. 実規模 DHS リアクターの微生物群集構造解析

項目 4. 重要微生物の検出・定量技術の開発

項目 5. DHS 技術の高度処理への適用

項目 6. 新規 DHS 技術の開発

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

(1) DHS リアクターの酸素取り込み能力の把握

平成 24 年度は、ミニ DHS リアクターによる K_{La} の測定を継続し、その再現性の検討を重ねている。また、後述するセルサイズの異なった複数のスポンジ担体を用いて K_{La} の測定を行い、セルサイズやスポンジ間のギャップの影響の検討、再現性向上のための測定方法の確立などを重ねて検討した。

(2) DHS リアクターの汚泥補足能力の把握

計画では、大腸菌培養液の通水試験による評価方法を検討するとしていたが、用意に莫大な時間と手間がかかるため、活性汚泥希釈液を通水する実験方法に変更した。スポンジのセルサイズによる汚泥の捕捉能力の差などを検討した。

(3) 重要微生物の検出・定量技術の開発

分子量分画膜を用いた迅速・簡便な RNA 定量法の開発、金ナノ粒子を用いた微生物検出法の開発またファージディスプレイペプチドを利用した特定微生物検出法の実現を行っている。RNA 定量法は、標的核酸と交雑した蛍光標識プローブと交雑しなかった余剰プローブを分子量分画膜により分画し、交雑したプローブ由来の蛍光強度から定量を行う手法を開発した。使用する分子量分画膜、プローブ/RNA 比、交雑時間、交雑温度などについて検討・最適化を行った。定量性については既知量と高い相関を示した。温度制御装置と蛍光分光光度計のみを用いる極めて簡便な rRNA 定量法を開発することが出来た。ファージディスプレイペプチドを利用した特異的微生物検出技術については本手法のハイスループットシステムの構築を行った。96 ウェルマイクロプレートによるファージクローンの増殖とマイクロアレイスキャナーを利用した特異性検証を組み合わせることで標的微生物特異的ペプチドのスクリーニングの高効率化が可能となった。

(4) DHS 技術の高度処理への適用

・パイロットスケールリアクターの実下水連続通水実験

長岡市浄化センターにおいてパイロットスケールの UASB-DHS システムによる実下水連続通水実験を行ってきた。継続して、経年の定期的に水質モニタリングを行い、本システムの処理特性の把握を行っている。また保持汚泥特性および運転管理に関する情報も収集している。

・ UASB-DHS システムに最適な高度処理（窒素、リン等）の構築

本システムによる生物学的硝化脱窒システムの研究を進め、硝化がすすんだ DHS 処理水対象に、嫌気環境と好気環境および無酸素環境を人為的に構築することで脱窒とリンの同時除去が可能なプロセスを開発した。本開発システムを UASB+DHS システムの後段に設置し、連続運転を行い、本システムの処理特性の把握と運転管理に関する情報を収集している。

研究題目3: 設計指針・維持管理マニュアルの作成（東北大学、木更津高専、長岡技科大、NRCD, UP水道公社, AMU, CPHEEO）

① 研究のねらい

現行の DHS 技術は経験的な要素が多く、必ずしも科学的な根拠によって裏打ちされているとは言い難い。本研究題目では、UASB のポスト・トリートメント技術としての DHS プロセスの技術的特性を整理して、UASB-DHS システムの体系化を図る。これらの情報と研究題目 1 および 2 の知見を活用し、UASB-DHS システムの実機化・普及のために不可欠な設計指針と維持管理マニュアルを社会実装する。

② 研究実施方法

項目 1. UASB-DHS システムの技術的特性の整理と体系化

項目 2. 設計指針の作成とインド関係政府機関への認定

項目 3. 維持管理マニュアルの作成とインド関係政府機関への認定

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

インド国が発行している河川等の水質データベースや学術論文等からの最新情報を入手し、インド国における水環境の現状について、情報収集を行っている。また、インドで稼働中の既存下水処理場の現状について実態調査を続けている。



