

令和7年度環境省委託事業

令和7年度

脱炭素社会実現のための都市間連携事業委託業務
(インドにおける脱炭素・循環型エコタウン整備推進事業)

業務報告書

令和8年3月

株式会社エックス都市研究所

目次

1.	はじめに	3
1.1	調査の背景	3
1.2	調査の目的、調査内容	5
1.3	実施体制	6
1.4	スケジュール	7
2.	インドの概況	8
2.1	インドの環境関連法制度	8
3.	テランガナ州の概況	17
4.	廃棄物資源化調査	32
4.1	下水汚泥燃料化調査	32
4.2	固形廃棄物・液体廃棄物のセメント原燃料化調査	50
4.3	プラスチック再資源化調査	60
4.4	生ごみたい肥化調査	67
4.5	有機系廃棄物のエネルギー転換事業調査	72
5.	低炭素製品製造分野	79
5.1	低炭素コンクリート製造調査	79
5.2	低炭素エネルギー供給調査	91
6.	エコタウン形成に関する調査	101
6.1	目的	101
6.2	方法	101
6.3	結果	101
	参考資料	1

1. はじめに

1.1 調査の背景

1.1.1 ホスト国の JCM に対する考え方

インドは、2021年のエネルギー起源二酸化炭素排出量が、22億7900万t-CO₂で、中国、米国に次ぎ世界第3位である。この排出量は世界全体の6.9%となっている。

モディ首相は2021年に開催されたCOP26での演説で、2070年までにネット・ゼロ〔温室効果ガス（GHG）純排出ゼロ〕を達成すると宣言している。またこれを受けて、インド国政府は、ネット・ゼロへの長期的な戦略である「India's Long-Term Low-Carbon Development Strategy（環境・森林・気候変動省）¹」を策定した。同戦略には、次の7つの主要な戦略的移行が含まれている。

- **電力**：低炭素電力システムへの移行
- **交通**：効率的で包括的かつ低炭素な交通システムを開発する
- **都市化**：持続可能な都市化、建物のエネルギー効率、都市設計の適応を促進する
- **産業**：成長と排出量を切り離した効率的で低排出の産業システムを推進する
- **CO₂除去**：CO₂を除去するためのエンジニアリングソリューションの開発
- **林業**：生態学および社会経済的要因を考慮しながら森林被覆を増やす
- **経済・金融**：低炭素開発の経済的・金融的側面を開発する

このうち産業での脱炭素化においては、今後のインドの継続的な成長に加え、国内製造業の活性化により、エネルギー消費の増加、中長期的に鉄鋼とセメントの需要が大幅に増加すると予想し、これに対してエネルギー効率や材料利用率の向上、代替燃料、循環経済アプローチ、製造プロセスの電化などにより、低炭素産業のシステムを確立する必要があるとしている。

このような中、2025年8月にインド政府環境・森林・気候変動省（MoEFCC）は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）パリ協定第6条2項に基づく二国間クレジット制度（JCM）に関する協力覚書（MoC）を日本政府と締結した。これはインドの気候変動対策への確固たるコミットメントを示すものであり、パリ協定の実施における新たなマイルストーンともなる。

特に日印協力の重点分野にはグリーンエネルギー技術が置かれている。インド政府は、国際協力により進める脱炭素化の重点分野を発表しており、その中には圧縮バイオガス、再生可能エネルギー由来の水素、アンモニア、排出量の多い産業のトランジション、CCSなどが含まれ、日本の技術的な貢献が強く期待されている。

¹ MoEFCC: India's Long-Term Low-Carbon Development Strategy
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/India_LTLEDS.pdf

1.1.2 都市間連携調査の背景

本調査は、インドで都市開発等のインフラ整備、及び廃棄物処理等の環境産業部門における主要企業の一つであるラムキーグループが、インドでのリサイクル団地（エコタウン）の整備を目指すため、北九州市、及び市内企業が保有する技術・ノウハウを活用したいとの意向があり、2023年9月に北九州市に日本法人「P9 合同会社」を設立し、本市と包括連携協定を締結したことを機にプロジェクトが形成された。都市間連携の対象都市は、ラムキーグループの本社が位置するテランガナ州ハイデラバード市、同社の製薬工業団地が位置するアンドラプラデーシュ州ヴィンジャーカパトナム市としている。

廃棄物の3Rの取組については、行政・市民・事業者との連携が不可欠である。北九州エコタウン事業は、当時北九州市の地域経済を支える重厚長大型産業が構造転換に迫られ苦境にある中で進められた新たな産業への振興戦略であり、これには、地域に蓄積されていた無形の資源が最大限に活用されている。産業都市としてすでに培われていた工学系の人材、地元企業・大学の技術力、さらには産業から必然的に発生する廃棄物、いわゆる公害とも向き合ってきた「環境リスクリテラシー」と廃棄物に対する受容性など、北九州市ならではの地域資源を最大限生かした事業となっている。このように経済発展とともに直面する公害、廃棄物問題に直面した北九州市の技術やノウハウは、成長著しいインド等アジアの新興国での都市問題の解決に大いに貢献できる。

このような背景のもと、北九州市では、蓄積してきた環境技術を、アジア諸都市とのネットワークを活用しながら、市内企業の海外ビジネス展開を支援し、北九州市の経済活性化を目指している。



1.2 調査の目的、調査内容

1.2.1 調査目的

本調査は、北九州市とテランガナ州ハイデラバード市、およびアンドラプラデーシュ州ヴィンジャーカパトナム市との都市間連携に基づき、廃棄物のリサイクルの高度化事業を形成することにより、以下を達成することを目的とする。

- ・ 製造業の省エネ技術支援による産業脱炭素化の推進
- ・ 廃棄物の直接埋立処分に伴う温室効果ガス排出の削減
- ・ 廃棄物のエネルギーを活用した化石資源代替燃料の製造技術向上による温室効果ガス排出量削減
- ・ 廃棄物の減量化・再利用・再生利用、適正処理に関する技術協力による連携都市の持続可能な経済発展に寄与する

1.2.2 調査内容

本調査は、テランガナ州における廃棄物設備の導入やエコタウン形成に関する検討を行う。それぞれ事業別に記載する。

(1) 廃棄物資源化分野

①基礎情報・一般情報収集

ハイデラバード市（テランガナ州）もしくはヴィンジャーカパトナム市（アンドラプラデーシュ州）において排出される産業系廃棄物の発生、処理状況を把握する。また、下水処理場における汚泥の処理・処分方法の状況を調査する。

②廃棄物資源化技術導入可能性調査

①及び令和6年度に実施した一般廃棄物の調査結果に基づき、現在再資源化されていない、又は資源化が限定的である廃棄物について再資源化技術の導入を現地の事業者へ提案し、課題等の把握を行う。

③CO₂排出量削減量の定量化手法に関する検討

調査対象となる各資源化技術のCO₂排出量削減量の定量化に向けた検討を行う。

(2) 低炭素製品製造分野

①基礎情報・一般情報収集

ハイデラバード市（テランガナ州）もしくはヴィンジャーカパトナム市（アンドラプラデーシュ州）の工業団地における現在の使用エネルギーの種類、需要量等を把握する。また、エネルギー供給に関する法制度の調査を行う。

②ガスコージェネレーションシステム導入可能性調査

①の調査結果や経済性の評価をもとに、対象都市でのガスコジェネレーションシステムの導入可能性評価や課題に対する対策方策を検討する。

③低炭素コンクリート製造調査

CO₂ 排出量の多いセメント製造分野において、高炉セメントの使用等、産業副産物を使用したコンクリート製品の製造技術の確立を支援する。また、低炭素コンクリートの利用を後押しする国の法制度を調査する。

(3) エコタウン形成分野

脱炭素・循環型エコタウンの実現に向けた行政・事業者・地域住民の意識醸成や、脱炭素及び廃棄物資源化技術開発の中核を担うインド版エコタウンセンターに関し、対象とする地域の資源や地域特有の課題等の状況に適したセンターの機能や役割を提案する。

1.3 実施体制

実施体制は以下の通りである。本調査は北九州市と包括連携協定を締結したインドラムキーグループと連携し、現地の廃棄物課題を解決するとともに脱炭素に寄与する技術の導入を図る。廃棄物資源化事業の調査は各企業が担当し、基礎情報整備等や行政との調整は北九州市及び代表事業者が担当した。

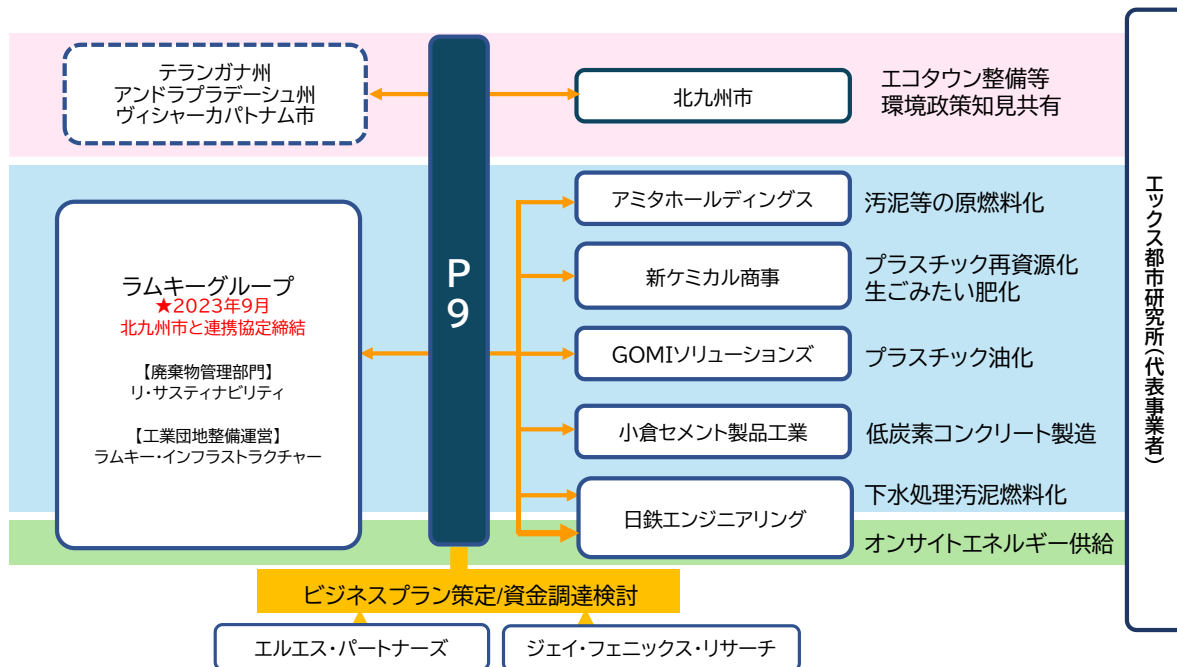


図 1-1 調査の実施体制

1.4 スケジュール

それぞれの項目において下図のようなスケジュールで調査を実施した。

実施事項	2025												2026				
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	1	2	3		
都市間連携																	現地調査
北九州市の知見共有																	
連携都市との協議（現地・日本）																	
1. 廃棄物資源化分野																	
1)基礎情報・一般情報収集																	
2)現地パートナーとの協議・支援																	
3)コスト試算、事業採算性検討																	
4)事業コンセプト作成・提案・調整																	
2. 低炭素コンクリート二次製品関連調査																	
(1)低炭素エネルギー供給調査																	
1)基礎情報・一般情報収集																	
2)ガスコジェネ導入に向けた課題の検討																	
(2)低炭素コンクリート製造調査																	
1)基礎情報・一般情報収集																	
2)試験製造																	
3. エコタウン形成調査																	
1)エコタウンセンター機能の提案																	
2)コスト試算・事業採算性検討																	
4. 会議開催・報告・発表等																	
1)現地ワークショップ開催																	
2)月次報告																	
3)環境省指定の会議での発表																	
4)JICA現地事務所との打合せ																	
5)報告書作成																	

図 1-2 調査スケジュール

2. インドの概況

2.1 インドの環境関連法制度

2.1.1 廃棄物関連法制度

インドにおける廃棄物の分類を下表に示す。廃棄物は大きく固形廃棄物 (Solid Waste)、有害廃棄物 (Hazardous waste)、電子廃棄物 (E-Waste)、バイオ医療廃棄物 (Bio-Medical Waste)、プラスチック廃棄物 (Plastic Waste)、電池廃棄物 (Battery Waste)、建設・解体廃棄物 (Construction & Demolition Waste、以下 C&D という) に分類され、それぞれ以下に示すいずれかの規則の対象となる。

表 2-1 インド廃棄物の種類及び規則

分類	該当する規則
固形廃棄物	固形廃棄物管理規則 Solid Waste Management Rules, 2016
有害廃棄物 (廃タイヤ含む)	有害廃棄物管理規則 Hazardous and other wastes (Management and Transboundary Movement) Rules, 2016 (2022 改定)
電子廃棄物	電子廃棄物管理規則 E-waste Management Rules, 2016 (2024 改定)
バイオ医療廃棄物	バイオ医療廃棄物 Bio-medical Waste Management Rules, 2016
プラスチック廃棄物	プラスチック廃棄物管理規則 Plastic Waste Management Rules, 2016 (2024 改定)
電池廃棄物	電池廃棄物管理規則 Battery Waste Management Rules, 2001 (2022 改定)
建設・解体廃棄物	建設・解体廃棄物管理規則 Construction and Demolition Waste Management Rules, 2016

