

国名	エネルギー消費最小型下水処理技術の開発プロジェクト
インド	

## I 案件概要

事業の背景	<p>インドでは、急激な都市化により河川の汚染が進んでいた。「国家河川保全計画」（NRCP）の下、多くの下水処理場では、省エネ・低コストの下水処理技術として、上昇流嫌気性汚泥床（UASB）法と安定化池が採用されていた。UASB 処理場では、所定の排水基準を満たすために後段処理工程が必要となる。そのため、ほとんどの UASB 処理場には、1 日または 2 日の滞留時間を伴う、通性嫌気性ラグーン（FPU）と呼ばれる安定化池が設けられていた。しかし、FPU は広大な用地を必要とするとともに、FPU により後段処理を行う UASB システム（UASB-FPU システム）では排水基準を満たせないという問題が生じていた。</p> <p>下降流懸垂型スポンジ（DHS）システムは、長岡技術科学大学で開発された技術で、特に UASB リアクターからの排水の後段処理を目的としている。DHS システムは汚泥を保持する担体としてポリウレタンスポンジを使用することを特徴としている（UASB からの排水は、スポンジモジュールの上部に供給され、モジュールの下部へと流下する）。ハリヤナ州カルナールに設置した百万リットル/日（1MLD）DHS 実証プラントの性能を 5 年以上にわたり継続モニタリングした結果、排水の水質は比較的良好で、汚泥の発生量も減少したと報告された。DHS システムは、運営維持管理がシンプルであることと大規模な用地を必要としないことから、国家河川保全局（NRCD）は日本の技術協力を要請し、UASB と DHS を統合させたシステム（UASB-DHS システム）に係る共同研究と実用的なスケールの実験を通じ、DHS システムのスケールアップを図った。</p>														
事業の目的	<p>本事業は、①UASB-DHS システムのインドでの適用性の実証、②UASB-DHS システムの設計ガイドライン及び運営維持管理ガイドラインの作成並びにそれらの普及計画の準備を通じて、エネルギー消費・維持管理・敷地面積・総コスト面から適正な新規下水処理技術の開発を図り、もってインドの適正下水処理技術としての採用に向けた、適切な UASB-DHS システムの普及に寄与することを目指す。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 想定された上位目標：なし</li> <li>2. プロジェクト目標：エネルギー消費・維持管理・敷地面積・総コスト面から適正な新規下水処理技術が開発される。</li> </ol>														
実施内容	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 事業サイト：ウツタル・プラデシュ州アグラ</li> <li>2. 主な活動：①DHS リアクター用担体の調達、UASB-DHS システムの設計・建設、UASB-DHS システムの連続運転とインドにおける下水処理への適用性の評価。②UASB-DHS システムの設計ガイドライン及び運営維持管理ガイドライン<sup>2</sup>の作成、それらを用いたトレーニングコースの提供。</li> <li>3. 投入実績</li> </ol> <table border="0"> <tr> <td>日本側</td> <td>相手国側</td> </tr> <tr> <td>(1) 専門家派遣 19 人（長期 1 人、短期 18 人）</td> <td>(1) カウンターパート配置 9 人</td> </tr> <tr> <td>(2) 研修員受入 12 人</td> <td>(2) 施設 実証プラント建設用地、実験室用の建物、長期専門家用事務室（照明、電気設備、机、椅子等を含む）</td> </tr> <tr> <td>(3) 5MLD DHS 実証プラントの設計・建設</td> <td>(3) ローカルコスト</td> </tr> <tr> <td>(4) 機材供与 水質分析、微生物測定等の機器</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(5) ローカルコスト</td> <td></td> </tr> </table>			日本側	相手国側	(1) 専門家派遣 19 人（長期 1 人、短期 18 人）	(1) カウンターパート配置 9 人	(2) 研修員受入 12 人	(2) 施設 実証プラント建設用地、実験室用の建物、長期専門家用事務室（照明、電気設備、机、椅子等を含む）	(3) 5MLD DHS 実証プラントの設計・建設	(3) ローカルコスト	(4) 機材供与 水質分析、微生物測定等の機器		(5) ローカルコスト	
日本側	相手国側														
(1) 専門家派遣 19 人（長期 1 人、短期 18 人）	(1) カウンターパート配置 9 人														
(2) 研修員受入 12 人	(2) 施設 実証プラント建設用地、実験室用の建物、長期専門家用事務室（照明、電気設備、机、椅子等を含む）														
(3) 5MLD DHS 実証プラントの設計・建設	(3) ローカルコスト														
(4) 機材供与 水質分析、微生物測定等の機器															
(5) ローカルコスト															
事業期間	2011 年 5 月～2016 年 5 月	事業費	（事前評価時）398 百万円、（実績）440 百万円												
相手国実施機関	<p>国家河川保全局（NRCD）、環境森林気候変動省（MoEFCC）、中央公害対策委員会（CPCB）、ウツタル・プラデシュ州上下水道公社（UPJN）、都市開発省中央公衆衛生環境局（CPHEEO）、都市開発省（MOUD）、アリガムスリム大学（AMU）、インド工科大学ルーキー校（IIT Roorkee）</p> <p>※NRCD は本事業完了後、水省傘下の水資源・河川開発・ガンジス川再生局に改編された。</p> <p>※MOUD は本事業完了後、住宅都市省に改編された。</p>														
日本側協力機関	東北大学、長岡技術科学大学、木更津工業高等専門学校、香川高等専門学校、新潟薬科大学														