図 6 採水した試料（Karnal 下水処理場）



図 7 視察時の様子（Delhi）

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 2 件、国際 2 件):
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 3 件、海外 4 件)
- ③ 論文詳細情報
 1. Takahashi, M., Ohya, A., Kawakami, S., Yoneyama, Y., Onodera, T., Syutsubo, K., Yamazaki, S., Araki, N., Harada, H., Yamaguchi, T., Evaluation of Treatment Characteristics and Sludge Properties in a UASB Reactor Treating Municipal Sewage at Ambient Temperature, *International Journal of Environmental Research*, 5(4), pp.821-826, 2011
 2. 竹村泰幸, 関口勇地, 原田秀樹, 久保田健吾, 分子量分画膜を用いた迅速・簡便な配列特異的 rRNA 定量法の開発, *土木学会論文集 G (環境)*, 67(7): III_85-III_92, 2011
 3. Uemura, S., Suzuki, S., Maruyama, Y., Ohashi, A., Yamaguchi, T. and Harada, H., Direct treatment of settled sewage by DHS reactors with different size sponge support media. *International Journal of Environmental Research*, 6(1), Winter, pp.25-32, 2012
 4. Uemura, S., Kimura, M., Yamaguchi, T., Ohashi, A., Takemura, Y. and Harada, H., Long term evaluation of the effect of salinity on organic removal and ammonium oxidation in a down-flow hanging sponge reactor. *International Journal of Environmental Research*, 6(2), Spring, pp.361-366, 2012
 5. Natori, T., Takemura, Y., Harada, H., Abe, K., Ohashi, A., Kimura, M., Yamaguchi, T., Okubo, T. and Uemura, S.: The effect of salinity on nitrite accumulation in a DHS reactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 87(10), pp.1466-1472, 2012
 6. 松永健吾, 久保田健吾, Erica Vonasek, 竹村泰幸, 原田秀樹, 18S rRNA 遺伝子情報を用いた排水処理汚泥の真核生物群集構造解析, *土木学会論文集 G (環境)*, 68(7), III_13-III_19, 2012
 7. 池田直生, 山口隆司, 大橋晶良, 原田秀樹, 大久保努, 上村繁樹, 処理水循環 DHS リアクターにおけるフェノールとアンモニア性窒素の同時除去, *下水道協会誌論文集*, 第 50 巻, 第 603 号, pp.111-117, 2013

4. プロジェクト実施体制

(1) 「東北大学」グループ

研究題目:

1. インド・アグラ市の78MLD下水処理場での実規模試験の準備と実施
2. 処理メカニズムの解明と重要微生物の検出・定量・モニタリング技術の開発、DHS技術の新展
3. 設計指針・維持管理マニュアルの作成

①研究者グループリーダー名: ○原田秀樹 (東北大学・教授)

②研究項目

- ・詳細設計
- ・提案技術の省エネ効果 (既存施設の調査・実態把握)
- ・重要微生物検出定量モニタリング技術の開発
- ・UASB-DHS システムの技術的特性の整理と体系化

(2) 「木更津工業高等専門学校」グループ

研究題目：

1. インド・アグラ市の78MLD下水処理場での実規模試験の準備と実施
2. 処理メカニズムの解明と重要微生物の検出・定量・モニタリング技術の開発、DHS技術の新展
3. 設計指針・維持管理マニュアルの作成

①研究者グループリーダー名： ○上村繁樹（木更津工業高等専門学校・教授）

②研究項目

- ・提案技術の省エネ効果（既存施設を含む）
- ・生物学的処理メカニズム解明
- ・物理学的処理メカニズム解明
- ・新規 DHS 技術(ポスト G6)の開発
- ・UASB-DHS システムの技術的特性の整理と体系化

(3) 「長岡技術科学大学」グループ

研究題目：

1. インド・アグラ市の78MLD下水処理場での実規模試験の準備と実施
2. 処理メカニズムの解明と重要微生物の検出・定量・モニタリング技術の開発、DHS技術の新展
3. 設計指針・維持管理マニュアルの作成

①研究者グループリーダー名： ○山口隆司（長岡技術科学大学・教授）

②研究項目

- ・提案技術の省エネ効果（各種の既存下水処理プロセスを含む）
- ・DHS 技術の高度処理への適用の検討・最適化
- ・UASB-DHS システムの技術的特性の整理と体系化

(4) 「新潟薬科大学」グループ

研究題目：

1. 処理メカニズムの解明と重要微生物の検出・定量・モニタリング技術の開発、DHS技術の新展

①研究者グループリーダー名： ○井口晃徳（新潟薬科大学・助教）

②研究項目

- ・生物学的処理メカニズム解明

以上