出典：CPCB²

※カッコ内は最新の改定年

² CPCB:中央公害管理委員会「廃棄物管理規則」<https://cpcb.nic.in/rules/>

なお、これら廃棄物管理や大気汚染・水質汚染など環境保全に係る様々な権限と責務は、1986年環境（保護）法の規定に基づき、中央公害管理委員会（Central Pollution Control Board, 以下「CPCB」という）に移譲されている。CPCBの規定した規則や政策は、州公害規制委員会(State Pollution Control Board: SPCB)によって実施されている。

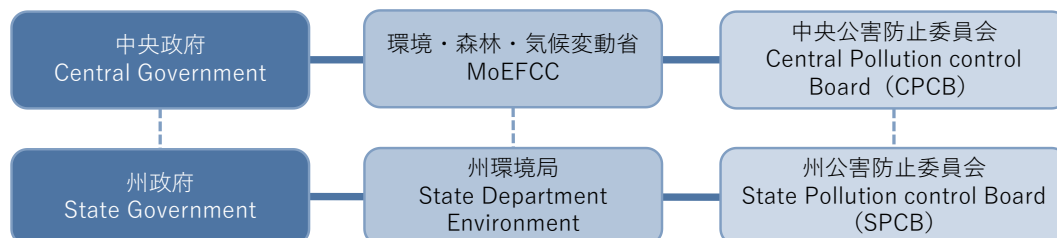


図 2-1 インドにおける環境管理行政の体制

出典：MoEFCC³、CPCB

廃棄物関連法のうち、本調査に関しては「有害廃棄物」、「プラスチック廃棄物」、「建設・解体廃棄物」に関連することから、これらの廃棄物管理規則の概要を整理する。

(1) 有害廃棄物管理規則

有害廃棄物とは、その廃棄物単体で、あるいはその他の廃棄物又は物質と接触することにより、物理的・化学的反応性や有毒性、可燃性、爆発性、腐食性をもつために、健康又は環境に害をもたらす可能性のあるあらゆる廃棄物を指す。

この有害廃棄物の安全な保管、処理、廃棄を環境に配慮した方法で確実にを行うため、2016年4月4日に「有害廃棄物及びその他の廃棄物（管理及び国境を越えた移動）規則 2016」が交付された。

この規則では、有害廃棄物の取り扱い、発生、保管、輸送、使用、処理、前処理、共同処理、リサイクル、回収に関わるすべてのオーナーに、SPCBからの許可を取得することを義務付けている。

CPCBは有害廃棄物の技術ガイドラインを策定し、本規則により廃プラスチックの輸入も禁止された。一方で、有害廃棄物も資源としては有効活用可能として71分野の有害廃棄物に対して116の標準作業手順書を作成しており、ウェブサイトで公開している。

³ MoEFCC：環境・森林・気候変動省 <https://moef.gov.in/>

表 2-2 有害廃棄物の活用のための標準作業手順書（一例）

SoP の名前	SoP番号	SoPタイプ	出版年
使用済み塩酸（モノクロロ酢酸/クロロベンゼン/クロロパラフィンワックス/トリフルオロ酢酸の製造中に生成）をオセインの製造に利用し、その後、そのようなオセインからゼラチンを製造する。	116	NEW	2025
湿式冶金法を採用して、炭素/黒鉛材料および金属化合物（硫酸塩、炭酸塩、Co、Mn、Ni、Li、Cu、Fe、Al、Na のリン酸塩）を回収するための黒色塊（リチウムイオン電池の解体業者/リサイクル業者または電子廃棄物の解体業者/リサイクル業者によって生成される）の利用	115	NEW	2024
モノクロトホス農業製品の製造中に発生する使用済み塩化メチルガス/液体のグルホシネート（工業用農業）生産への利用	114	NEW	2024
使用済み硫化ナトリウムおよび使用済み重硫化ナトリウム（二硫化炭素の製造時に苛性ソーダ溶液でH2Sガスを洗浄する際に生成される）を硫化ナトリウムおよび重硫化ナトリウムの製造に利用	113		2024
使用済みのモノジトリリン酸ナトリウム溶液（4,7-ジクロロキノリンの製造中に生成）をトリリン酸ナトリウム結晶の製造に利用	112		2024
使用済み塩化カリウム（農業産業からの使用済み KBr 溶液（メタフェノキシベンズアルデヒド）からの臭素回収時に生成）を、染料および染料中間体の製造や電気メッキ産業に適した塩化カリウム塩の回収に利用します。	111		2024
鉄鋼材料の酸洗操作における廃塩酸（有機化合物の塩素化中に生成）の利用	110		2024
使用済み亜硫酸ナトリウム（農業、染料および染料中間体、製薬部門、有機化学部門のクロロスルホン化反応中のSO2の苛性洗浄中に生成）を染料および染料中間体、繊維、パルプおよび製紙産業の製造プロセス用の亜硫酸水素ナトリウムの製造に利用	109		2024
使用済みサリチル酸ナトリウム溶液（熱エステル化プロセスによる香料エステルの製造中に生成）および使用済みHCl（クロラルールの製造中に生成）の工業用サリチル酸の製造（染料製造）への利用	108		2024
使用済み酢酸ナトリウム（医薬品製造から生成 - 7-ACCA）の酢酸ナトリウム三水和物の回収への利用	107		2024

出典：CPCB⁴

※CPCB ウェブサイトの表示をウェブ上で翻訳したもの

(2) プラスチック廃棄物管理規則

インドでは、2016年3月21日に、「2011年プラスチック廃棄物（管理および取り扱い）規則」に置き換わる新たな規則「2016年プラスチック廃棄物管理規則」が公布された。本規則により、レジ袋の厚さの最低基準が 50 μm に改正される他、プラスチック包装の生産者や輸入者等に対する登録や廃棄物の回収を課す拡大生産者責任(EPR)の規定が明記された。

また、2021年改正規則では、レジ袋の厚さが「2021年9月30日以降、75 μm 以上、および2022年12月31日以降、120 μm 以上」に改正され、段階的な規制強化が進められるとともに、特定の使い捨てプラスチック製品の製造、輸入、保管、流通、販売および使用が禁止される。リサイクル不可能、エネルギー回収不可能、又は代替用途のない複層プラスチックの製造および使用も、段階的に廃止することとされている。

2022年2月16日に改正された規則では、プラスチック包装の拡大製造者責任に関するガイドラインに従い、製造者、輸入業者、ブランド所有者(PIBO)はCPCBのEPRポータルサイトに登録した事業者名と登録番号を製品に表示することが義務付けられた。

また、以下のプラスチック包装を対象とし、生産者や輸入者、ブランドオーナー等にEPR目標やリサイクル目標（2024年度より適用）、再生プラスチック使用比率目標（2025年度より適用）などを課している。

⁴ CPCB: SOP under Rule 9 <https://cpcb.nic.in/sop-for-hw-specific/>

表 2-3 プラスチックリサイクル率目標

カテゴリー	内容	2024-25	2025-26	2026-27	2027-28
I	硬質プラスチック容器	50%	60%	70%	80%
II	単層又は複層の軟質プラスチックシート包装	30%	40%	50%	60%
III	複層プラスチック包装	30%	40%	50%	60%
IV	生分解性プラスチック	50%	60%	70%	80%

出典：CPCB⁵

EPR ガイドラインは、生産者、輸入者、ブランド保有者に課せられている廃棄物の回収、リサイクル目標等を達成できなかった場合、環境補償金が課される旨を規定している（EPR ガイドライン 9.1 条）。ただ、3 年間は、過年度の不達成分を次年度以降に持ち越すことができ、次年度に過年度分の不達成分も含めて目標を達成することができれば、徴収された環境補償金の一部の返還を求めることができる。3 年以内に目標が達成できない場合には、環境補償金は全額没収されることとなる。

また同ガイドラインによって課されている拡大生産者責任を果たせなかった場合、SPCB 又は公害防止委員会（PCC : Pollution Control Committee）によって社名が公表される。

(3) 建設・解体廃棄物管理規則

①概要

建設・解体廃棄物（C&D waste）は、あらゆる構造物の建設、解体、改築、改修、修理活動に適用される。ただし、原子力、防衛・戦略プロジェクト、自然災害や戦争による廃棄物は対象外となる。主に、建物の解体から発生する土、砂、レンガ、コンクリート、木材、プラスチック、セラミック等からなる廃棄物がこれに該当する。

建設・解体廃棄物は拡大生産者責任（EPR）の対象であり、生産者にはリサイクル目標を達成する責任が生じる。また、EPR の目標管理、監視、データ集約を行うための CPCB による集中システムが整備されている。

②処理済み廃棄物の利用

延床面積 20,000 平方メートル以上の大規模建設プロジェクトや道路建設において、処理済み廃棄物（再生骨材など）の利用が義務付けられる。

●⁵ CPCB: 2022 年プラスチック廃棄物管理規則案
<https://cpcb.nic.in/uploads/plasticwaste/2-amendment-pwmrules-2022.pdf>

利用目標：

- ✓ **一般建築:** 2026-27 年度の 5%から、2030-31 年度以降は 25%まで段階的に引き上げられる。
- ✓ **道路建設:** 2026-27 年度の 5%から、2030-31 年度以降は 15%以上を目指す。

表 2-4 建設・解体廃棄物の EPR 目標

	リサイクル目標 (前年度発生量の割合)	利用目標 (必要資材総量に対する割合)	利用目標 (必要道路資材総量に対する割合)
2025-26 年度	25%	—	—
2026-27 年度	50%	5%	5%
2027-28 年度	75%	10%	5%
2028-29 年度	100%	15%	10%
2029-30 年度	—	20%	10%
2030-31 年度以降	—	25%	15%

③環境補償（ペナルティ）

- ・ **支払義務:** 規則を遵守せず、環境や公衆衛生に損害を与えた場合、環境補償料を支払う責任を負う。
- ・ **返還制度:** EPR 目標を未達成で補償料を支払った場合でも、その後 3 年以内に義務を履行すれば、支払った金額の一部（85%～30%）が返還される。
- ・ **虚偽報告:** 虚偽情報の提供が 3 回に及ぶ場合、登録は永久に取り消される。

2.1.2 気候変動政策・再生可能エネルギー対策

モディ首相は COP26 での演説で、2070 年までにネット・ゼロ [温室効果ガス (GHG) 純排出ゼロ] を達成すると宣言している。これを受けて、MoEFCC は 2022 年 11 月に、2070 年までのネット・ゼロへの長期的な戦略である「India's Long-Term Low- Carbon Development Strategy」を公表している。

インドにおける脱炭素を推進する方策としてカーボンプライシングがある。カーボンプライシングとは、企業などの排出する CO₂ (カーボン、炭素) に価格をつけ、それによって排出者の行動を変化させるために導入する政策手法である。有名な手法には「炭素税」や「排出量取引」と呼ばれる制度があり、インドでは、国際的なカーボンクレジット取引の枠組みであるクリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism: CDM) に参加してきている。2022 年時点で CDM 理事会に登録されたプロジェクトの約 2 割がインドのプロジェクトであり、温室効果ガス排出削減量に応じて発行されるクレジットである Certified Emission Reduction (CER) は中国に次いでインドが世界で 2 番目に多い。プロジェクトには、再生可能エネルギー、省エネ、燃料転換、森林吸収等が含まれるが、再生可能エネルギーの導入が中心となっている。

またインドでは、温室効果ガス削減を目的とした国内独自の省エネ達成認証 (PAT 制度: Perform, Achieve and Trade) スキームと、再生可能エネルギー購入を促進する再生可能エネルギー証書 (Renewable Energy Certificate) がある。

(1) PAT 制度

本制度の仕組みを下図に示す。本制度は、2001 年に制定された省エネ法 (Energy Conservation Act, 2001) に基づきインド政府が導入したエネルギー効率向上制度であり、エネルギー消費量が多い産業施設 9 業種 (鉄鋼、セメント、アルミニウム、肥料、紙・パルプ、繊維、クロルアルカリ、鉄道、火力発電) が指定エネルギー消費者として指定される。

指定エネルギー消費者には、「基準年エネルギー効率」と「エネルギー削減目標」が通知される。

これに基づき、一定のエネルギー効率改善義務が課され、この改善義務を果たした事業者は、目標を超えた部分について、省エネ目標達成の証明書 (ESCert) の発行を受けて、これをエネルギー取引所で販売することができる。

一方で、改善義務を果たせなかった事業者は、エネルギー取引所を通じて必要な量の ESCert を購入するか、罰金 (未達成分のエネルギーコスト) を払う必要がある。

