

報告書サマリー

インドの下水汚泥処理の現状

- 人口増加と都市化が進むインドにおいて、下水汚泥の処理は近年深刻な課題となっている。
- 下水の発生量が増加する中で、下水処理場が不足している地域も多く、下水処理を実施していても下水処理場で発生する汚泥の処理・管理が不十分な地域では、河川への排出により環境汚染や衛生問題が発生している。
- 下水汚泥の最終処分先となる埋め立て処分場でも容量がひっ迫しており、積み上げられた廃棄物や、廃棄物から発生するメタンガスにより、周辺の住民に健康被害が発生している。

表. インドの下水処理における課題

パターン	課題	現状	周辺環境や人体への影響
下水汚泥の処理・管理が不十分	河川の汚染	<ul style="list-style-type: none"> 河川の汚染は未処理の下水の流入が主因とされるが、下水処理場で発生する汚泥の処理・管理が不十分な地域では、河川への排出が発生 中央公害管理委員会(CPCB)の2025年の調査によると、全国河川296か所(polluted river stretches)で汚染が確認 	<ul style="list-style-type: none"> 河川水は生活用水や農業用水として利用され、感染症のリスクが高まり、住民の健康に深刻な影響
下水汚泥の処理・管理は十分	埋め立て処分場のひっ迫	<ul style="list-style-type: none"> 下水汚泥の最終処分先は埋め立て処分場となるが、都市部では容量を超過しているにもかかわらず廃棄物の投棄が続く処分場が存在 	<ul style="list-style-type: none"> メタンガスの発生による火災や有毒ガスによる大気汚染、廃棄物の雪崩や浸出水による地下水の汚染が発生し、付近の住民の健康に深刻な影響

⇒ 持続的に下水汚泥の適正処理・管理がなされる体制の構築および汚泥処理技術の導入が求められる。

- このうち、「下水汚泥の適正処理・管理体制の構築」については既に国際協力機構(JICA)による支援が展開されており、本マスタープランでは「**汚泥処理技術の導入**」に焦点をあてる。なお、汚泥処理技術の検討において、資源循環の観点や埋め立て処分場ひっ迫の観点から、可能な限り再利用/有効活用することが望ましく、**再利用/有効活用を前提とした技術**を検討した。

下水汚泥再利用/有効活用技術比較

- 下水汚泥の再利用/有効活用技術として、①固形燃料化、②焼却、③コンポスト化、④バイオガス化がある。
- インドは農地・森林の面積が広く多く、周辺地域ではコンポストプラント建設に十分な土地の確保が可能であると考えられる。また、産業排水が少なく汚泥中の重金属含有量が少ないと考えられるため、コンポストでの処理が適切である。
- 一方、都市部では土地の制約からコンポストプラントの建設が難しく、また重金属も含まれやすいため固形燃料化または焼却が適している。

