

インドの都市水環境の現状と望まれる技術支援

榑 原 隆

水環境学会誌 第36巻 第11号 (2013)

pp. 390～394 別刷

公益社団法人 日本水環境学会

海外水ビジネス展開に向けた日本の 途上国向け水処理技術の開発の最先端

日本は世界でも有数の水処理技術先進国と言われ、海外への水ビジネス展開に大きな注目が集まっている。

しかしながら、「日本の技術は途上国では採用されにくい」、あるいは採用されたとしても「運営管理が難しい」といった現実的な課題も生じてきている。

本特集では、上記の課題に果敢に挑戦し、途上国に入り込んで技術開発を進めている技術者、研究者から、「途上国で今、何が求められているか」を具体的に主張していただき、普及に近づきつつある日本の途上国向け新技術の最先端を特集する。

(担当編集企画委員 メタウォーター(株) 宮田 篤)

インドの都市水環境の現状と望まれる技術支援*

榊 原 隆

1. はじめに

筆者は2011年9月から2014年5月までの予定でJICA長期専門家としてインド国都市開発省の内部組織である公衆衛生・環境技術中央機構(Central Public Health and Environmental Engineering Organization:CPHEEO)に派遣中である。本稿は筆者が業務上得た経験や知見を基にインドの都市水環境の現状と望まれる技術支援についてまとめたものである。なお本稿作成にあたっては公表済み資料やCPHEEOの内部資料を基に客観性のある記述となるよう努めた。



Takashi Sakakibara

昭和60年 東京大学大学院工学系研究科修士
同年 建設省入省
国土交通省国土技術政策総合研究所
(御土木研究所)
国土交通省近畿地方整備局
滋賀県
さいたま市
地方共同法人日本下水道事業団
平成23年 インโด国都市開発省公衆衛生・環境
技術中央機構 JICA 専門家
技術士(下水道部門)

2. 都市水環境の現状と下水道等衛生施設の将来予測

2.1 行政組織

インド国憲法の規定によれば上下水道事業は州政府や市町村が実施することとされている¹⁾。実際には図1に示すように国、州、市町村の間で役割分担が決められている。すなわち国は政策決定、財政支援、技術基準を担当し、州は市町村指導を担当するほか、市町村の能力が十分でない場合に維持管理を実施する。市町村は事業主体として計画策定、設計、建設、および維持管理を担当する。

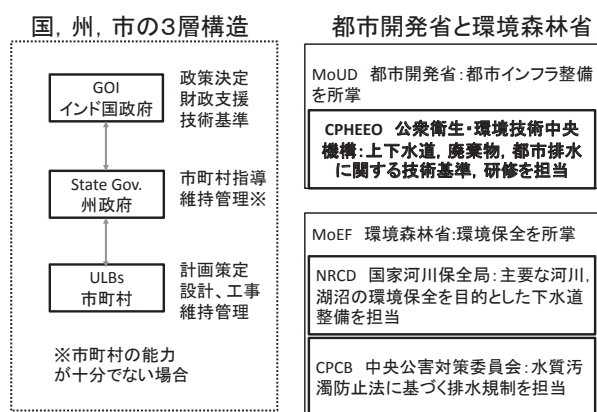


図1 インド国都市水環境関連の行政組織

* Current Status of Water Environment in Urban India and its Feasible Technical Assistance

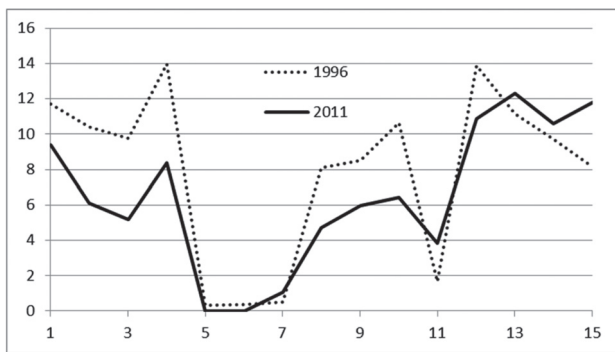


図2 ヤムナ川の水質状況(1)
(DO: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 3月から6月の平均値) 参考文献4) をもとに筆者が作成