この一連の流れを 3 年 1 サイクルで運用することになっている。

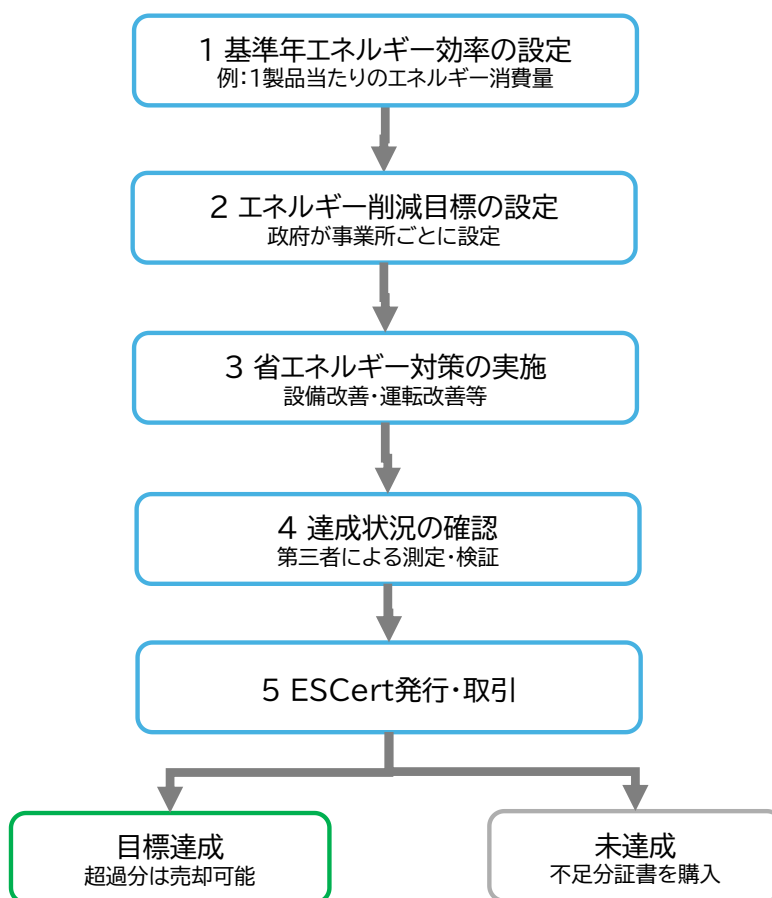


図 2-2 PAT 制度の仕組み⁶

(2)再エネ証書

2003年電気法 (Electricity Act, 2003) および気候変動に関する国家アクションプランでは、総発電量のうち再生可能エネルギーの割合を増加させる目標を掲げている。この目標を達成するために、一定の指定業者には、総電力消費量のうち一定割合を再生可能エネルギーから調達する義務 (再エネ購入義務) が設定されている。中央政府当局に登録された再エネ事業者は、①電力規制委員会の定める再エネ用の売電価格で電気を販売するか、②電気の販売は通常の電気料金で行う一方で、環境貢献部分については別途当局の発行する再エネ証明書の取引を通じて回収する、という2種類の選択肢が与えられ。後者を選んだ場合、再エネ証明書は、その時々設定される上限・下限価格の範囲内で、エネルギー取引所で売買することができます。この再エネ証明書は、各指定業者に課された再エネ購入義務に充足することができる。

⁶ Bureau of Energy Efficiency: PAT Scheme

2.1.3 水質・大気関連

(1)水質汚染防止及び管理法

水質汚濁を防止し管理するため、許可制度及び同意手続について定め、規制対象となる事業者は、定期的な水消費量の届出と納税が義務付けられている。また、SPCB が定める有毒物、有害物又は汚染物を、水路（地下水を含む）、河川、井戸、下水道、海、潮汐水、土地にて処分することが禁じられている。水質汚染防止に関する主要な法規則は下表のとおりである。

法規則	概要
水質汚濁防止及び管理法	1974年に制定、1988年に改正された水質汚染の防止や制限及び水質の向上を目的とした法律であり、60種類の産業それぞれに異なる排水基準が設定されており、この基準に反している企業に対しては、住民が訴訟を起こすことができることとしている。
水質汚濁防止及び管理規則	1975年に制定された規則。CPCBの機能が細かく規定され、CPCBが所有する分析機関で水質分析を行う場合の分析費用も規定されている。

(2)大気汚染防止法

CPCBとSPCBの大気汚染の排出基準の策定権限などを規定する。工場などの建設に先立ち、同法に基づくSPCB又はCPCBの建設許可及び操業許可を取得する必要がある。近年は、自動車の排ガス基準も強化されている。大気汚染防止に関する主要な法規則は下表のとおりである。

法規則	概要
大気（汚染防止および管理）法	1981年に制定され、インドにおける大気汚染の防止、管理および軽減を規定するために1987年に改正された。この法律は、CPCBとSPCBのさまざまな役割・機能を規定している。
大気汚染防止規則	1981年の大気(汚染防止および管理)法と1986年の環境(保護)法によって規定されている。CPCBとSPCBがこれらの規則の施行を担当している。

①国家クリーンエアプログラム (NCAP)

- ・ すべての関係者の参加を得て、24州の131都市（未達成都市および100万以上の都市）の空気の質を改善することを目的として、2019年1月にMoEFCCによって開始された。
- ・ NCAPは、2024年までに2017年の基準値よりPM10濃度を20～30%削減することを想定し、その後、2025～26年までにPM10レベルを最大40%削減、もしくは国家基準（60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を達成するように改正された。
- ・ 都市行動計画(CAP)は131都市すべてで作成されており、都市地方自治体によって実施されている。
- ・ 都市特有のクリーンエア行動計画は、土壌や道路のほこり、車両、家庭用燃料、都市廃棄物の燃焼、建設資材、産業など、都市特有の大気汚染源を対象としている。
- ・ これらの131の都市には、都市行動計画の活動を実施するために、実績に基づく財政支援が提供されている。

②水質・大気汚染防止におけるCPCBの機能

- ・ CPCBは以下の機能の全てまたは一部を実行することができる。
- ・ 予防および管理に関するあらゆる問題について中央政府に助言する。
- ・ 上記法律に基づく規則および規制に従って州委員会の活動を調整し、州委員会間の紛争を解決する。
- ・ 水質汚染および大気汚染の問題およびその防止、管理または軽減に関する技術的援助および指導を州委員会に提供し、調査および研究を実施および後援する。
- ・ 水質汚染及び大気汚染の防止、管理又は軽減のためのプログラムに従事する者の訓練を計画し、組織する。
- ・ マスメディアを通じて、水質汚染や大気汚染の防止、管理、軽減に関する包括的な大衆啓発プログラムを組織する。
- ・ 水質汚染および大気汚染に関する技術的および統計的データ、ならびにそれらの効果的な防止および管理のために考案された措置を収集、編集および公表し、下水および産業排水の処理および処分、ならびに煙突ガス洗浄装置、煙突およびダクトに関するマニュアル、規則またはガイドを作成し、情報を普及する。
- ・ 関係州政府と協議の上、河川や井戸に関する基準を定め、毎年修正し、また、空気の質に関する基準を定める。
- ・ 騒音を含む水質汚染や大気汚染の防止、管理、軽減のための全国的なプログラムを計画し、実行させること。
- ・ 規定されるその他の機能を実行する。

3. テランガナ州の概況

3.1.1 基礎情報

テランガナ州は、インドで 29 番目の最も新しい州として 2014 年にアンドラプラデーシュ州から独立して設立された。主要産業は IT、製薬、繊維、鉱物など。国内有数の IT 都市である州都のハイデラバード市にはマイクロソフト、アップル、グーグル、アマゾンなどのグローバル企業が進出している。

医薬品原薬の製造はインド随一であり、インド全体の生産高の 40%、輸出高の 50% を占める。州政府はハイデラバード近郊で 2025 年までに約 19,000 エーカーの製薬産業集積地ファーマシティを整備予定である。産業構成比は第一次産業 17%、第二次産業 20%、第三次産業 63% となっている（2023 年度）。

出典：外務省在チェンナイ総領事館⁷



図 3-1 テランガナ州・ハイデラバード市の位置

出典：Google Map

⁷ 外務省在チェンナイ総領事館：テランガナ州概要

<https://www.chennai.in.emb-japan.go.jp/files/100738474.pdf>

3.1.2 面積・人口

面積はテランガナ州が 11 万 2,077 km² (県 (District))であり、その中に 33 の都市が含まれる。人口は 2021 年の推計で 3,772 万 5,000 人とされる。ハイデラバード市は、625 km²の地域に広がり、2024 年の人口は推計約 1,200 万人とされる。

出典：外務省在チェンナイ総領事館、GHMC⁸

3.1.3 行政界・人口密度

テランガナ州には 33 の地区があり、最大の地区はバドラドリコタグデム、最小の地区はハイデラバードである。州の中でもハイデラバード市に人口が集中している。



図 3-2 テランガナ州 行政界・人口密度

出典：テランガナ州統計概要 2022 年⁹
※ただし、データは 2011 年の国勢調査のデータ

ハイデラバード市は、6 つのゾーンに分かれており、これらの 6 つのゾーンは、管理の効率化のため、合計 150 の区からなる 30 のサークルにさらに分割されている。

⁸ GHMC: DRAFT DISASTER MANAGEMENT PLAN,
GHMChttps://directoratoefevdm.ghmc.telangana.gov.in/cec-api/uploads/downloads/661e0e0103b4f_1713245697000.pdf

⁹ テランガナ州統計概要

150 WARD MAP OF GHMC

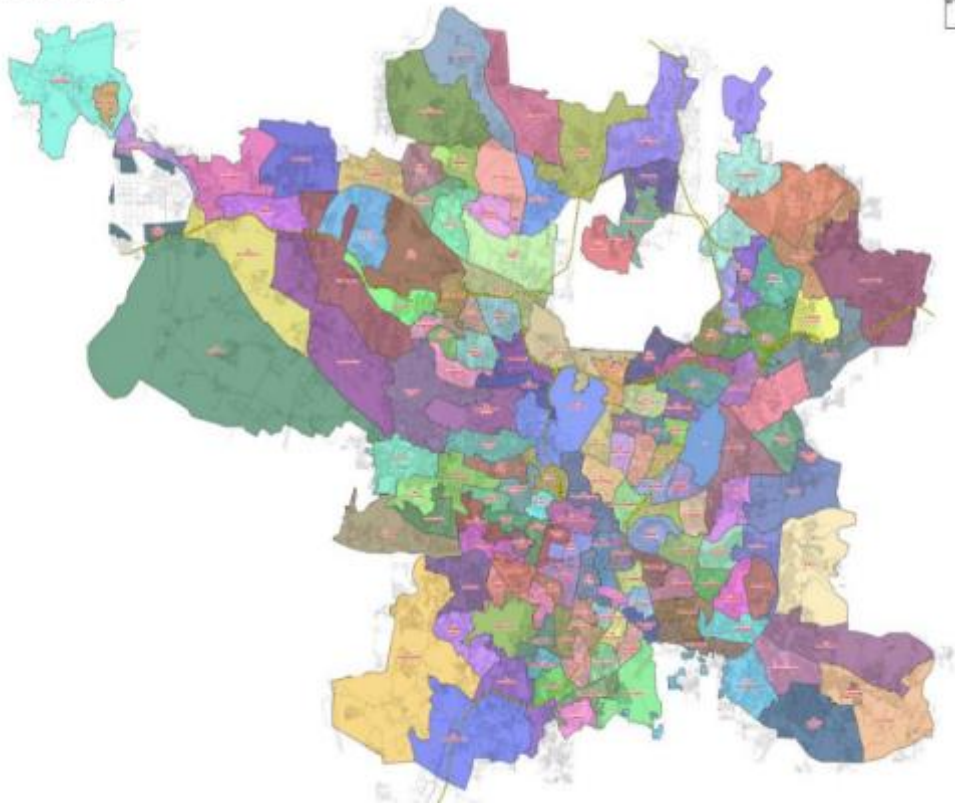


図 3-3 ハイデラバード市の区

出典：GHMC¹⁰

本調査では、地域特性が影響する廃棄物資源化分野の調査対象をテランガナ州としたため、アンドラプラデーシュ州の概要は割愛している。

¹⁰ GHMC: DRAFT DISASTER MANAGEMENT PLAN, GHMChttps://directorateofevdm.ghmc.telangana.gov.in/cec-api/uploads/downloads/661e0e0103b4f_1713245697000.pdf

3.1.4 都市廃棄物の状況

ここでは、本事業で連携しているインドラムキーグループが廃棄物管理を行っている、テランガナ州ハイデラバード市の廃棄物の状況を概説する。

ハイデラバード市役所(MCH)は 2007 年後半、他の 12 の自治体(ランガレッディ地区とメダック地区)と合併し、グレーターハイデラバード市役所(以下、GHMC という)を設立している。

2000 年に国の都市固形廃棄物(管理および処理)規則にガイドラインが定められ、GHMC は市内の衛生状態を国際基準にまで向上させるために、統合都市固形廃棄物管理プロジェクトを官民パートナーシップ(PPP)の下で実施することを決定し、当プロジェクトの運営のため、HIMSW (Hyderabad Integrated MSW Limited) が設立された。当事業は民間事業者へ委託され、ラムキーグループの廃棄物管理会社である Ramky Enviro Engineers Limited (REEL、現 Re Sustainability Ltd.、以下、ReSL 社という) が受託した。プロジェクトの受注後、GHMC と HIMSW は 2009 年に契約を締結し、廃棄物処理を開始している。

(1)ハイデラバード市の廃棄物概況

都市廃棄物の収集運搬、処理については、州内でもっとも排出量の多いハイデラバード市の現状について調査を行った。

ハイデラバードでの廃棄物回収エリアは 625 km²であり、6つのゾーンに分かれており、各ゾーンがさらに 30 サークル（1 サークル 150 区）に分けられる。

ReSL 社への聞き取りによると、市内から発生するごみ量は約 8,000 トン/日（2025 年 11 月時点）、一般廃棄物については 2013 年以降、年間 7～8%のペースで増加し続けている。