## II 評価結果

### 【評価の制約】

- ・ 新型コロナウイルス流行により実施機関からの情報収集が困難であった。そのため本評価は、UPJN が困難な状況の下で調査に協力し提供し得た、限られた情報に基づいている。

### 【留意点】

- ・ 本 SATREPS 事業では、プロジェクト目標「エネルギー消費・維持管理・敷地面積・総コスト面から適正な新規下水処理技術が開発される」に対する指標が設定されていない。本事後評価では新たな指標を設定せず、終了時評価で行われた、開発された下水処理システムの経済性評価結果に基づいてプロジェクト目標の達成度を評価するという方法を踏襲した。
- ・ 本 SATREPS 事業では上位目標が設定されていない。終了時評価において、開発した技術のインドでの採用・再現に向け普及させることが提言されていたことに鑑み、本事後評価では「インドの適正下水処理技術としての採用に向けた、適切な UASB-DHS システムが普及される」ことを想定された上位目標とみなした（上位目標が設定されていない SATREPS 事業については、想定された上位目標（事後評価時に設定）は有効性・インパクトのサブレーティングに加味せず、総合評価にも加味しない）。

### 1 妥当性

<sup>1</sup> SATREPS とは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

<sup>2</sup> 事業計画では運営維持管理マニュアル（案）を作成することとなっていたが、マニュアルはインド政府による承認の手続きが必要なため、インド側との協議によりガイドラインと変更された。

**【事前評価時のインド政府の開発政策との整合性】**

本事業は、2012年までに都市部の全人口に水を供給し、下水道・衛生施設を整備することを政策目標とした「第11次5カ年計画」（2007年～2012年）など、インドの開発政策と合致していた。同計画ではまた、河川の水質汚染は自然浄化が可能な量を上回る未処理排水の流入が原因であると、NRCPを策定し、主要河川の水質を指定使用水質まで改善することを目指していた。

**【事前評価時のインドにおける開発ニーズとの整合性】**

「事業の背景」で述べたように、本事業は、UASB-DHSなど適正な下水処理技術を開発する必要性と合致していた。

**【事前評価時における日本の援助方針との整合性】**

本事業は、日本の「対インド国別援助計画」（2006年）が、重点分野の一つである「貧困・環境問題の改善」の中で河川浄化のための下水処理の支援を表明していることと合致していた。