図. 下水汚泥再利用/有効活用技術

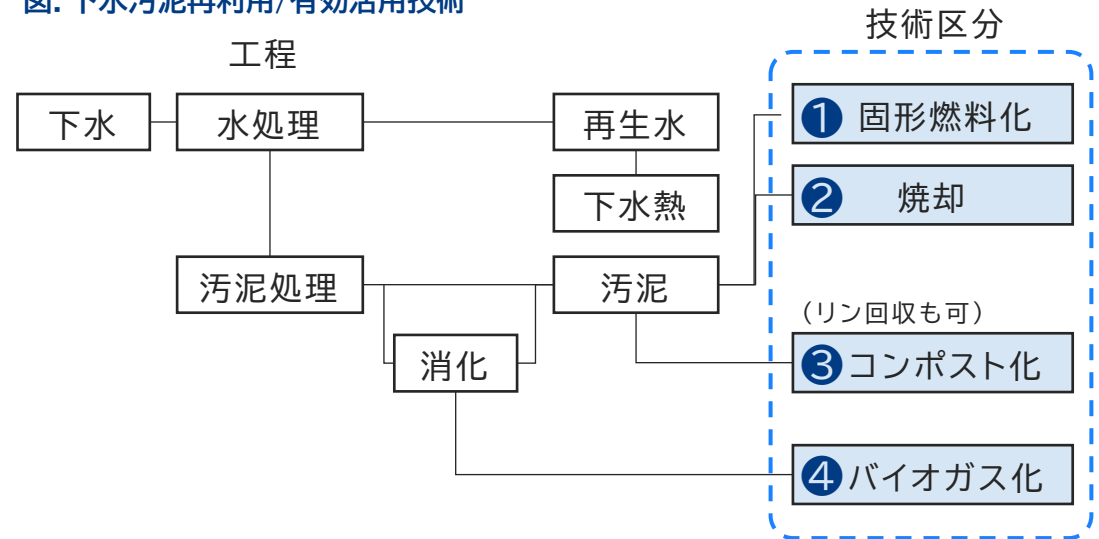


表. 下水汚泥再利用/有効活用技術の比較

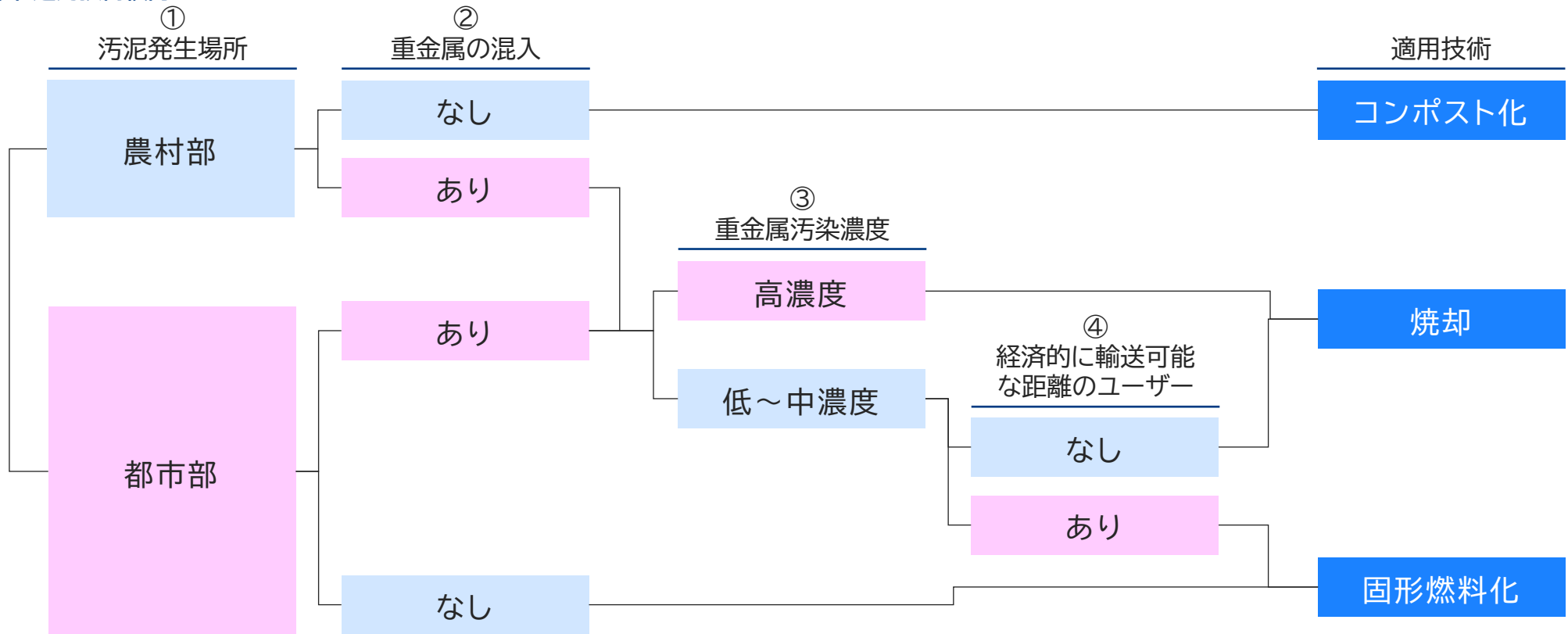
処理方式	アウトプット	アウトプットの利用方法	メリット	デメリット
① 固形燃料化	<ul style="list-style-type: none"> 固形(代替)燃料 	<ul style="list-style-type: none"> 化石燃料代替品(発電所や自家発電等に利用) * バイオマス混焼 	<ul style="list-style-type: none"> 高含水率でも処理可能 容積削減可能 保管・輸送が容易 再資源化の用途が多様 	<ul style="list-style-type: none"> 初期投資や乾燥用エネルギー必要
② 焼却	<ul style="list-style-type: none"> (1) 焼却灰 (2) 廃熱 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 建築資材(都市開発等に利用) (2) 焼却処分場内の設備等に利用 	<ul style="list-style-type: none"> 容積の大幅削減が可能 有害物質を分解可能 	<ul style="list-style-type: none"> 高エネルギー消費 灰処理が必要 臭気が発生
③ コンポスト化	<ul style="list-style-type: none"> 肥料/土壌改良剤 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺住民(農家)への提供/販売 (将来的に)政府認証を得て商品化 	<ul style="list-style-type: none"> 再資源化(肥料)可能 低エネルギー消費 	<ul style="list-style-type: none"> 処理時間長い 大面積が必要 臭気対策が必須
④ バイオガス化 (メタン発酵)	<ul style="list-style-type: none"> バイオガス 	<ul style="list-style-type: none"> バイオガス発電 ガス燃料 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー回収が可能 容積減可能 	<ul style="list-style-type: none"> 設備が複雑 発酵残渣の処理必要