廃棄物の全体の内訳は下図の通りである。

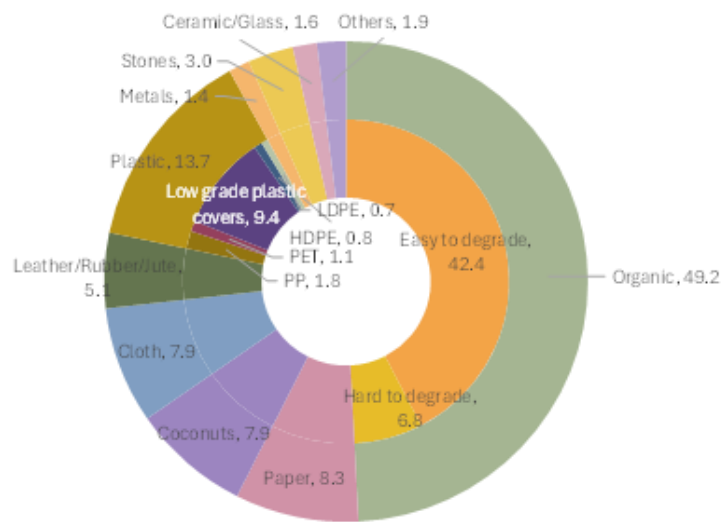


図 3-4 GHMC の一般廃棄物組成

出典：ReSL 社提供データ

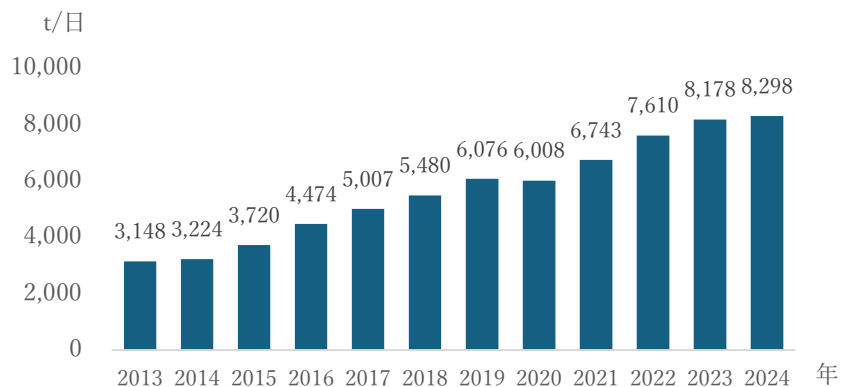


図 3-5 ハイデラバード市内からの一般廃棄物回収量の推移

出典：ReSL 社提供データ

(2) 廃棄物収集・運搬

下図に都市廃棄物の処理フローを示す。家庭・事業所から排出された都市廃棄物は、中継施設を経て、資源物は Dry Resource Collection Center (DRCC)・ベンダー・リサイクラーへ、資源物以外の残さは焼却 (WtE)・RDF 化・堆肥化または最終処分場にて処理される。

資源物はベンダー (インドでは Kabaddi 又は Aggregator とよばれる) によってリサイクラーに売却されるが、ベンダーは 3～6 段階の多層構造となっており、高い階層ほど回収量・取引価格が大きくなる。

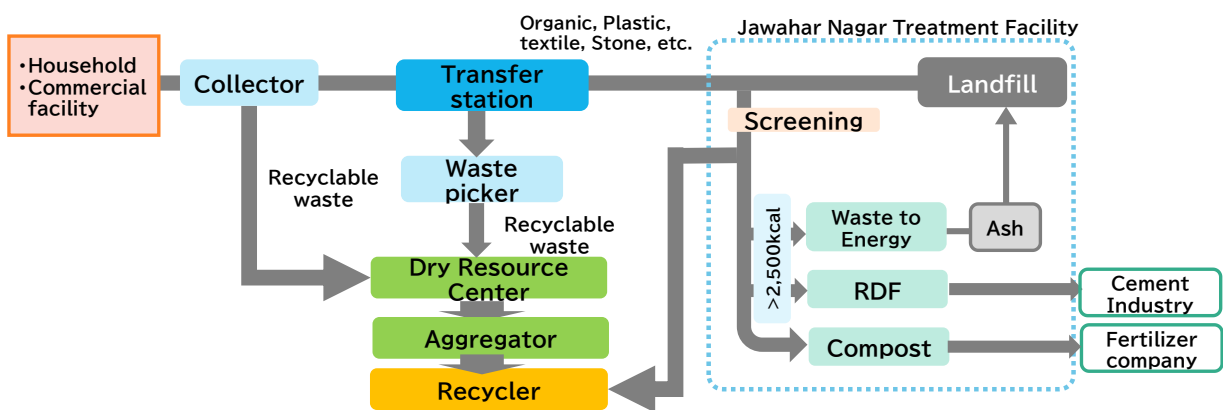


図 3-6 都市廃棄物の処理フロー

収集運搬体制について、ReSL 社では都市廃棄物の戸別収集は行っていない。

1 次収集の方法は下表に示すとおり発生量によって異なっており、100 kg/日未満の小規模排出者と 100 kg/日以上の中・大規模排出者の 2 通りに大別される。1 次収集は GHMC が委託したコレクターが収集している。収集された都市廃棄物は中継施設にて専用コンテナに積替え後、最終処分場や廃棄物焼却発電施設等へ輸送する。2 次収集では、露店商や路上に投棄された廃棄物などをコレクターが収集して運び込む。

ここでの一般廃棄物収集・輸送ステップは、次のように定義されている。

- 1 次収集：各家庭・事務所からの廃棄物を回収
- 2 次収集：道路清掃ごみ、路上投機ごみの回収（各家庭、事務所からオーバーフローした廃棄物、未収集エリアの廃棄物が路上に投棄される）
- 3 次収集：中継施設から処理施設への輸送（ReSL 社が実施）

表 3-1 一次収集の概要

発生源	発生源の種類	収集運搬事業者	分別の有無	収集料金
小規模排出者 (100 kg/日未満)	家庭、露天商 等	GHMC 委託の収集運搬事業者 (個人事業者が多い)	無し	100~200 Rs/月
中・大規模排出者 (100 kg/日以上)	市場、モール、工 場、レストラン、オ フィス 等	GHMC 委託の収集運搬事業者 又は大手収集運搬事業者 (Ramky グループ、Sahas Zero Waste 等) に個別委託	有り (dry/wet)	1,500~2,000 Rs/ 月 (量と回収頻度により 変動)

(3) 廃棄物中継施設

① 施設概要

中継施設はハイデラバード市内に 38 カ所立地している。このうち、比較的規模の大きい施設は 17 カ所であり、規模が大きく且つプラスチックの選別・回収を実施している施設は 3 カ所にとどまる。

プラスチックの回収はウェストピッカーが施設へ持ち込まれた廃棄物の中からプラスチックを選別・回収し、これを ReSL 社が買い取ったうえで、分別や圧縮処理を行い、ラムキーグループ内各社、もしくは外部の事業者販売している。

ReSL 社が販売（供給）する廃プラスチックは、70~80%は上記のようなウェストピッカーから購入しており、これには、行政の雇用対策の意図がある。

一部は ReSL 社のスタッフが分別しており、異物の除去は、目視の手選別や機械の重力選別による。

プラスチックは、PET(白色、緑色)、PP、PE、PVC、ABS に選別されており、すべて目視での対応であった（施設管理者がウェストピッカーに対して樹脂別の見分け方を指導）。ただし PE や PS などのその他樹脂に係る仮置きスペースは見受けられなかった。

プラスチックのうち、ペットボトルの選別・回収量は 130~150kg/日程度であり、自社ではリサイクルしていない。その理由として、ペットボトルリサイクルは競合（インドでは Reliance Industries Limited が最大）が多いためである。

質の良い PP や HDPE は、グループ会社へ売却され、ペレットや医療廃棄物の廃棄袋に加工される。グループ外向けに販売しているものは、ペンキの容器などに再生されている。

写真 3-1 Amberpet 中継施設 (TS)



施設外観



ウェストピッカーによる分別



廃棄物の状況



中継施設の積み替え設備



積み替え後の輸送車両



手作業での分別状況

(4) 廃棄物中間処理のフロー

廃棄物処理フローを下図に示す。

最終処分される量は搬入量の 17% 未満で調整されている。

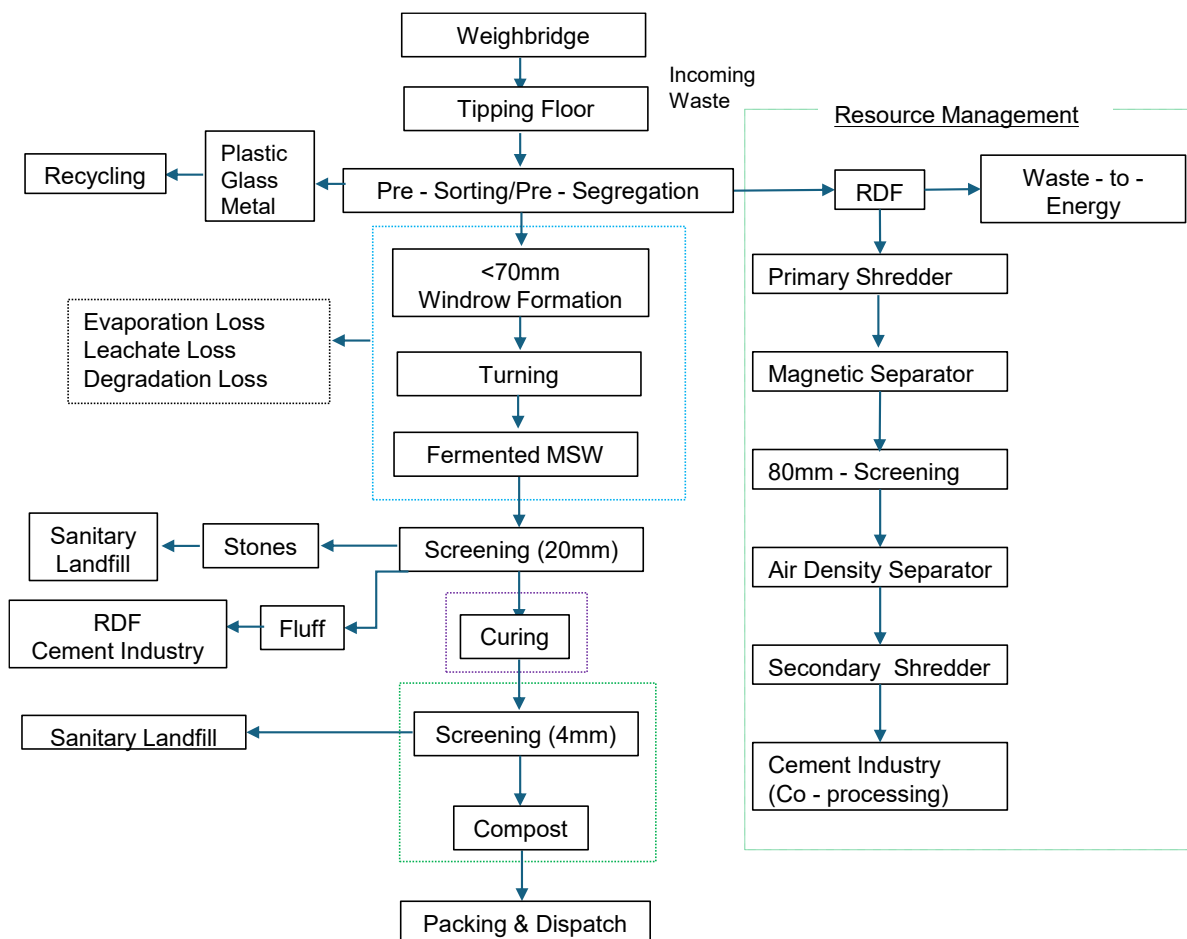


図 3-7 Jawahar Nagar における廃棄物処理フロー¹¹

- 8,000 トンの混合ごみを 70 mm のトロンメルで分離する。
- 70mm 以上の廃棄物（主にココナッツシェルや布、プラスチック類）は焼却される（一部セメント原燃料として使用）。
- 70mm 未満の廃棄物は、20mm のトロンメルにかけられ、20 mm 以上 70 mm 以下のものは、RDF としてセメント会社に販売している（最寄りのセメントプラントまでの距離は 150km 程度）。20mm 以下のものは基本的に有機物であり、メッシュ通過後積上げられ、28 日の発酵期間を経てたい肥化される。

¹¹ ReSL 社提供資料をもとにエックス都市研究所作成

このトロンメル（70 mm メッシュ、20 mm メッシュ）での分別施設は場内に 3 か所設置されているが、トロンメルが故障、管理者の不在などで施設が止まっていることも多く、処理容量を超えた廃棄物は埋立処分されている。

(5)一般廃棄物関連施設

GHMC との廃棄物処理に対する契約期間は 2012 年から 2037 年までの 25 年間になっているが、当初はリサイクルのみを行っていた。廃棄物の二次収集、中継施設の運営を始めたのは最近である。

ReSL 社ではメンテナンス費用などにかかなりの投資をしているため、プラス 15 年の契約延長について協議中である。特に、2017 年から開始した WtE（廃棄物発電、以下、WtE という）のコストが大きい。

施設 1：生ごみコンポスト化施設

- ・処理方式は基本的には Windrow 式でコンポスト化をしており、攪拌は重機を使用している。
- ・有機物（生ごみ、剪定枝）は 4,000 トン/日程度発生している。
- ・そのうち、20mm メッシュ以下のものをコンポスト資源として発酵・熟成させており（28 日間）、発酵・熟成後 4mm メッシュでふるってパッキングを行い出荷している。
- ・たい肥成分は、窒素・リン酸・カリウムがそれぞれ最低 1.2%含有、CN 比は 20 以下と表記されており、シティコンポストとして販売されている。