**【評価判断】**

以上より、本事業の妥当性は高い。

**2 有効性・インパクト**

**【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】**

本事業で開発された技術により、低コストで処理水の汚染水準を基準まで引き下げることができたため、本事業は完了時点でプロジェクト目標を達成した。アグラのDhandhupuraにある78MLD UASB下水処理場に隣接して5MLD DHS実証プラントが建設され、2014年7月に運転と連続モニタリングが開始された。これは、既存のUASB処理場のリアクターからの排水を本事業のDHS実証プラントで処理するUASB-DHSシステムの試験を行うものであった。本事業の経済性評価の結果、同UASB-DHSシステムは、当時の所定の排水基準を満たす他の処理方式と比較して、初期投資費用を含めたライフサイクルコストが最も低いことが分かった。

**【事業効果の事後評価時における継続状況】**

本事業の効果は事後評価時点で継続している。UPJNによると、5MLD DHS実証プラントは稼働しており、モニタリングも行われている<sup>3</sup>。インドの排水基準はBOD<30mg/LからBOD<10mg/Lに引き上げられたが、同実証プラントからの排水は、DHSを導入していない通常のUASBプラントよりも良好な結果が得られている。

本事業で作成されたUASB-DHSシステムの設計ガイドラインと運営維持管理ガイドラインは、事業完了後に正式に承認され、パンフレットも作成された。しかし、普及のためのフォローアップが行われず、それらの文書は活用・共有されていなかった<sup>4</sup>。本事業に参加した大学の関連研究の継続については、新型コロナウイルス流行の影響で連絡が取れず、情報は得られなかった。

**【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】**

想定された上位目標は事後評価時点で未達成であった。上述の情報に加え、事後評価時現在の下水処理場整備のシナリオでは、BOD<10mg/Lという最新の基準を考慮して、シーケンシング・バッチ・リアクター（SBR）という技術を用いるのが普通となっている。UPJNによれば、本事業で開発したDHSはそのような処理場では役に立たないが、排水のBOD基準がBOD<30mg/Lであったときに建設され、機能していたUASB処理場においては、最新の基準に合わせてBODを低下させるための三次処理として、効率を向上させたDHSを推進することは可能である。また、用地に大きな問題がない場合、UASB-DHSとSBRの組み合わせに対する技術経済学的研究を行い、DHS技術の採用について何らかの結論を出すことも可能だとUPJNは述べている。以上から、技術の有効性は確認されたが普及が行われていないと考える。

**【事後評価時に確認されたその他のインパクト】**

自然環境への負のインパクトはみられなかった。正のインパクトとしては、本事業に参加したUPJN職員がDHSシステムの知識を得たことが挙げられる。

**【評価判断】**

よって、本事業の有効性・インパクトは高い。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績
プロジェクト目標 エネルギー消費・維持管理・敷地面積・総コスト面から適正な新規下水処理技術が開発される。	開発した下水処理システムの経済性評価結果	達成状況：達成（継続） （事業完了時） ・UASB-DHSシステムは、流量3MLD、水理学的滞留時間（HRT）2.4時間の場合、416日目～491日目の連続運転でBOD<30mg/Lの排出基準を満たした。 ・経済性評価の結果、UASB-DHSシステムは既存の処理方式と比較して、設置スペース、消費電力、汚泥発生量などのコストが低いことが分かった。 （事後評価時） ・5MLD DHS実証プラントは稼働しておりモニタリングが行われている。
想定された上位目標 インドの適正下水処理技術としての採用に向けた、適切なUASB-DHSシステムが普及される。	本事業で開発されたUASB-DHSシステムが、インドの他のSTPにも普及したかどうか	達成状況：未達成 （事後評価時） ・技術の有効性は確認されたが、UASB-DHSシステムの普及は行われなかった（本事業のDHSシステムは、排出基準の点において、事後評価時点の下水処理場整備のシナリオと合致していない。そのため、現状では本システムの広範な普及の見通しは立っていない）。

（出所）終了時評価報告書、JST 終了報告書、実施機関質問票回答・聞き取り

<sup>3</sup> アグラの78MLD STPには、DHS実証プラントの他にも本事業の研究のためのさまざまな実験装置が供与されたが、事後評価ではその活用状況を完全に把握することはできなかった。入手できた情報によると、事後評価時現在も使用されているもの（電圧安定器、ボルテックスミキサー、UPSバッテリーキャビネット、家具等）と、使用されていないもの（コンピューター、BODインキュベーター、スラッジサンブラー等）がある。