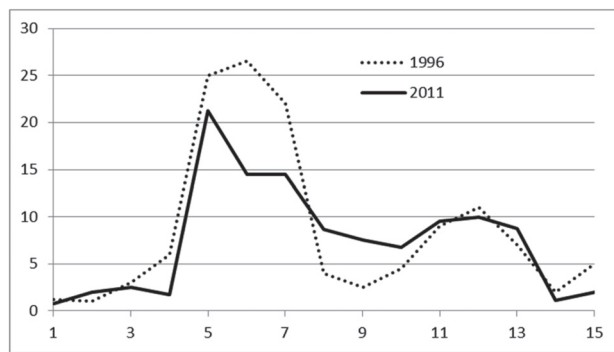


図3 ヤムナ川の水質状況(2)
(BOD: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 3月から6月の平均値) 参考文献4) をもとに筆者が作成



写真1 ヤムナ川流域の下水処理場の流入水(左側)と放流水(右側)の水質状況(2012年1月19日筆者撮影)



写真2 デリー中心部の水路の水質状況(2012年9月6日筆者撮影)

都市水環境に関連するインド国政府の省庁として都市開発省と環境森林省がある。都市開発省は上下水道、廃棄物等の都市インフラを所掌し、主要65都市を対象とした全国都市再生ミッション(Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission: JnNURM²⁾)や全国約420都市を対象とした全国衛生マスタープラン計画(City Sanitation Plan: CSP³⁾)を通じて、上下水道、廃棄物、都市排水施設の計画策定および事業実施の支援をしている。一方環境森林省は環境保全を所掌し、ヤムナ川行動計画(Yamuna Action Plan: YAP)等河川流域単位での水質保全対策を実施している。

2.2 河川水質の状況

図2, 3にインドの代表的な河川であるヤムナ川の水質状況を示す⁴⁾。なお図中のX軸の番号のうち1~4はデリーの上流側にあたるハリアナ州, 5がデリー市内, 6がデリー市内の水路, 7~10はアグラ市上流側, 11以降はアグラ市下流側の水質観測地点をそれぞれ示す。

図では1996年と2011年のDOおよびBODを示している。この間上述のYAPのもと多くの下水処理場が建設された。しかしながら両者を比較してもどちらの指標においても大きな差がみられない。すなわちヤムナ川の水質改善は進んでいない。その理由として写真1に示すように下水処理場の運転管理が十分でないこと, またデリーやアグラ等の都市においては急激な人口増加と産業集積により写真2に示すように依然として大きな汚濁負荷が河川に流入していることが指摘される。

2.3 下水道等衛生施設の整備状況

図4は2011年国勢調査の結果を基に都市域における下水道等衛生施設の整備状況を家屋数ベースで示したものである⁵⁾。トイレのある家屋数は2001年と比較して7%増加し81.4%である。その内訳は、腐敗槽38.2%, 下水道への接続32.7%, 衛生的なトイレ8.8%, 不衛生なトイレ1.7%である。またトイレのない家屋の内訳は野外排泄12.6%, 公衆トイレ6%である。

これに関連して環境森林省の内部組織である中央公害対策委員会(Central Pollution Control Board: CPCB)の調査結果として、人口10万人以上の都市(Class I)および人口5万人から10万人の都市(Class II)において下水処理場において衛生的な汚水処理がなされている割合が30%である(総下水発生量3,825.4万 m^3 をベースとしたときに、下水処理場の能力が1,146.7万 m^3 である)こと, 75%の飲料水源が汚染されていること, 93%の汚濁負荷は人口10万人以上の都市から排出されていることが示されている。

以上の状況に対するインド政府の対応については、2008年に都市開発省が公表した国家都市衛生方針(National Urban Sanitation Policy⁶⁾)に記述されている。同方針では、政策目標を1)野外排泄の根絶, 2)腐敗槽汚泥の適切な管理, 3)下水道整備と接続促進等に置き、目標実現のための方策として、州レベルおよび市レベルの下水道等衛生施設整備計画策定の支援や施設建設への補助が示されている。