施設 2：プラスチックリサイクル施設

- 中継施設等で分別されたプラスチックは、ペレットや医療廃棄物のごみ袋として再生している。このごみ袋は医療施設などの排出者に販売し、その袋を使用する排出者からの廃棄物を処理している。
- プラスチックは、ウェストピッカーが分別したものを買い取っている。
- 廃プラスチックのペレット化に使用される機器はストランド方式（ダイスから出てきた熔融樹脂を水槽で冷やしてカットする昔ながらの手法）で、低価格帯の機器と考えられ、品質は低いと考えられる（ペレットの大きさが均質でない、製造中に汚れが付着しやすいなど）。

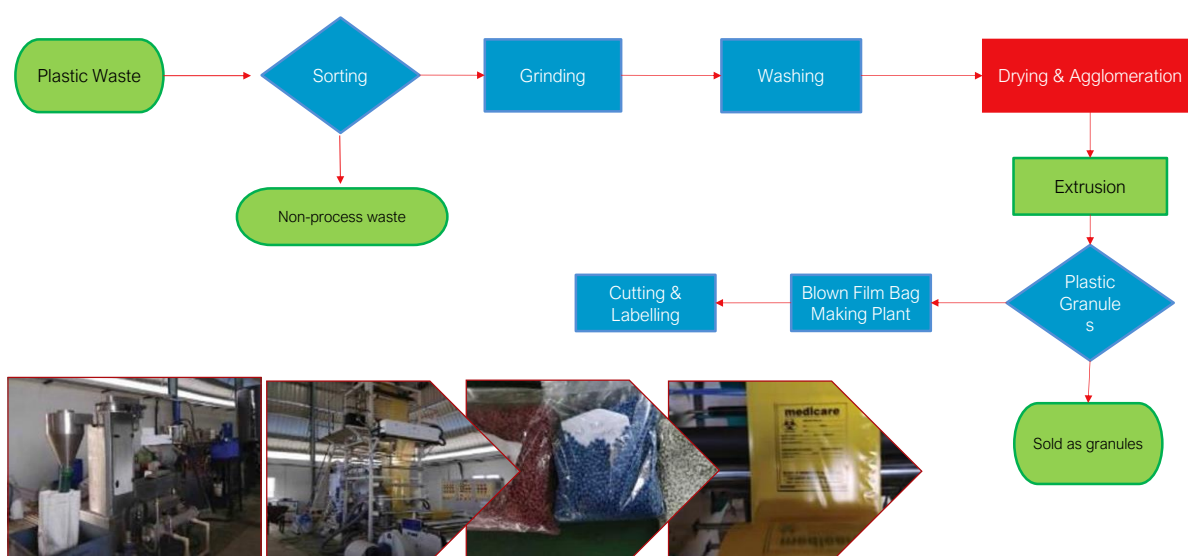


図 3-8 プラスチックリサイクルフロー¹²

出典：ReSL 社提供資料

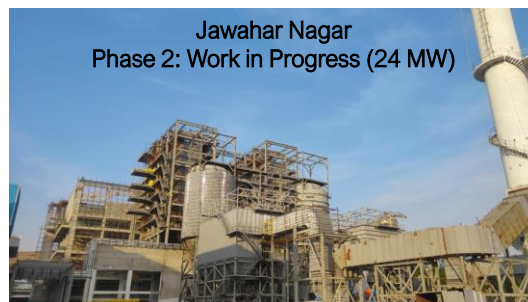
施設 3：RDF

- 廃棄物をトロンメルでふるい、おおよそ 50mm 前後の可燃物がセメント燃料として販売されている。日本の RDF のイメージと異なり、固形化はされていない。
- 1,000 トンの廃棄物のインプットに対しておおよそ 500 トンの廃棄物がセメント燃料として出荷されている。残りの 500 トンは WtE で処理される。
- カロリーは 50mm メッシュ以下のもので 3,000～3,500kcal である。
- 価格は、①石炭価格、②輸送価格等の兼合いで四半期に一度の調整がされており、①や②をどの程度反映させるかは、政府の方針により決まる。

¹² ReSL 社提供資料

施設 4 : W t E 施設

- Jawahar Nagar の WtE 施設は昨年度まで 600 トン/日×2 基であったが、2025 年 11 月に同じ処理規模の WtE が運転を開始している。このため、同施設での処理量は 2,400 トン/日であり、発電容量は合計 48MW となった。
 - 低位発熱量は 1,450 kcal/kg、水分は 25~30 %。
 - タービンは 2 機設置されており、発電効率は約 7 %。7.8 Rs/kWh で売電。
 - 主灰は埋立、飛灰は有害廃棄物として適正処理。



Capacity of the Plant	2 * 600 TPD (24 MW)
No. of Boilers :	2
No. of Turbo Generators:	1
Steam temperature :	410 ± 5 deg. C
Steam pressure :	46 Kg/ sq.cm
Condenser :	Air Cooled Condenser
Flue Gas Treatment System	Semidry Flue Gas Treatment System with Lime and Activated Carbon injection followed by Bag filters

Capacity of the Plant	2 * 600 TPD (24 MW)
No. of Boilers :	2
No. of Turbo Generators:	1
Steam temperature :	410 ± 5 deg. C
Steam pressure :	46 Kg/ sq.cm
Condenser :	Air Cooled Condenser
Flue Gas Treatment System	Semidry Flue Gas Treatment System with Lime and Activated Carbon injection followed by Bag filters

図 3-9 WtE の概要¹³

施設 5 : 埋立処分場からのバイオガス回収 (メタン)

- 有機廃棄物のバイオガス化は今後、実施が予定されているが、現在、これまで埋立を実施してきた処分場 (インドではレガシーウェストと呼ばれる) から発生するメタンを、イギリスの技術により 2021 年にキャッピングを行い回収している。
- メタンガスは、日量 6 トン発生しており、過去、生ごみを直接埋立していた頃に含まれていた有機物が主な発生源と考えられる。
- メタンガスの濃度は 45%程度であるため、90%程度まで圧縮している。
- 圧縮されたバイオガスは、Bhagyanagar Gas Limited 社に販売される。
- メタンガスは、現在ところ発生し続けており、2030 年がピーク、2037 年くらいまで発生し続けるのではないかと考えている。

¹³ ReSL 社提供資料



図 3-10 閉鎖した最終処分場（メタンガス回収中）

施設 6：埋立処分場の残余容量及び廃水処理等

- ・ 処分場の敷地 404 エーカー（もともとは 339 エーカーであったが、その後 65 エーカーを追加）で、残余面積は 12 エーカーのみである。
- ・ 浸出水は新たな処理プロセスにより適正に処理され、発生する汚泥は WtE で燃料として焼却されている。



最終処分場（遠景）



最終処分場（近景）

3.1.5 産業系廃棄物の状況

インドには産業廃棄物/一般廃棄物の区分が存在しない。本調査では、日量 100 kg 以上の事業所等から発生する廃棄物を産業系廃棄物とし、排出・処理状況について現地調査を実施した。

現地調査については、生鮮市場 4 カ所、社員食堂 1 カ所、ショッピングモール 1 カ所、レストラン 1 カ所の計 7 カ所を対象とした。

調査の結果を下表に示す。一部のサイトでは分別ルールが存在していたものの、浸透しておらず実質的には Waste Picker が分別の役割を担っている状況が確認された。また、Waste Picker は資源物のみを回収しており、良質な有機廃棄物については他の廃棄物と混合されたまま処理されるか、不法投棄されていたことが確認された。

表 3-2 産業系廃棄物の排出・処理状況の概要

排出源	排出・処理状況
生鮮市場（野菜、魚介類、肉類）	<ul style="list-style-type: none"> ・良質な有機廃棄物が多く排出されるものの発生源では分別されておらず、Waste Picker により有価物のみ回収されていた ・一部の生鮮市場（ごみ排出量：約 15t/日）では、バイオガスプラントが設置されていた。プラントから発生する消化汚泥は排水口に廃棄されており、他の不法投棄物と混ざっていた
社員食堂	<ul style="list-style-type: none"> ・分別はされておらず、食べ残しは家畜の餌になるか他の廃棄物と混合された状態で排出されていた ・排出された廃棄物は、GHMC 以外の第三者の業者により回収されていた。
ショッピングモール（モール内の飲食店）	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的にはまとまった量の資源物（dry waste）は発生しない。 ・モール内の飲食店では分別ルール（調理残さ、食べ残し、廃食用油等）が存在したものの分別されておらず、一部は排水口に排出されていた
レストラン	<ul style="list-style-type: none"> ・食品廃棄物、廃食用油の排出量が多い ・分別されておらず、一部は排水口に排出されていた
工場	<ul style="list-style-type: none"> ・工場には 100～130 人の従業員が働いており、染料や金属を用いる電子部品を生産していた。 ・生産工程では、高濃度の強酸性/強アルカリ性スラリーが発生するため、州外の処理事業者に処理を委託していた。 ・処理費用は従量制であり、pH が極端に低い又は高い場合は、追加費用が発生する契約となっていた。そのため、排出事業者は場内に簡易的なろ過装置や検査機器を備え、ろ過処理後の液体廃棄物について検査を行っていた。 ・pH が一定程度中和が確認された液体は、工場内で再利用されていた。 ・pH が極端に低い又は高い液体はドラム缶に保管し、一定量に達した段階で処理事業者に引き渡していた。 ・ろ過工程で発生する固形廃棄物の処理方法については確認できなかった。



魚介類・野菜市場（常設）



野菜市場（週1開催）



市場に設置されたバイオガスプラント



消化汚泥の排出先



Waste Picker による資源物回収



有機廃棄物（液体）を保管しているドラム缶（工場）

4. 廃棄物資源化調査

4.1 下水汚泥燃料化調査

4.1.1 インドにおける下水汚泥の概況

(1) インドの都市化と汚水処理状況

インドの都市化は急速に進行しており、2036年までに人口の40%（約6億人）が都市部に居住し、GDPの約70%を生み出すと予測されている。このような状況に伴い、各都市では都市排水が増加しており、インドは下水処理能力を強化するため下水処理施設や下水道管渠などのインフラ整備を行っているが、下水処理施設等の整備が進む一方で、下水処理過程で副産物として生じる下水汚泥の適切な管理が課題となっている。

(2) 下水汚泥に関するルール

インドの下水処理は、CPCBによって排水基準が設定されているが、下水汚泥の処理に関しては明確な基準や管理方法が定められていない。

また、基準がないため下水汚泥に関する基本情報（発生量、処理方法、性状等）が十分把握されていない。インド国内の下水汚泥は適正処理や活用方法などの情報が未整備であり、現状では、不適切な投棄も散見される。

下水道事業は、水省（MoJS : Ministry of Jal Shakti）と住宅・都市開発省（MoHUA : Ministry of Housing and Urban Affairs）の2つの省庁が管理しており両省はそれぞれの政策に基づき、州政府・地方自治体（Urban Local Bodies: ULBs）が進める下水道事業に対して資金・技術的な支援を行う。

また、下水汚泥に関しては、水省・国家河川保全局（NRCD : National River Conservation Directorate）が汚泥管理に関するガイドライン策定を行うことが計画されている。

4.1.2 テランガナ州における下水汚泥の排出・処理状況

(1) テランガナ州の下水処理施設整備状況

ハイデラバード市内には下水処理施設が整備されておらず、生活排水は直接市内を流れる Musi 川へ流入している。同市への人口増加により Musi 川の水質汚染が進行しており、ハイデラバード市都市圏上下水道局（HMWSSB: Hyderabad Metropolitan Water Supply & Sewage Board）がこの汚染を抑制するための下水処理施設の整備を進めている。現在、合計 1259.50MLD（100 万 L/Day）の処理能力を持つ 31 の新しい下水処理施設の建設が開始されている。

これらの下水処理施設のうち 3 か所が Ramky Infrastructure 社により建設・運営されており、汚泥の処理においても同社に委託されている。

同社が管理する下水処理施設の位置については下図のとおり。

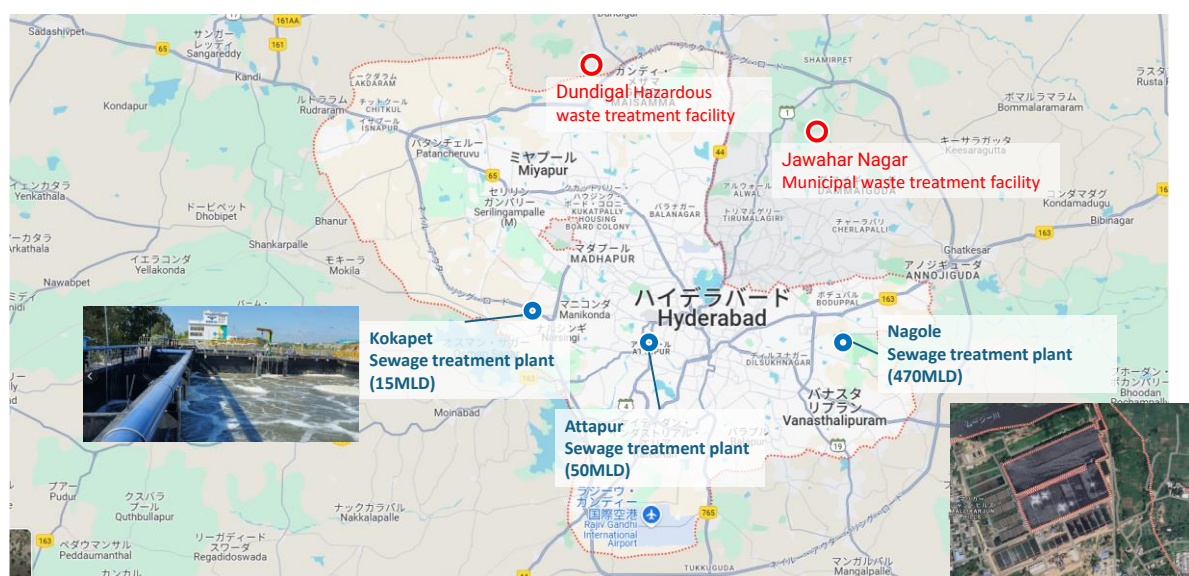


図 4-1 ハイデラバード市内の Ramky 社の管理する下水処理施設

(2) 施設概要等

Nagole 及び Kokapet 下水処理施設について、Ramky 社へヒアリングを行った。なお、ハイデラバード市内の下水処理の現状は、わが国で一般的であるそれと異なる。すなわち、家庭や工場の汚水が地下の下水管で集められ、下水処理場へ集約される仕組みではなく、ここでの汚水は一旦、河川の支流や本流に流れ込んだ後に、その河川水を一部下水処理設備に引き込み、浄化して再び河川に放流するシステムである。したがって、汚水全量は処理できておらず、雨季はかなり雨水が流れ込み、効率が低下することが想像される。

