

途上国に適用可能な下水処理技術の 現地一体型国際共同開発

国立大学法人 長岡技術科学大学

環境・建設系 水環境研究室（原田研究室） 代表 原田秀樹

◆インドの首都デリーからヤムナ川沿いに150km北に遡上したところにカルナール（Karnal）という人口30万ほどの典型的な農村都市がある。いまその町の下水処理場で、我々の研究室が開発した革新的廃水処理技術の大規模実証プラントがインド政府によって建造され、02年4月から稼働している。02年11月からは、われわれの研究室の大学院生たちが常駐しながらインド政府環境森林省（MOEF, Ministry of Environment and Forest）河川環境保全局（NRCD, National River Conservation Directorate）との国際共同研究を展開している。この、われらが小さな“プロジェクトX”に対して、この度、栄えある日本水大賞（国際貢献賞）を戴いた。現地で苦労しながら貴重なデータを採ってきてくれた学生諸君、そしてこのプロジェクトを支えて来て下さった多くの方々に、この場を借りてあつく感謝申し上げます。

◆汚染された水に起因する疾病は、開発途上国では最も深刻かつ緊急を要する環境問題である。開発途上国では、生活排水、産業排水の大部分は未処理のまま垂れ流しにされており、河川等の公共水域の水質汚濁が深刻化している。その結果、WHOによれば、途上国の全疾病の80%は汚染された水に起因するコレラ、下痢等の水起因疾病（WID）であり、年間約170万人もの死亡要因になっているという。なんと、毎日、ジャンボジェット機が10機ずつ墜落していることに相当する。しかも、乗客の9割は5才以下の子供たちである。

◆このような危機的状況のなかで、インドでは、ガンジス川浄化行動計画II（GAP-II：Ganga Action Plan）、ヤムナ川浄化行動計画II（YAP-II：Yamuna Action Plan）という大国家プロジェクトが日本国際協力銀行からの円借款事業として

進行中である。ガンジス川は全長2500Km、その流域に4億人あまりの人々が生活する、文字通り一本の河川が支える人口としては世界最大の河川である。そしてヤムナ川は、そのガンジス川の最大支流で、ガンジス全流域面積の40%を占め、全長1370Km（これとて日本最長の信濃川の4倍ちかく）の大河川である。いま、GAPとYAPの国家プロジェクトでは、この深刻な汚染によって死に瀕した両河川の蘇生のために流域沿いに数多くの下水処理場を建設しようとしている。

◆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・改善して、水循環利用システムの健全化を図るためには、下水処理システムを緊急に整備してゆくことが必要である。しかしながら、財政基盤の薄弱な発展途上地域で下水処理システムを普及させていくためには、今ある日本の“技術”をそのまま移転すれば事足りるのではなく、地域の経済構造、社会構造等の実状に適したself-sustainableな技術が要求される。すなわち、日本のようにお金を存分にかけ、金ピカの処理をするような技術——活性汚泥法——をそのまま移転しても根付かないことは明白で、途上国仕様の“適正技術”＝低コスト・簡易型の処理技術の創成が求められている。

◆このような背景から、インドではUASB（Upflow Anaerobic Sludge Blanket）法という嫌気性生物を用いた処理方式が、いまや下水処理技術の中核になっている。1986年からスタートしたGAP-I（第1期ガンジス川浄化行動計画）では、全体で37箇所建設された下水処理場のうち、17箇所が活性汚泥法であった。しかし、その7年後（1993年）にスタートしたYAP-Iでは、全部で31箇所の下水処理場が建設されたが、活性汚泥法の

途上国に適用可能な下水処理技術の現地一体型国際共同開発

国立大学法人 長岡技術科学大学 環境・建設系 水環境研究室（原田研究室） 代表 原田秀樹

採用はゼロで、その代わりに16箇所でUASB法が採用され、一躍UASB法がインドでの下水処理技術のスタンダードに躍り出た。しかし、UASB法によるコスト抑制型の下水処理技術は、インドだけの特殊な状況ではなくて、気候の温暖な発展途上地域全体での世界的な潮流になりつつある。UASB法は、もともと有機物濃度がある程度高い産業廃水（BOD 1000～2000mg/L以上）を対象としてオランダで開発され、世界中に普及してきた技術であるが、下水のような低濃度有機性排水（BOD 500mg/L以下）への適用もオランダがブラジル、コロンビア、メキシコ、インドなどで積極的に技術移転を図ってきた経緯がある。