出所)図:国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」を基に三菱総合研究所作成、表:日鉄エンジニアリング社提供資料を基に三菱総合研究所作成

適用技術整理

- インドにおいて適用する下水汚泥再利用/有効活用技術のパターン分けを整理した。なお、バイオガス化はコンポスト化及び固形燃料化において併用が可能のため、本整理には含めていない。
- 後述のとおり、コンポスト化については既にインド政府により推進に向けた検討が進められている。従って、本マスタープランでは、コンポストでの処理が難しく、汚泥発生量も多い都市部での処理を目的として、固形燃料化を中心に検討を進める(焼却は固形燃料化が適さない場合の手段となる)。

図. 適用技術検討のフローチャート

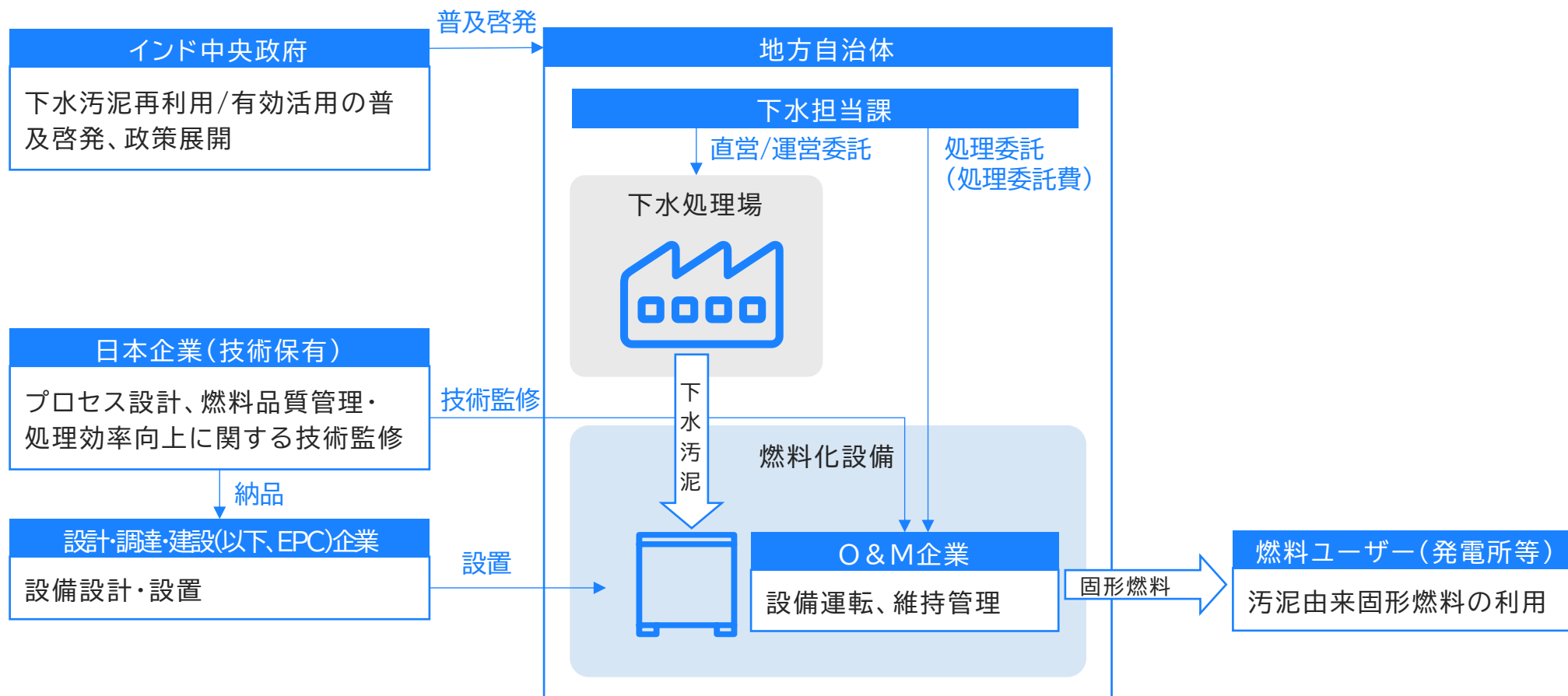


出所)三菱総合研究所作成

事業モデル

- 固形燃料化技術の事業モデルとして下図を想定する。
- 固形燃料技術を導入する運転管理(以下、O&M)企業は、**地方自治体から処理委託費(ティッピングフィー)を受領して固形燃料を製造し、燃料ユーザーに販売**する。

図4-1 固形燃料化技術の事業モデル



事業モデルの課題と対策

- 固形燃料化技術導入に係る事業モデルの課題として、①CAPEX(初期コスト)の高さ、②OPEX(事業運営費)の高さ、③汚泥のバイオマス利用へのインセンティブ欠如が挙げられ、それぞれ対策を検討した。

表. 有能な事業モデルの課題と対策

#	課題	対策
1	CAPEXの高さ インドにおける下水汚泥処理分野は市場形成途上にあり、下水汚泥再利用装置の導入に際しては、高額なCAPEXが事業化を阻害する大きな要因となっている。	初期コストへの補助金制度活用 公的支援により初期コスト負担を軽減することで、事業採算性の確保が可能となる。その後段階的に事業がスケールアップすることにより、調達効率の改善や装置の量産効果が期待され、結果としてCAPEXの低減につながる構造が期待される。
2	OPEXの高さ 汚泥の処理・再利用にあたっては電力等のエネルギー費用や人件費等のOPEXを確保する必要があり、ペレット販売による収益だけでは十分な運営採算を確保しにくい。	カーボンクレジットによる追加収入の確保 燃料用途の販売先が、従前の石炭を代替して汚泥由来のバイオマス燃料を使用することで、温室効果ガス(GHG)排出量を削減し、その効果をカーボンクレジット化して追加収入を確保することによりOPEXを補填する。
3	汚泥のバイオマス利用へのインセンティブ欠如 下水汚泥由来のバイオマス燃料に対する市場・政策的インセンティブが十分に整備されておらず、民間事業者が積極的に利用する動機付けが弱い。	汚泥由来バイオ燃料の認証化の仕組みの構築 汚泥由来の燃料をバイオ燃料として認証する制度を整備することで、市場形成を促進する。ただし、認証制度を構築するためには、まず実証事業を通じた科学的データの取得と評価が前提となっている。