【Nagole 下水処理施設】

① 概要

施設の建設・運営は Ramky Infrastructure 社が BOT 方式で実施。

既存の処理施設（170MLD : Megaliters per day）がすでに稼働しているところ、追加で 320MLD 規模の当下水処理施設が建設されている。

当下水処理施設は国内でも最大級の設備と言われており、サイトの面積は約 15 エーカーとなる。

既存の処理施設は回分式活性汚泥法（SBR : Sequencing Batch Reactor）を採用しているが、新規施設は上向流嫌気性汚泥ろ床法（UASBR : Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor）を採用している。

UASB 方式の特徴として、反応槽からメタンガスや CO₂ が副産物として発生するが、ガス回収は行われておらず、放出されている状態である。

既存の 170MLD の施設には消化槽（汚泥のバイオガス槽）があり、J-COMBI を設置できそうな余剰の土地もある。

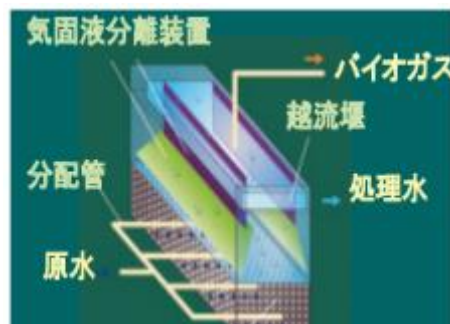
ペレットは近隣にあるセメント会社が非常に高く買ってくれる。

流量のコントロールはされていないため、雨季と乾季、降雨時等により負荷量の差が激しいと考えられる。

BOD 値は流入時の 180~220 mg/L が、処理後は 10 mg/L 未満となる。

UASB 上向流嫌気性汚泥ろ床法

嫌気性微生物の集塊作用を利用して活性の高い菌体をグラニュール（直径 2~3 mm の粒状汚泥）として反応槽に大量に保持する方法で、反応槽の下部から廃水を注入して嫌気状態で廃水中の有機物を分解させるものである。通常の嫌気性処理に比べて高速の処理が可能で、曝気を必要としないためわずかな電力で運転でき、副産物として大量のメタンガスを生成する。反応槽内部に入った廃水は、下部に沈殿しているグラニュールの層に均一に拡散され、有機物はメタンガスや二酸化炭素などに分解されます。ガスを表面に付けたグラニュールはエアリフト効果で処理水とともに浮上していき、上部に取り付けられたセトラーによってガスを捕集するとともに、処理水とグラニュールを分離してきれいな水だけを取り出すという仕組みである。



出典：日本下水道新技術機構

② 汚泥の発生状況

170MLD の施設は SBR 方式であるため、汚泥を消化タンクに送りメタンガスを捕集している。その汚泥は場内の空き地に排出されており、現在は使用されていない。(初期沈殿池の汚泥は農家などに譲渡している)

330MLD の施設は、汚泥を将来的に回収する予定であるが、現時点ではその施設が建設中であり、汚泥はすべて反応槽に返送されている。

汚泥は、施設全体で 1 日約 70 トン発生すると推計されている。

③ 汚泥の成分分析

汚泥の成分分析を行った結果は以下のとおりである。

日本国内の汚泥の熱量は 4,000 kcal 程度あることと比較すると、熱量は低い。また、灰分が多くなっている。(日本国内では 20%程度が多い)

表 4-1 Nagole 下水処理施設の汚泥成分分析結果

分析項目	単位	結果
水分	wt%	75.6
揮発分	dry wt%	44.2
固定炭素	dry wt%	8.8
灰分	dry wt%	47.0
高位発熱量	dry kJ/kg	11,150(2,665kcal)
低位発熱量	dry kJ/kg	10,330(2,469kcal)
C	dry wt%	28.4
H	dry wt%	3.6
N	dry wt%	2.7
O	dry wt%	20.3
T-S (全硫黄)	dry wt%	1.0
T-C L (総残留塩素)	dry wt%	0.09

出典：当社調べ



施設全景



河川水流入口



廃棄物スクリーニング
(プラスチック類除去)



放流口



汚泥排出口 (現状このまま放置、天日干し)



乾燥汚泥

【Kokapet 下水処理施設】

① 概要

コカペット下水処理場（STP）はハイデラバードにある1日あたり1,500万リットルの生産能力を持つ施設である。

この施設は、回分式活性汚泥法（SBR: Sequencing Batch Reactor）を採用しており、2023年に6億6千万ルピーの費用をかけて建設されている。

Kokapetの下水処理施設の処理フローは以下のとおりである。

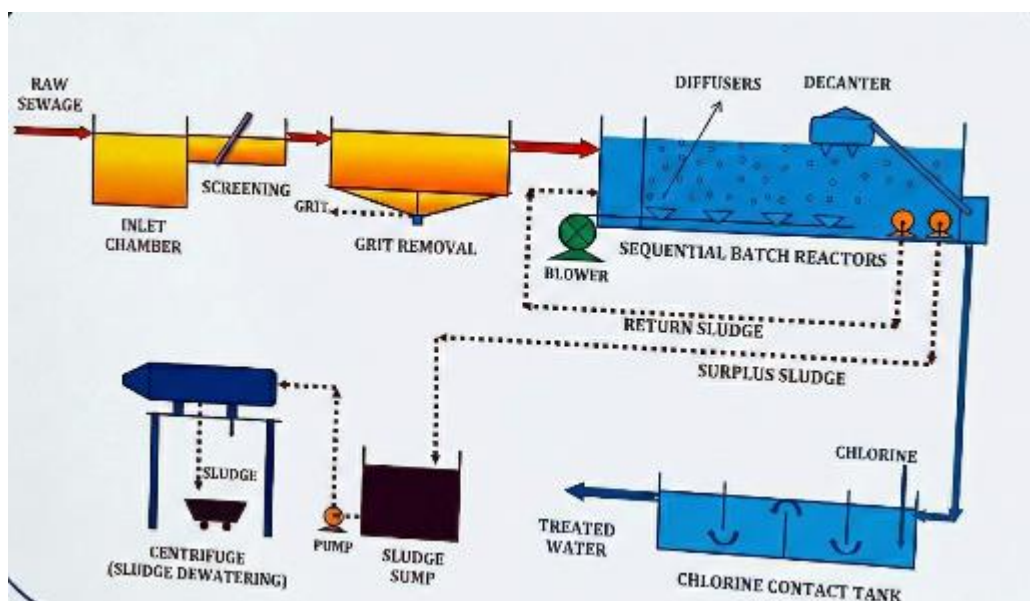


図 4-2 Kokapet 下水処理施設処理フロー

② 汚泥の発生状況

汚泥は日量3トン程度発生している。

現在は、時々農業使用のために外部搬出しているが、多くは敷地内に投棄されている状況である。

汚泥は遠心分離機で脱水されているということであるが、見た感じは水分がかなり多い印象がある。

③ 汚泥の成分

Kokapet 下水処理施設の汚泥の成分分析を行った結果は下表のとおりである。

Nagole 下水処理施設よりもさらに熱量が低い。また、一般的に熱量が低い場合は灰分が多くなる傾向にあるが、当分析結果では灰分が少ないことがやや不可解である。

表 4-2 Kokapet 下水処理施設の汚泥成分分析結果



Sustainability

Test Report No: HWMP/AFR/25-028

Page 2 of 2

TEST RESULTS

S.No	Parameters	Units	Methods	Results	Std. for Energy Recovery / AFRF
1	pH at 25.0°C	-	USEPA 1995,SW-846,9045 C:1998	7.51	4 to 12
2	Moisture Content by KF	%	HWMP/ LAB/SOP/278:2018	78.40	---
3	Loss on Ignition at 550°C	%	HWMP/SOP/LAB 280:2018	35.69	---
4	Ash content	%	HWMP/ LAB/SOP/496:2024	13.10	Liquid: <5% Solid: <20%
5	Flash Point	°C	USEPA 1998,SW-846:1020 A:1998	>60	>60°C
6	Gross Calorific Value (On dry basis)	Cal/gm	HWMP/SOP/LAB/276:2024	1700	>2500
7	Net Calorific Value (On dry basis)	Cal/gm	HWMP/SOP/LAB/276:2024	959.8	>2500
12.	Total Carbon as C	%	HWMP/ LAB/SOP/221A	5.42	---
13.	Total Hydrogen as H	%	HWMP/ LAB/SOP/221A	8.08	---
14.	Total Nitrogen as N	%	HWMP/ LAB/SOP/221A	1.42	---
15.	Total Sulfur as S	%	HWMP/ LAB/SOP/221A	<0.5	<1.5
9	Total Chlorides as Cl-	%	HWMP/LAB/SOP/287:2018	0.05	<1.5
11	Halogens as Fluoride	%	HWMP/LAB/SOP/387:2023	<0.1	<1%
12	Halogens as Bromide	%	HWMP/LAB/SOP/494:2024	<0.1	
13	Halogens as Iodide	%	HWMP/LAB/SOP/495:2024	<0.1	
14	Mercury as Hg	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	<1.0	<10
15	Cadmium as Cd	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	<1.0	<100
16	Thallium as Tl	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	3.18	
17	Arsenic as As	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	5.64	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> 参考 日本汚泥肥料の重 金属基準 As 50ppm Cd 5ppm Hg 2ppm Ni 300ppm Cr 500ppm Pb 100ppm </div>
18	Cobalt as Co	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	6.83	
19	Nickel as Ni	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	18.68	
20	Selenium as Se	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	1.14	
21	Total Chromium as Cr	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	30.45	
22	Lead as Pb	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998	65.15	
23	Vanadium as V	PPM	USEPA 1998 ,SW-846,6010 B:1998C	<1.0	
24	Poly Chlorinated Biphenyls (PCBs)	PPM	HWMP/LAB/SOP/353	ND	<5.0

ND: Not Detected


 Verified by
 K. Ravi Kumar
 Technical Manager


 Authorized Signatory
 Y. Swathi
 Quality Manager



施設全景



施設全景



汚泥



脱水後汚泥 1



脱水後汚泥 2



塩素投入槽

4.1.3 汚泥固形燃料化システム J-COMBI の概要

(1) J-COMBI の設備概要

J-COMBI システムは有機性脱水汚泥を、球形状の造粒乾燥物（乾燥ペレット）として固形燃料化する装置である。概略フローを下図に示す。

本システムは二軸ミキサで脱水汚泥と循環造粒乾燥汚泥を混合・混練することで造粒を行う「造粒プロセス」と、乾燥ドラム（回転数約 10rpm）内で約 400℃の熱風により乾燥される「乾燥プロセス」で構成される。

造粒乾燥の工程を経た汚泥は分級機により分級され、所定のサイズを製品である乾燥ペレットとして排出し、その他は循環乾燥汚泥として「造粒プロセス」に戻される。乾燥ガスは熱交換器で加熱されて循環するが、蒸発水相当量がコンデンサに引き抜かれ、水冷却により水分を凝縮除湿後、残ガスは熱風発生炉に送られ燃焼脱臭される。

【J-COMBI の特徴】

- 乾燥ガスは閉回路を負圧で循環するため、熱損失を抑制すると同時に、臭気や粉塵を外部に放出しない
- 対象汚泥は消化、未消化を選ばない
- 助剤、添加剤等を必要とせずに造粒が可能
- 運転操作や保守が容易かつ安全性が高い
 - ・設備構成がシンプル（炉は1つ）
 - ・運転の立上・立下が速い
- 消化ガスや木チップ等を燃料として利用することも可能