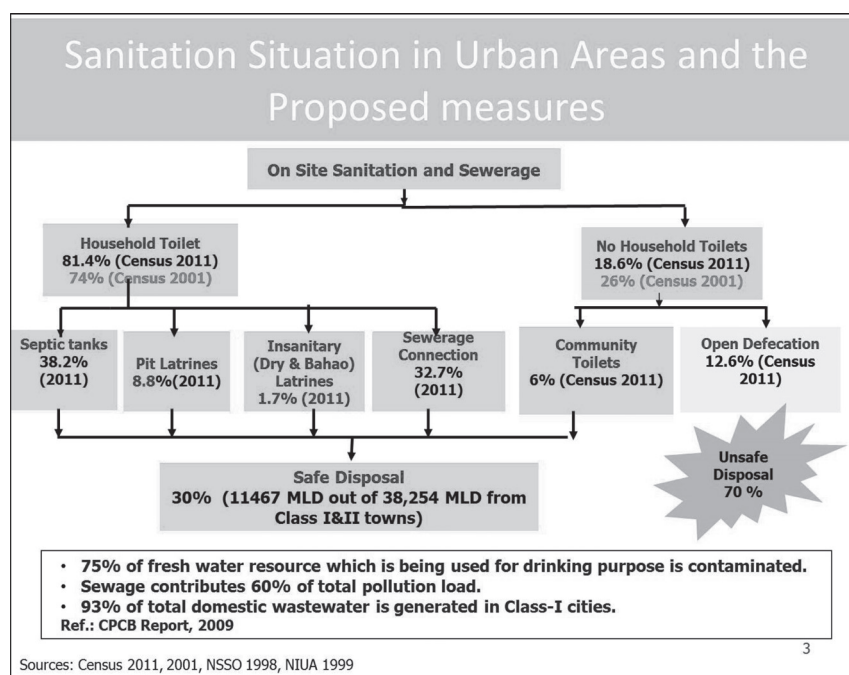


図4 都市域の下水道等衛生施設整備状況⁵⁾

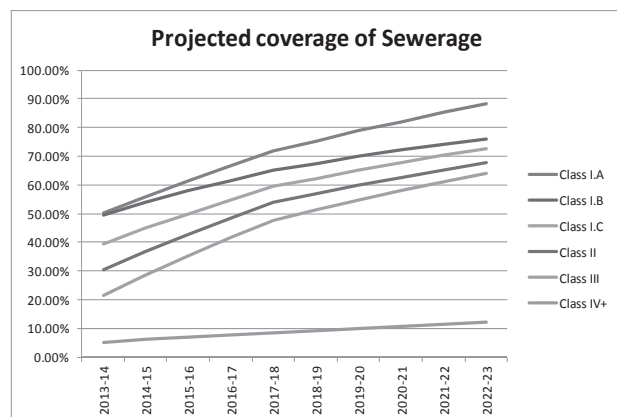


図5 将来下水道普及率⁵⁾ (2013年度から2022年度まで)

2.4 下水道等衛生施設の将来事業費等の試算⁵⁾

CPHEEO が検討中の下水道等衛生施設の将来事業費等に関する試算結果を示す。

2.4.1 人口1人あたりの下水道整備単価

試算の前提条件となる人口1人あたりの下水道整備単価を都市規模別に示す。7大都市（デリー、ムンバイ、コルカタ、チェンナイ、バンガロール、ハイデラバード、アーメダバード）においては、管きょ建設費（2,545 ルピー）と処理場建設費（1,543 ルピー）の合計が 4,088 ルピーとなった。一方人口2万人未満の都市では管きょ建設費（5,640 ルピー）と処理場建設費（2,447 ルピー）の合計は 8,087 ルピーとなった。両者の間で単価に2倍の開きがある。

2.4.2 将来下水道普及率

試算のもう1つの前提条件となる将来下水道普及率を図5に示す。現時点（2012年度）での普及率は32%であるが、10年後の2022年度にはこれを72%に伸ばすこととされている。うち7大都市は85%であるのに対し、人口2万人未満の都市はわずか12%に留まる。

2.4.3 下水道等衛生施設の将来整備費用

上述の人口1人あたり単価および将来下水道普及率を

表1 下水道等衛生施設の将来費用予測（2013年度～2022年度）参考文献5）をもとに筆者が作成

項番	費目	事業費(単位:億ルピー)
1	管きょ	11,168
2	処理場	8,034
3	トイレ(各戸別)	2,582
4	コミュニティトイレ、公衆トイレ	440
5	腐敗槽	1,815
6	旧施設の更新	9,889
7	水の再利用	851
8	インフレ価格補正	2,655
9	管きょや腐敗槽の清掃にかかわる初期費用	1,330
10	事務費、能力開発費、調査費	2,375
11	プロジェクト管理費	718
12	研修費	1,436
13	総計	40,570