◆UASB法は、嫌気性微生物によって有機物をメタンガスと炭酸ガスにまで分解する方法で、活性汚泥法のような曝気をする必要がなく、経済的な処理方法である。しかし、UASB方式単独ではBOD除去率50～60%程度までで、そのままでは放流基準を満足することは出来ない。そのため、UASBプロセスの後ろに繋げる有効な（低コストな）ポスト・トリートメント技術の開発が、世界中の研究機関の間でのホットな研究開発競争の課題となっていた。インド政府は、UASBプロセスのポスト・トリートメント技術としてFPU（Final Polishing Unit）と呼ばれる通性嫌気性ラグーンを採用することにした。FPUは、水深1m、滞留時間24時間の、ただのただっ広い池である。インド政府は、YAP-Iで建設された17箇所の下水処理UASBプラントの後段にFPUを導入した。かくして、UASB-FPUの組み合わせがインドの下水処理システムの標準となった。しかし、このFPUは広大な用地を要求するうえに、BOD、ふん便性大腸菌等の除去率もまったく不満足な結果しか得られなかった。

いま、インド政府は、FPUに替わるポスト・トリートメント技術のオプションとして、われわれの研究室が開発したDHS技術に大きな期待をよせている。DHS技術は、Down-flow Hanging Sponge Reactorの略でポリウレタン製のスポンジ担体を生物保持担体として用いる好気性生物処理技術である。ここでは技術の詳細な説明は避けるが、スポンジ担体は水中に浸漬しているのではなくて空气中に曝されているところがミソである。汚水がスポンジ担体内を浸透してゆく過程で担体内に高濃度で保持されている汚泥（微生物）に接触して有機物が分解される。UASB・DHSシステムは、無曝気方式で好気性微生物（Non-aerated aerobic）を用いる極めてユニークな処理技術であり、プロセスのランニング・コストを活性汚泥法の1/5から1/10まで低減できる革新的技術である。世界中の研究機関がしのぎをけずって展開してきた“途上国地域の持続可能な下水処理技術”の開発競争に打ち勝って、われわれのUASB-DHSシステムは世界を数歩リードする形になった。インド政府は、このUASB-DHSシステムという新規技術に注目し、3回にわたって長岡技大に技術調査団を送り込んで、この技術のノウハウを吸収し、前述の国家プロジェクトYAP-Iの枠組みのなかでハリヤナ州カルナール市に処理日量1000トン/日（処理人口7000人）規模の実規模プラントを建造した。（写真1,写真2,図1,図2）

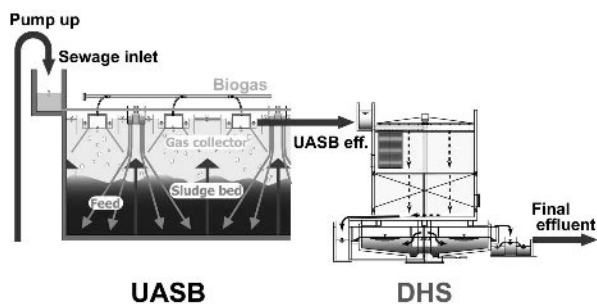


写真1 インド、カルナール市の下水処理場に設置されたDHSリアクター実証プラント（処理水日量1000トン、処理人口7000人規模）



写真2 除幕式（2002年4月24日、大理石の顕彰碑には、DHSプロセスの開発者である長岡技術科学大学・原田の名前が刻まれている）

Our proposed system



Combination of UASB and DHS

図1 長岡技大が開発した“途上国の持続可能な新規下水処理システム”

長岡技大が開発したDHSリアクターの概要

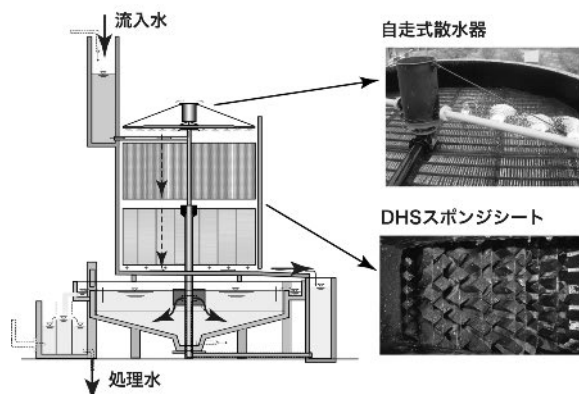


図2 長岡技大が開発したDHSリアクターの概要

◆こうして、われわれの研究室とインド政府環境森林省（MOEF）河川環境保全局（NRCD）との国際共同研究がスタートした。02年11月より今日まで修士課程の院生3名が数ヶ月単位の交替制でカルナール市の下水処理場に泊まり込みながらUASB-DHSシステムのモニタリングをしてきているこの3人が苦労しながら採ってきた2年以上にわたる処理性能の緻密なデータは、きわめて重要なものである。カルナールのUASB-DHS実証プラントは、外部からの人為的エアレーションを付加せずとも、BOD除去率95%と、既存の活性汚泥法に匹敵する卓越した処理性能を安定的に発揮した。インド政府環境森林省（MOEF）はこれを高く評価し、2003年度版の「環境白書」で大きく採りあげた。（写真3,写真4,図3,写真5,写真6）