<sup>4</sup> 事業で行うこととされていた「普及計画の準備」は、関係者のワークショップを開催したことがこれに相当するとの報告であった。

3 効率性
<p>本事業の事業期間はほぼ計画どおりであったが、事業費が計画を上回った（計画比：それぞれ 100%、111%）。アウトプットは計画どおり産出された。よって、効率性は中程度である。</p>
4 持続性
<p><b>【政策面】</b>  NRCP は 2014 年から統合保全プログラム「ナマミ・ガンジ」（ガンジス川浄化計画）に変更されているが、DHS プラントの普及を制限するものではない。</p> <p><b>【制度・体制面】</b>  本事業関連組織はいずれも存続しているが、詳細な情報は得られなかった。UPJN は、78MLD UASB 処理場とともに 5MLD DHS 実証プラントを所管している。アグラにある 7 箇所の下水処理場の運営維持管理はインドの多国籍企業に委託されている。しかし、UPJN によると、下水道システムの設計や運営維持管理ガイドラインの普及には責任を負っていない（インドでは、そのようなガイドラインは CPHEEO が発行している）ため、DHS システムを普及させるための組織体制は確立されていない。</p> <p><b>【技術面】</b>  DHS 実証プラントが稼働していることは、それに関わる人員が一定のスキルをもっていることを示しているといえるが、それ以外の情報は得られなかった。</p> <p><b>【財務面】</b>  DHS 実証プラントが稼働していることはある程度の予算が割り当てられていることを示しているといえるが、それ以外の情報は得られなかった。</p> <p><b>【評価判断】</b>  以上より、制度・体制面、技術面及び財務面に一部問題があり（十分な状況にあると判断するに足りる情報が得られなかったことも含め）、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。</p>
5 総合評価
<p>本事業は、開発された UASB-DHS システムにより低コストで処理水の汚染水準を基準まで引き下げることができたことから、プロジェクト目標を達成した。事業効果は継続しており、DHS 実証プラントは継続的なモニタリングを受けつつ稼働しており、開発技術を普及させるためのガイドライン類も完成している。しかし、本事業のシステムは、事後評価時点の下水処理場整備のシナリオや排水基準と合致していないため、開発した技術を他の下水処理場、特に新設の処理場に使用することは困難である。技術の普及活動は行われていないことから、上位目標は未達成となっている。持続性については、政策面では大きな問題は見られなかったが、制度・体制面、技術面、財務面では十分な情報が得られなかった。効率性については、事業費が計画を上回った。以上の点を考慮すると、本事業の評価は高いといえる。</p>

### III 提言・教訓

実施機関への提言：

- ・ CPHEEO、国家ガンジス川浄化ミッション（NMCG）及び UPJN を含むその他の所轄官庁は、UASB-DHS の技術を普及させるために、関係者を巻き込んだ取り組みを強化することが望まれる。

JICA への教訓：

- ・ 新規技術を開発する事業では、事業形成段階で①各関係者の責任を明確にした上で、技術普及のための十分な時間とアクションを組み込むとともに、②開発した技術の普及を担当する人員の頻繁な異動を回避するかまたはこれに対応する措置を盛り込んでおく必要がある。①については、本事業で計画された「普及計画」は、UPJN とウツタル・プラデシュ州都市開発局（UDD）（州政府普及担当部署）が実施する具体的な計画として策定されるべきであった。そのような計画では、事業の成果を発表するワークショップを開催するのみでなく、研究の継続や新たな DHS プラントの設立の促進を目的とすることもできたと思われる。さらに、JICA 本部の関係部署（本 SATREPS 事業担当部署）は、事業完了後一定期間、ウツタル・プラデシュ州 UPJN/UDD へのきめ細かい支援の仕組みを構築すべきであった。これは、UPJN/UDD が本事業の知見を普及し成果の再現を図ることを支援するのみでなく、DHS プラントの運営維持管理状況を州政府（UDD）やインド政府（NRCD/住宅都市省）に定期的に報告するための方策ともなり得たであろう。