用いて下水道等衛生施設の将来整備費用に関する試算結果を表1に示す。試算結果の概要は以下である。なお試算結果は2013年度から2022年度の10ヶ年分の事業費等である。

- 下水道等衛生施設の整備に関する総費用は約4兆ルピー。
- うち下水道管きょ費は約1.2兆ルピー、下水道処理場費は約0.8兆ルピー
- うちトイレ、腐敗槽等の衛生施設の整備は約0.5兆ルピー
- うち既存施設の更新費用は約1兆ルピー

3. 最新の下水道等衛生施設の技術動向

以下に都市開発省が発表した最新の下水道等衛生施設に関する3種類の資料を概説する。

3.1 最新の下水処理技術の動向

2012年3月に公表された“Recent Trends in Technologies in Sewerage System⁷⁾”は、州政府等が適切な下水処理方式を採用する際の参考資料として活用されることを目的として作成された。現下の下水処理の

技術動向を知るには最適な資料である。

インドでは Activated Sludge Process (ASP, 標準活性汚泥法), Waste Stabilization Pond (WSP, 酸化安定池), Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB, 上向流式嫌気性汚泥床) が従来型の処理方式として広く採用されてきた。最近の傾向として, Sequencing Batch Reactor (SBR, 回分式活性汚泥法), Moving Bed Bio Reactor/Fluidized Aerobic Bioreactor (MBBR, 移動床式生物反応槽あるいは FAB, 流動床式生物反応槽), Membrane Bio Reactor (MBR, 膜分離活性汚泥法) が JnNURM の事業でも採用されている。とくに SBR については, 前段にセクターとよばれる嫌気ゾーンを設けることにより, 処理性能を高めた装置が多数設置されている。また MBR の採用事例としてバンガロールやデリーのコモンウェルズ大会選手村等が挙げられる。

この他にもいくつかの最先端技術が提案されている。しかしこれらはインドにおいては実規模で実証されていない。その適用可能性についてはさらに技術的および経済的見地からの検討が必要である。最先端技術の例としては以下が挙げられる。

- BIOFOR Technology (Biological Filtration and Oxygenated Reactor)
- High Rate Activated Sludge BIOFOR-F Technology
- Submerged Aeration Fixed Film (SAFF) Technology
- Fixed Bed Biofilm Activated Sludge Process (FBAS)
- Rim flow Sludge Suction Clarifiers/Bio Tower
- Improved Circular Secondary Clarifier (HYDROPLUME)
- ECO-BIO Blocks

このうち BIOFOR については, すでに YAP で建設されたデリーの下水処理場 (処理能力日量 1 万トン) に採用済みである。前段の物理化学処理と合わせて放流水濃度が BOD $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, SS $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の良好な運転が実施されている。なおいずれも処理水は隣接した火力発電所の冷却水として活用されている。

3.2 下水道マニュアル⁸⁾

下水道マニュアルは日本下水道協会刊行の「下水道施設計画・設計指針と解説」に相当するもので, インドの下水道業務に携わる人にはバイブルともいえる存在である。本稿作成時点で未だ正式に発表されていないが, 内容はほぼ固まっているので紹介する。

本マニュアルは 1993 年版を改定したものであり, この 20 年間の様々な技術的蓄積や制度的改正が反映されている。また全体はエンジニアリング編, 維持管理編, マネジメント編の 3 編から構成される。

水処理方式に関する部分はエンジニアリング編の第 5 章に記述されている。水処理施設の設計方法や処理プロセスの原理等が扱われている。最新の技術に関しては 3.1 に記載された処理方式の他, 循環式硝化脱窒法や A_2O 法等の栄養塩除去方式が記載されている。

なお本マニュアルは JICA の資金協力のもと本邦コンサルタントが事務局となって作成されたものである。

3.3 腐敗槽汚泥管理に関するアドバイザリーノート

第 2 章でみたように都市部における腐敗槽のシェアは 38.2% と大きい, 腐敗槽汚泥管理については実態がほとんど調べられていない。インド工業規格 (IS2470, 1985 年) の規定では腐敗槽汚泥の引き抜きを年に 1 ~ 2 回実施することとされているが, 実際にはほとんど実施されておらず水質汚濁の大きな原因となっている。