インド政府への提案とアクションプラン

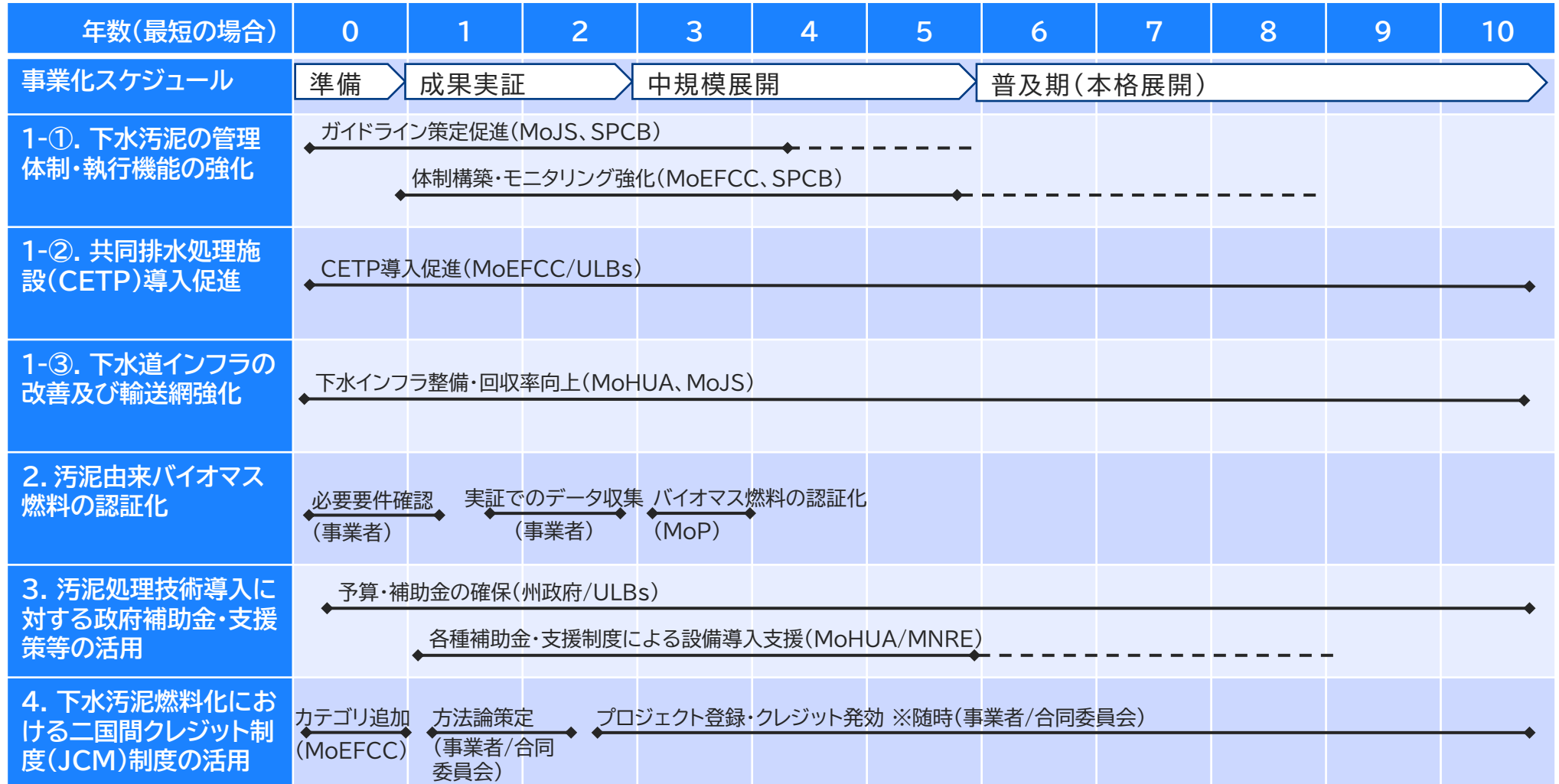
■ 以下のとおり、インド政府への提案内容を取りまとめ、アクションプランを設定した。