図 4-3 汚泥固形燃料化システムの地産地消モデルイメージ

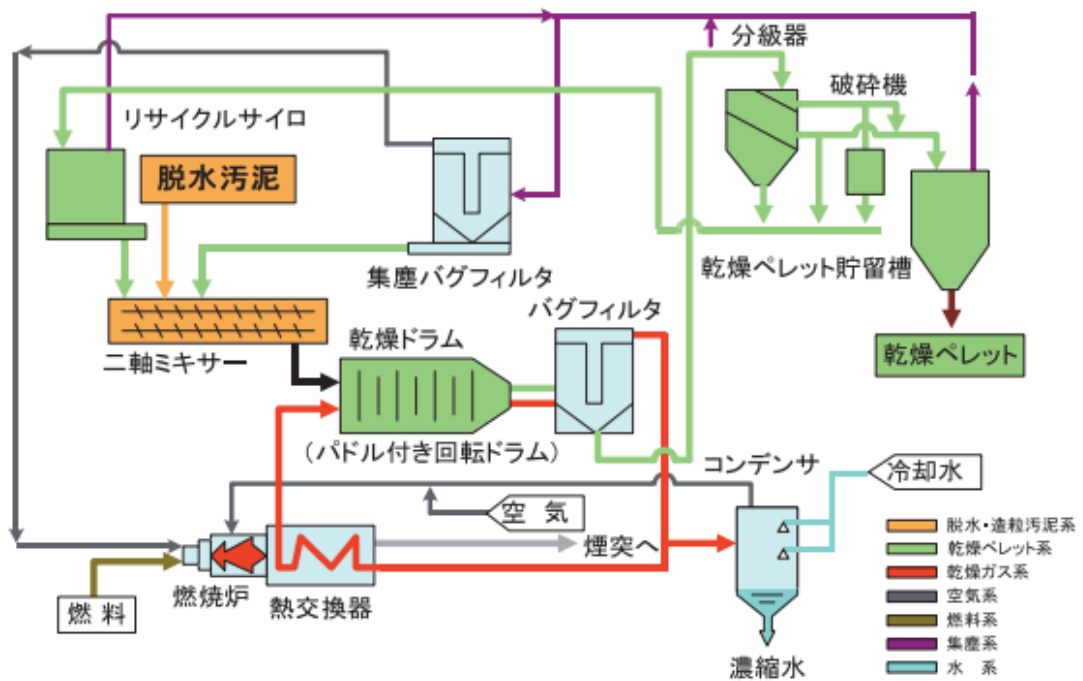



図 4-4 J-COMBI システムの概略フロー図¹⁴

(2) J-COMBI で製造する固形燃料の特徴

固形燃料の特徴は下図のとおり。

- 汚泥の有する発熱量を殆ど損なうことなく燃料化物として回収可能
- ハンドリング性が良好
 - ・ 直径 1 ～ 5mm 程度の球形
 - ・ 粉塵が少ない
 - ・ 硬く型崩れしないため空気搬送が容易
- 貯蔵が容易（自己発熱性が低い）
- 含水率は 10% 以下で安定しており水に濡れても元の汚泥には戻らず安定



造粒イメージ

循環造粒乾燥物を核に脱水汚泥を積層させ造粒します

1 周目



循環造粒乾燥物(核)

2 周目



脱水汚泥を積層

3 周目



4 周目



図 4-5 J-COMBI で製造する固形燃料の特徴

固形燃料の熱量は、石炭の熱量と比較し 2/3 程度である。（日本の場合）

¹⁴ 新日鉄エンジニアリング技報（Nippon Steel Engineering Co., Ltd Technical Review）

表 4-3 一般的な石炭・石炭製品の熱量¹⁵

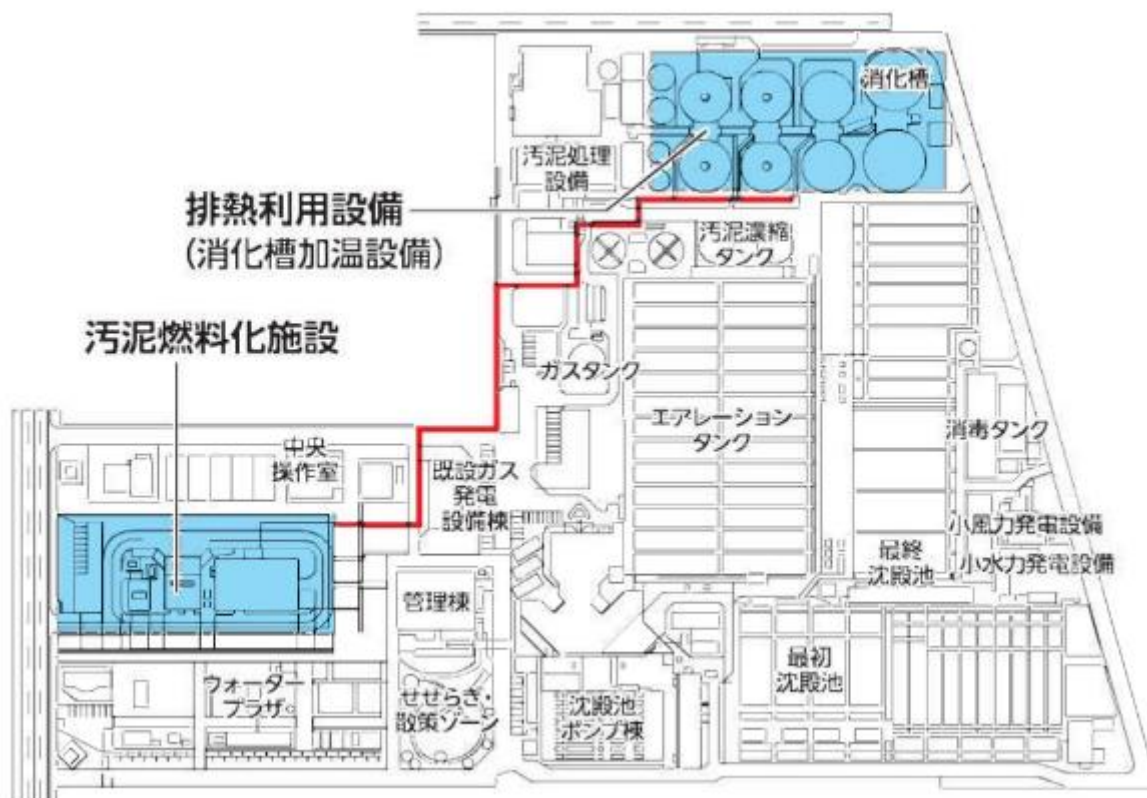
輸入一般炭	輸入無煙炭	コークス	汚泥燃料
6,203 kcal	6,642 kcal	6,971 kcal	3,500~4,500 kcal

(3) 汚泥燃料の課題

一方で、当システムに限らず汚泥燃料の課題としては、水分の多い汚泥の乾燥・処理にかかるエネルギー消費量が増え、コストが高額になりがちである。また、石炭に比べると品質（成分）が安定しないことが挙げられる。

この課題に対応するため、日本では下水処理施設に設置している消化ガスを活用し、汚泥由来のメタンをシステムに導入することで、ガス燃料由来の燃焼による二酸化炭素の削減及びコストの削減を図っている。（日明汚泥燃料化施設の事例）

また、本件においては、インドの下水処理場由来の汚泥が、河川水を処理していることから無機成分が多く、燃料としてのカロリーが低いことも課題の一つである。



※消化槽のガスを汚泥燃料化施設で利用、また汚泥燃料化施設の余熱を消化槽へ送り加温

図 4-6 日明汚泥燃料化施設の事例

¹⁵ 資源エネルギー庁資料をもとにエクス都市研究所作成

4.1.4 汚泥燃料のニーズ調査

(1)関係者ヒアリング

汚泥の利用について、現在の状況やニーズを把握するために、下記の団体にヒアリングを行った。なお、当調査の一部は経産省グローバルサウス共未来志向型共創等事業費補助金を使用して調査されたものである。

(2)調査先一覧

調査のため訪問した組織・団体は下表のとおりである。

表 4-4 訪問先一覧

分類	訪問先
中央政府	住宅・都市開発省 (MoHUA : Ministry of Housing and Urban Affairs)
	国家河川保全局 (NRCD : National River Conservation Directorate)
地方自治体	ピンプリ・チンチワッド市 (Pimpri-Chinchwad Municipal Corporation)
下水処理業者	NJS : デリー市を中心とする下水処理委託業者
	Ramky Infrastructure : テランガナ州内で下水処理施設の建設運営を実施
政府支援機関	Clean Ganga
大学	インド工科大学 (IIT)
日本側関係者	在インド日本大使館

(3)調査結果

① 住宅都市開発省 (MoHUA)

インドの国土面積の大部分は農村部・森林が占め、都市部は 2%程度。従い、農村地に適したコンポストを推進している。

MoHUA 主導のもとハイレベル委員会が設置され、下水汚泥をコンポストし、土壌改良剤 (Soil Supplement) として活用することやその基準が検討されている。

重金属の問題は認識されているが、農村部では産業排水が極めて限定的で、汚泥中にほぼ重金属が含まれないなど、地域により汚泥の組成に差がある。重金属を含む産業排水は、一般排水と分別して処理する必要がある。

MoHUA では、発電プラントと STP からの処理水のオフテイクに関する議論を実施しており、汚泥ペレットのオフテイクに関するテーマを追加的に議論しうる。

下水・汚泥処理は州政府の管轄であり、州政府への提案も重要である。SPCB が下水処理制度を担当している。

② 国家河川保全局 (NRCD)

インドでは土地の制約から下水処理場も小規模になる傾向がある。十分な下水汚泥発生量の確保が課題。

JICA と NRCD のガイドラインでは、資源回収や資源循環経済に基づく自立性を推奨している。CAPEX や OPEX の試算精度を上げ、政府の負担分をより明確にして打ち込む必要がある。

③ ピンプリ・チンチワッド市

PCMC では汚泥管理のための中央処理施設（汚泥センター）を整備しようとしており、複数の下水処理場から汚泥を回収し、処理する設備を検討している。すでに Maharashtra Pollution Control Board (MPCB) と協議中。

CAPEX の低減に向けて Urban Challenge Fund の活用を推奨。地方自治体 (ULB) が申請者であり、州政府の承認を経て、中央政府 (MoHUA 主管) が審査する。

新規公共事業を立ち上げる際、中央・州政府：ULB の拠出割合として 50:50、60:40 などのパターンがあり、民間企業を入れて 30:30:40 の場合もある。

PCMC から 90t/day 規模の設備を導入したい、とのコメントを受領。

④ NJS : デリー市を中心とする下水処理委託業者

デリーでは 4,000MLD の下水、1,200t/day の汚泥が発生しているが、デリー市内に埋立処分場が存在しない。コンポストプラントは 2 か所あるが、基準値以上の重金属も検出されるなど、品質管理ができていない。都市ごとに異なる利活用技術が必要である。

デリーの下水処理場は主に活性汚泥法で下水処理を行い、汚泥の嫌気性消化も実施している。

デリー東部に 150~200t/day 規模の汚泥焼却処分場（専焼）があるが、主に燃料費が原因で OPEX が高額となり、事業として採算が成り立っていない。CAPEX はどうにかなるが、OPEX は持続性が重要。

デリー水委員会 (Delhi Jal Board) は 10~13 の下水処理プラント（汚泥処理設備を含む）を計画し、EOI（関心表明）を募集している。汚泥処理については、たい肥化、バイオ燃料化、バイオ炭製造などの技術を検討している。

オフテイク確保に向けて、DJB から一定の支援を得られる可能性がある。

⑤ ハイデラバード市都市圏上下水道局 (HMWSSB)

現状ハイデラバードでは下水処理場から発生する汚泥の一部は、地場の業者に堆肥用途として INR685/t にて引き渡している。また、市として汚泥処理に関する規制等はない。

⑥ Clean Ganga

インド全体で重金属を含まない汚泥が 80%、重金属を含む汚泥は 20%程度排出される。20%も決して小さな数字ではないことから、大きな課題ととらえている。

インドは地域や下水処理場ごとに汚泥性状が異なるため、実証に向けた地域・処理場の特定が重要。例えば焼却技術であれば、農地までの輸送費が高額になりコンポストが適さない場所か、重金属汚染がひどく焼却処分しか利活用の選択肢がない場所での導入がありうる。

下水処理場において汚泥処理の役割が追加的に発生することになるため、下水処理量 (MLD) あたりで追加的に発生するコストを算出し、打ち込むとよい。

CPCB が国全体の法規制を作成し、個別具体的なアクションは SPCB が推進している。

汚泥処理は MoHUA が主要な役割を担う組織。ハイレベル委員会を設置し、汚泥利活用基準の検討を進めている。

同委員会では、Clean Ganga 主導で各下水処理場に対する重金属汚染の有無に関する認証制度が検討されており、各 ULB が認証の責任を負う仕組みが検討されている。

⑦ インド工科大学 (IIT)

インドにおける乾燥汚泥のカロリー価値は 2,000kcal 程度。50%のシルト (土) が含まれ、土を除去することでカロリー価値が上がる可能性がある。

燃料 (天然ガス) コストが高額であることは汚泥処理設備の OPEX に限らない課題。代替手段としてバイオガスや低品位石炭、農業残渣・食品ペレットの利用等が議論されている。

コンポストは最も安価であるが、広大な敷地が必要となる点や、肥料管理規則 (FCO) の基準が厳しく利用先が限定されることが課題。

IIT では CPCB からの依頼で汚泥の性状調査をしていたが、調査結果を踏まえ、今後 FCO の基準が厳しすぎるという議論になる可能性がある。

発電所での汚泥ペレット利用は、石炭にも重金属が含まれるため、重金属を含む汚泥ペレット利用が問題というよりは、環境対策に投資するかどうかの問題となる可能性が高い。

⑧ 在インド日本大使館

JICA とインド水省の案件は 2025 年 12 月で終了。インド水省は、今後インド政府内関係者に成果共有を進め、必要に応じフォローアップ、フェーズ 2 が実施される。当該案件との連携が制度提言の方策としてありうる。