腐敗槽汚泥の管理を適切に行い, 水質保全を適切に図ることを目的として, 2013 年 1 月に “Advisory Note on Septage management in Urban India⁹⁾” が発刊された。その内容は 1) 実情を鑑み腐敗槽汚泥を 2 ~ 3 年に 1 回引き抜くこと, 2) 引き抜きは人力でなく機械を用いて行うこと, 3) 引き抜いた汚泥は下水処理場あるいは専用の汚泥処理施設で適切に処理すること等が述べられている。また巻末には先進事例としてマレーシアおよびフィリピンの住民向け啓発資料が掲載されている。

4. 望まれる技術支援—わが国の取り組み状況

以上みてきたように, インドでは都市の下水道・衛生施設の建設に関して今後 10 年間で総額 4 兆ルピーという膨大な需要が存在する。また処理技術に関してはすでに様々な技術が採用あるいは提案されている。

こうした中で日本からの技術支援として有望と考えられる 2 つの技術について, インドでの展開の現状と合わせて概説する。

4.1 下水再生水の利用

国土交通省と都市開発省は 2007 年より日印都市開発交流会議を日印交互に毎年開催している。昨年 10 月 4 日には第 6 回会議がデリーで開催されたが¹⁰⁾, 前日の 10 月 3 日に日印水環境ワークショップが開催され, 両国の関係者が参加した¹¹⁾。

当該ワークショップのテーマは下水再生水の利用であった。その背景には近年インドにおける下水再生水の利用への関心の高まりがある。例えば水資源省がまとめた国家水方針 2012 (National Water Policy 2012¹²⁾) でも再生水利用に関する記述が複数箇所登場する。また 2012 年 4 月に都市開発省が主催した再生水利用に関するワークショップでも, 州や市町村の様々な取り組みが発表されている¹³⁾。

日印水環境ワークショップはこのような再生水利用に関する関心の高まりを受けて開催されたものであり, 日本からは国土交通省, 国土技術政策総合研究所, 横浜市, 中部フォーラム, 民間企業等が参加, 発表を行った。うち中部フォーラムの発表は人口増加の著しいバンガロールにおける下水再生水利用の実施可能性に関する調査結果を報告したものであった。同市は急激な人口増加にともない, JICA 円借款事業により上水道建設が急ピッチで進められているが, 並行して都市の貴重な水資源としての下水再生水の利用に積極的に取り組もうとしている。当該発表はこのような同市の状況において下水再生水の工業用水利用の可能性について具体的に提案したものである。

また民間企業 4 社からの発表のうち, 3 社は膜処理活性汚泥法等の下水再生水利用に関連した自社技術およびそれを活用したプロジェクトを説明した。他 1 社は新興

国での採用を念頭においた無曝気型の省エネルギー水処理技術のインドにおけるパイロットプラントの運転状況を紹介した。これらの発表は一樣にインド側の注目を集めた。なおインド側からはCPHEEO, バンガロール, ムンバイ, デリーからそれぞれの都市の状況と再生水利用への取り組みに関する発表があった。

ワークショップの翌日に開催された日印都市開発交流会議において、当該ワークショップのインド参加者の意見が披露された。その概要は以下である。

- ・ワークショップ全体、プレゼンテーションは有益で時宜を得たもの
- ・ワークショップで得られた知識を州内で広めたい
- ・州レベルで同様のワークショップが開催できればより多くの同僚が参加できるので州での開催を希望
- ・提案された技術がインドの条件下で適用可能であるかを検討するためにパイロットプランによる実証実験を実施してほしい
- ・提案された技術の費用対効果、エネルギー消費について詳しく知りたい。
- ・上水分野の関心事項として、漏水検知、水の検査、無収水率削減、オゾン処理、活性炭処理、24時間×7日間給水、地下水の脱塩、省エネがある

以上をまとめると、州レベルでのワークショップの実施、パイロットプラントによる実証実験、費用対効果やエネルギー消費等に関する情報提供が、日本に求められている事項である。これの実現に向けては1つの企業だけでなく関係者が総合的な取り組みをして進めていく必要がある。

4.2 腐敗槽汚泥処理

日本サニテーションコンソーシアム (JSC)¹⁴⁾ は、アジア太平洋地域におけるサニテーションに関するナレッジハブを運営するために2009年に設立された組織である。その構成団体はオンサイト処理として日本環境衛生センター、日本環境整備教育センター、オフサイト処理として下水道事業支援センター、日本下水道協会、日本下水道事業団からなる。