		提案内容	アクションプラン
1	① 下水汚泥の管理体制・執行機能の強化	環境規制の効果的な運用確保に向けた監視体制の構築やモニタリング技術導入、適切なガイドラインの策定、管理執行能力の強化に向けた官公庁・自治体職員・その他ステークホルダーへの人材教育	<ul style="list-style-type: none"> 水省(MoJS):下水汚泥管理ガイドラインの策定促進 環境森林・気候変動省(MoEFCC):監視体制の構築やモニタリング技術導入、ガイドラインの策定、人材教育等の実施 州政府/州公害管理委員会(SPCB):州別下水汚泥管理ガイドラインの策定、管理・執行能力強化
	② 共同排水処理施設(CETP)導入促進	主に小規模な産業が密集する地域において、一度排水処理を行うことで下流の下水中の重金属量を低減する効果があることから、CETPの導入を促進	<ul style="list-style-type: none"> 環境森林・気候変動省(MoEFCC)/都市地方団体(ULBs):CETPの導入促進
	③ 下水道インフラの改善及び輸送網強化	排出される下水を適切に下水処理場に接続し、下水(汚泥)の回収率を上げて下水処理プロセスを機能させるための下水道インフラ改善および輸送網強化	<ul style="list-style-type: none"> 住宅・都市開発省(MoHUA)/水省(MoJS):下水道インフラの強化、下水回収率向上
2	汚泥由来バイオマス燃料の認証化	火力発電所でのバイオマス混焼義務の対象燃料として下水汚泥を加えることでバイオマス燃料として活可能な燃料の幅が広がり、国としてのバイオマス混焼率の向上が期待される	<ul style="list-style-type: none"> 電力省(MoP):火力発電所でのバイオマス混焼義務の対象燃料に下水汚泥由来のペレットを追加
3	汚泥処理技術導入に対する政府補助金・支援策等の活用	下水汚泥の処理技術導入に向けて、初期コストの確保が課題になることが想定される。技術導入に向けた補助金の活用促進や補助金制度の拡充が期待される	<ul style="list-style-type: none"> 住宅・都市開発省(MoHUA)/新・再生可能エネルギー省(MNRE):補助金・支援事業採択に向けた助言、推薦 州政府/州公害管理委員会(SPCB):州政府予算・補助金の確保 都市地方団体(ULBs):補助事業への応募
4	下水汚泥燃料化における二国間クレジット制度(JCM)制度の活用	インド政府のパリ協定6条対象プロジェクト分野に現状下水汚泥燃料化(バイオマス燃料活用)に関連する項目がないため、項目を追加することでカーボンクレジット化による経済性の向上が期待される	<ul style="list-style-type: none"> 環境森林・気候変動省(MoEFCC):パリ協定6条対象リストへのカテゴリ追加

アクションプランのスケジュール

■ アクションプランのスケジュール(年数は最短の場合)は以下のとおり。

表. アクションプランのスケジュール



出所)三菱総合研究所作成