途上国に適用可能な下水処理技術の現地一体型国際共同開発

国立大学法人 長岡技術科学大学 環境・建設系 水環境研究室 (原田研究室) 代表 原田秀樹

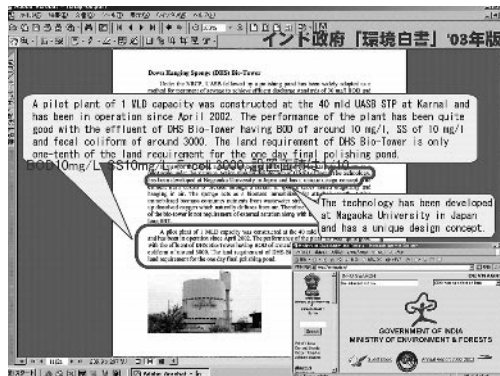


写真3 インド政府の03年版環境白書(環境森林省(MOEF)の公式ウェブサイト)では、DHSプラントの処理性能を高く評価している)

DHSプロセスのBOD除去能

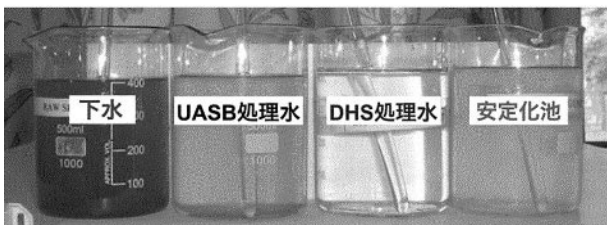
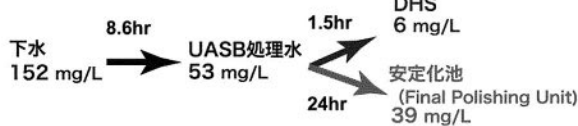


写真4 UASB-DHSシステム(長岡技大方式)とUASB-FPUシステム(インド標準方式)BODの処理水比較)

BOD経時変化

インド・カルナール市に設置したUASB-DHSシステムの実証試験成績

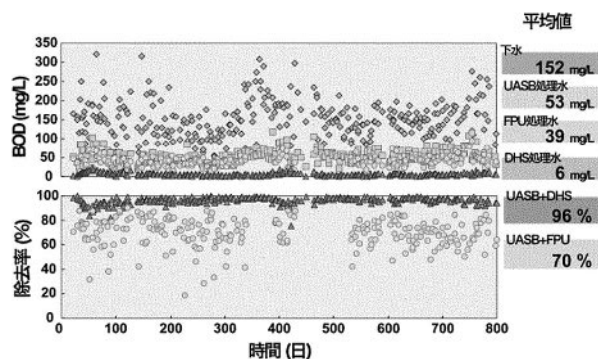


図3 UASB-DHS実証プラントのBOD除去性能データ



写真5 平成16年6月、愛媛新聞ほか全国各紙(共同通信配信)、大久保、小野寺両君の数ヶ月単位での現地滞在奮闘ぶりを報道)



写真6 下水処理場に泊まり込みながら貴重なデータを探ってきたサムライ3人衆(左から、桐島佳宏(04年3月修士修了・現(株)NJSコンサル)、大久保努(05年3月修士修了・現(株)西原衛生工業所)、小野寺崇・現修士2年。桐島は高知高専出身、大久保、小野寺は木更津高専出身。高専時代の指導教員(高知高専山崎慎一助教授、木更津高専上村繁樹助教授)は、原田研究室出身である)暑さと悪臭と蚊の三重苦のなかでの一番の楽しみは、満点の星を仰ぎながらのドラム缶風呂、燃料はモチロンcow dungである。敷地内で捕れたオオカゲは、彼らの貴重なタンパク源としてカレー鍋の中に放り込まれる)

◆インド政府は、この実証試験の好成績を踏まえて、ヤムナ川沿いの世界的観光都市アグラ（タジ・マハールで有名）に処理水日量14000トン（処理人口7万人規模）の大型の実プラント建造の無償援助を、我が国に正式な外交ルートを通じて要請してきた。また、UASB技術で世界制覇したオランダがDHS技術に着目しており、UASB-DHSシステムのフルスケール・プラントをエジプトに建設しようとする動きも加速してきている。これまで本邦オリジナルの環境保全技術が海外で普及

した例はない。カルナールで始まった小さな“プロジェクトX”が、アグラの大きな“プロジェクトX”につながれば、やがてガンジス川・ヤムナ川流域に我が国の科学技術が創成した下水処理プラントが一挙に多数普及することになる。さらに、このインドでの成功が大きいうねりとなって途上国世界全体へと大きな波及効果が期待できる。まさに、われわれの研究室が創成したオリジナル技術が世界標準になる日が来るかも知れない。