インドにおける活動は、2010年の第4回日印交流会議での分散処理施設やJSCの活動に関する発表をきっかけに開始された。2011年度にはシッキム州、ミゾラム州、およびヒマーチャル・プラデシュ州を訪問し、浄化槽等小規模下水道および腐敗槽管理について提案を行った。2013年度も引き続きADBとの連携のもと州政府へ具体的な提案を実施する予定である。

現在までに表明された州政府からの意見・要望は以下である。

- ・インドの浄化槽メーカーは維持管理が不要と喧伝しているが、州政府職員が日本での研修を受けた結果、適切な維持管理が必要なが分かった。
- ・浄化槽を建設するにあたっては地元企業の参入を考慮されたい
- ・下水道と比べて浄化槽の価格が高いのか安いのかを明示されたい
- ・腐敗槽汚泥の引き抜きに際しては機械力を原則とするが傾斜地等で現在の機械力では引き抜きが困難な箇所が存在する

以上をまとめると、維持管理の重要性を引き続き訴えていくこと、傾斜地等汚泥引き抜きが困難な場所での引き抜き用機械の開発、地元業者の参入を考慮した浄化槽の設置が日本に求められている事項である。また本邦研修において適切な技術移転を行うことも重要である。

5. おわりに

以上インドにおける下水道等衛生施設の現状と将来、水処理技術の現状、技術支援の取り組みについて概説した。一般に日本の技術が優れていることは広く浸透している。その実証のために現地での実験や試験を行うことが最も近道であると実感している。本稿がインド国に対する理解、およびインドにおける水ビジネスの参考となれば幸いである。なお本稿は筆者の個人的見解でありJICAの見解をあらわしたものではない。

参 考 文 献

- 1) Ministry of Urban Development, The Constitution (Seventy-Fourth Amendment) Act, 1992 Background, <http://moud.gov.in/constiution> (2013年9月現在)。
- 2) Ministry of Urban Development, Jawaharlal Nehru National Urban Renewal Mission, <http://jnurm.nic.in/> (2013年9月現在)。
- 3) Ministry of Urban Development, City Sanitation Plan, <http://moud.gov.in/cityplan> (2013年9月現在)。
- 4) Ministry of Environment and Forests, Water Quality Data for River Yamuna, <http://moef.nic.in/sites/default/files/NRCD/yamuna.html> (2013年9月現在)。
- 5) Ministry of Urban Development (2013) Total Urban Sanitation Programme (Draft)。
- 6) Ministry of Urban Development, National Urban Sanitation Policy, <http://www.urbanindia.nic.in/programme/uwss/NUSP.pdf> (2013年9月現在)。
- 7) Ministry of Urban Development (2012) Recent Trends in Technologies in Sewerage System, http://moud.gov.in/sites/upload_files/moud/files/swgrtech.pdf (2013年9月現在)。
- 8) Ministry of Urban Development (2012) Manual on Sewerage and Sewage Treatment (Draft), Part A: Engineering [http://urbanindia.nic.in/programme/uwss/Draft_Manual_SST\(Engg\).pdf](http://urbanindia.nic.in/programme/uwss/Draft_Manual_SST(Engg).pdf) (2013年9月時点)。
Part B: Operation and Maintenance http://urbanindia.nic.in/programme/uwss/Final_Draft_Manual_SSTreatment_PartB.pdf (2013年9月時点)。
Part C: Management http://urbanindia.nic.in/programme/uwss/Final_Draft_Manual_SST_PartC.pdf (2013年9月時点)。
- 9) Ministry of Urban Development (2013) Advisory Note on Septage Management in Urban India, http://urbanindia.nic.in/programme/uwss/Advisory_SMUI.pdf (2013年9月現在)。
- 10) 国土交通省記者発表資料 (2012)「第6回 都市開発に関する日印交流会議」の結果概要について, http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo07_hh_000217.html (2013年9月時点)。
- 11) 国土交通省記者発表資料 (2012) 日印水環境ワークショップの開催結果について, http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000177.html (2013年9月時点)。
- 12) Ministry of Water Resource (2012) National Water Policy, <http://wrmin.nic.in/writereaddata/linkimages/NWP2012Eng6495132651.pdf> (2013年9月時点)。
- 13) Ministry of Urban Development (2012) Waste Water Recycle and Reuse: Need of the hour, <http://moud.gov.in/recycle> (2013年9月時点)。
- 14) 日本サニテーションコンソーシアムホームページ, <http://www.jsanic.org/japanese/index.html> (2013年9月時点)。