インド水省と日本環境省間の協力覚書の中で、足もと本件にはまるテーマはない。

MoHUA が廃棄物処理の一環 (焼却炉での燃料代替) として J-COMBI に関心を持つ可能性がある。日本の国土交通省との都市計画の議論を活用し、制度面での打ち込みを進める可能性もある。

バイオマス燃料利用について、FIT 制度と連携して初めてバイオマス燃料を活用した発電にインセンティブが生まれるため、インドにおける FIT 制度との関係を整理するとよい。

4.1.5 温室効果ガス削減効果

(1) 算出の考え方

セメント製造工場で使用される化石燃料(石炭)の一部を、下水処理場汚泥を原料とするバイオマス固形燃料(以降、汚泥燃料)で代替することとする。

汚泥燃料の原料は、消化ガス回収後の下水汚泥と仮定し、汚泥の直接埋立処分を行うと仮定した場合に発生するメタンガスをカウントしない。また、汚泥燃料化施設は、下水処理場への併設を予定していることから、下水汚泥の汚泥燃料化施設までの運搬に伴うエネルギー排出量はゼロとする。

汚泥燃料化施設で製造したバイオマス固形燃料のセメント工場までの運搬は、化石燃料(石炭)の運搬も同様の工程を伴うため、ここでは相殺することとする。

(2) 排出削減量の算定で考慮すべき温室効果ガス排出量

項目	排出活動	温室効果ガス	説明
ベースライン排出量	セメント工場における化石燃料の使用	CO ₂	セメント工場で化石燃料が消費され、CO ₂ が排出される。
	下水汚泥の埋立によるメタン放出	CH ₄	下水汚泥が未利用のまま埋め立てられ、埋立地で発酵しメタンが大気に放出される。 (※本ケースでは、消化汚泥使用のため計上しない)
汚泥燃料化による排出量	下水汚泥の運搬	CO ₂	下水汚泥をトラック等の車両で運搬する際に化石燃料が消費され、CO ₂ が排出される。(本ケースでは、下水処理場に燃料化施設を併設するため計上しない)
	汚泥固形燃料化処理に必要な燃料(化石燃料)	CO ₂	下水汚泥をバイオマス固形燃料化する際、その製造過程で化石燃料が消費され、化石燃料起源のCO ₂ が排出される。
	汚泥固形燃料化処理に必要な燃料(電力)	CO ₂	下水汚泥をバイオマス固形燃料化する際、その処理過程で電力が消費され、化石燃料起源のCO ₂ が排出される。
	汚泥固形燃料の運搬における化石燃料使用	CO ₂	バイオマス固形燃料化施設で燃料化されたバイオマス固形燃料を、燃料として使用する燃焼施設のあるサイトへトラック等の車両で運搬する際に化石燃料が消費され、CO ₂ が排出される。 (※化石燃料も運搬も代替すると考えここではゼロとする)

(3) 排出削減量の算定

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

$$ER_y = 9,594 \text{ tCO}_2 - 1,561 \text{ tCO}_2 = 8,033 \text{ tCO}_2$$

ER _y	年間の温室効果ガス排出削減量(tCO ₂ /年)
BE _y	ベースラインシナリオでの温室効果ガス排出量(t CO ₂ /年)
PE _y	プロジェクトシナリオでの温室効果ガス排出量(t CO ₂ /年)
PE _{処理,化,y}	下水汚泥燃料化処理及びその周辺関連施設で消費される化石燃料起源の年間 CO ₂ 排出量 (t CO ₂ /年)
PE _{処理,電,y}	下水汚泥燃料化処理及びその周辺関連施設で消費される電力起源の年間 CO ₂ 排出量(t CO ₂ /年)

<算定の前提条件>

PFC _{処理,化,y} 燃焼,化,y	年間汚泥燃料生産量	7,300t/年間
BFC _{処理,化,y} 燃焼,化,y	年間汚泥燃料で代替される石炭量	4,525t/年間 ※項目 4.1 において算定
PFC _{処理,化,y} 処理,化,y	年間の汚泥製造に使用するLNG消費量	11,054 m ³ /年間※ (1トン≒天然ガス 1,220 m ³ = 11,054 ÷ 1,220 = 9.06t) ※R5 年度実績(北九州市日明浄化センター) ※使用するガスの多くに消化ガスを活用するため、消化ガス分は計上されない。インドでも消化ガス使用可能であり同様のシナリオ設定。
CEF _{処理,化,y} 処理,化,y	LNGの CO ₂ 排出係数	2.79t CO ₂ /t
EC _{処理,電,y} 処理,電,y	年間の汚泥製造に使用する電力消費量	1,896.8 MWh ※日明浄化センター実績値
CV _{処理,化,y} 燃焼,化,y	汚泥燃料の熱量	16MJ/kg-wet ※日明浄化センター実績値
CV _{燃焼,化,y} 燃焼,化,y	セメント製造に使用される石炭の熱量	26.1MJ/kg-wet ※資源エネルギー庁「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数一覧表」
EF _{燃焼,化,y} 燃焼,化,y	セメント製造に使用される石炭のCO ₂ 排出係数	2.33 t CO ₂ /t ※環境省「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」
CEF _{電,y} 電,y	インドの電力の CO ₂ 排出係数(tCO ₂ /MWh)	0.81 t CO ₂ /MWh ※インド電力省「CO ₂ Baseline database for the Indian Power Sector」記載の排出係数を使用。
WCF _{処理,化,y} 燃焼,化,y	汚泥燃料の含水率	10% ※日鉄エンジニアリング(株)データ
WCF _{燃焼,化,y} 燃焼,化,y	石炭の含水率	9% ※(独行)石油天然ガス・金属鉱物資源機構資料(瀝青炭、一般炭を想定)

(4) ベースライン排出量の算定

ベースラインシナリオでの温室効果ガス排出量は、下水汚泥の年間製造量と同等熱量の石炭燃焼に伴う温室効果ガス排出量とする。

① 汚泥燃料で代替される化石燃料(石炭)の量

$$BFC_{\text{燃焼,化,y}} = PFC_{\text{燃焼,化,y}} \times ((CV_{\text{燃焼,化,y}}) / (1 - WCF_{\text{燃焼,化,y}})) / ((CV_{\text{燃焼,化,y}}) / (1 - WCF_{\text{燃焼,化,y}}))$$

$$BFC_{\text{燃焼,化,y}} = 7,300t \times ((16 \text{ MJ/kg-wet} / (1 - 0.1)) / ((26.1 \text{ MJ/kg-wet}) / (1 - 0.09)))$$

$$= 4,525t$$

② ベースライン排出量

$$BE_y = BFC_{\text{燃焼,化,y}} \times ((1 - WCF_{\text{燃焼,化,y}}) \times EF_{\text{燃焼,化,y}})$$

$$BE_y = 4,525t \times (1 - 0.09) \times 2.33 \text{ t CO}_2/t$$

$$= 9,594 \text{ t CO}_2$$

(5) プロジェクト排出量の算定

① 汚泥燃料化処理工程における化石燃料消費による排出量の算定

$$PE_y = PE_{\text{処理,化,y}} + PE_{\text{処理,電,y}}$$

$PE_{\text{処理,化,y}}$	下水汚泥燃料化処理及びその周辺関連施設で消費される化石燃料起源の年間 CO_2 排出量 (t CO_2 /年)
$PE_{\text{処理,電,y}}$	下水汚泥燃料化処理及びその周辺関連施設で消費される電力起源の年間 CO_2 排出量 (t CO_2 /年)

$$PE_{\text{処理,化,y}} = PFC_{\text{処理,化,y}} \times CEF_{\text{処理,化,y}}$$

$$PE_{\text{処理,化,y}} = 9.06t \times 2.79t \text{ CO}_2/t$$

$$= 25 \text{ t CO}_2$$

② イオマス固形燃料化処理工程における電力消費によるプロジェクト排出量の算定

$$PE_{\text{処理,電,y}} = EC_{\text{処理,電,y}} \times CEF_{\text{電,y}}$$

$$PE_{\text{処理,電,y}} = 1,896.8 \text{ MWh} \times 0.81 \text{ t CO}_2/\text{MWh}$$

$$= 1,536 \text{ t CO}_2$$

$$PE_y = 25 \text{ t CO}_2 + 1,536 \text{ t CO}_2$$

$$= 1,561 \text{ t CO}_2$$

$$ER_y = 9,594 \text{ t CO}_2 - 1,561 \text{ t CO}_2$$

$$\text{年間の温室効果ガス排出削減量推計値 (tCO}_2/\text{年)} = 8,033 \text{ tCO}_2$$

4.1.6 結果の整理と今後の取組

今年度の結果において、テランガナ州内の下水処理施設から発生する汚泥は既に活用先があり、現時点で汚泥燃料化のニーズは得られなかった。一方で、デリー市やピンプリ・チンチワッド市等、他の自治体で汚泥を直接埋立処分していたり、燃料化等の活用手法を検討している自治体の情報も得られた。これを踏まえ、今後は関心のある上記 2 市を中心に、具体的な案件創出の働きかけを行う。

4.2 固形廃棄物・液体廃棄物のセメント原燃料化調査

4.2.1 調査の目的と方向性

(1) 調査概要

目的：インドにおける産業廃棄物・一般廃棄物由来の代替燃料・原料をセメント会社向けに製造・供給する事業の実現可能性を把握する。

求める成果：法律・規制環境、顧客、パートナー、経済性、立地、環境価値、事業リスクなどの調査を踏まえ、事業実現性の判断ができること

(2) 想定する事業スキーム

インドですでに中間処理業を展開している ReSL 社と協力し、主にセメント会社向けの代替燃料・原料の製造事業を行うことを想定している。

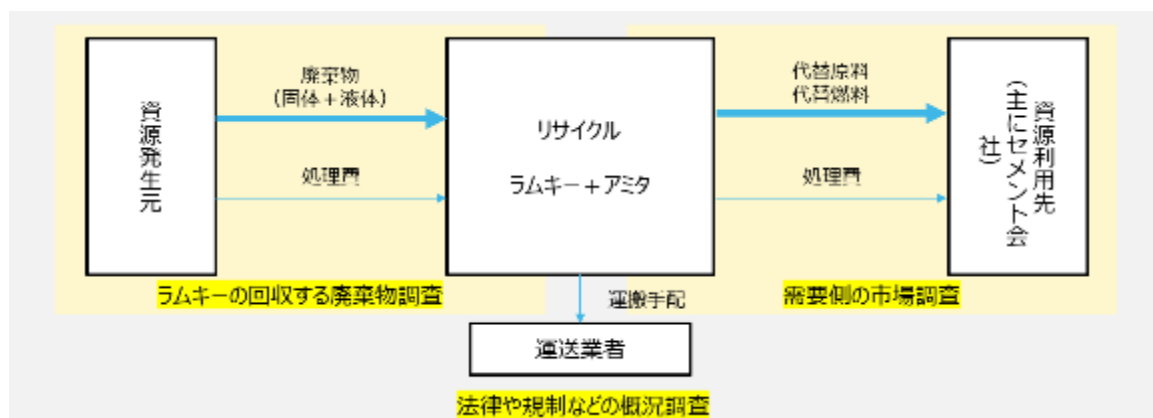


図 4-7 スキーム図

(3) 調査の方向性

需要側となる資源利用先（セメント会社）の代替原燃料として扱う品目、受入基準、保有設備

や課題感について調査を実施した。

4.2.2 調査内容

(1) 代替原料の状況

インドのセメント産業では、代替原料（ARM）は約 8 年前（2015～2017 年頃）から高炉スラグ、フライアッシュ、Red mud 等の廃棄物を原料として取り扱う検討が始まり、現在では既にセメント各社は特定廃棄物をセメントの代替原料として活用している状況である。

排水処理汚泥、焼却灰も直接受入を始めており、品質が悪い物は自社で調合する企業もある。

セメント会社へのヒアリング、または年次報告書から確認できたセメント会社が利用している ARM は以下である。フライアッシュが主要割合の高い原料となっている。

- ・フライアッシュ
- ・鉄鋼スラグ、非鉄金属スラグ（亜鉛・銅スラグ）
- ・アルミニウム産業由来の Red Mud
- ・石灰スラッジ、高炉スラグ微粉末（GGBS）
- ・石膏

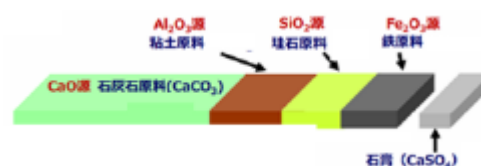


図 4-8 セメントの原料構成

A 社（セメント製造業）によると、セメント原料は石灰石品質が悪いこともあり石灰石の使用割合が 93%と高く、ラテライト 6%と Red Mud、鉄スラグ 1%の構成ということであった。同社では原料に占める ARM の割合はまだ低い。ARM 調達先となる排出元工場が 400 km 圏内と離れているなど長距離調達を行っている。ARM の利用量は拡大していきたい意向はあるが、品質管理、費用対効果等の観点で重視されている。特に品質の良い石灰石代替原料の要望は高い。近隣で採掘される石灰石の品質が悪い（Ca 値が低い）ことから、SiO₂の低い原料のニーズは高いことは確認できた。

代替原燃料の供給事業における処理工場の立地条件としては、代替原料となる産業廃棄物が安定排出される場所（工場）との距離、供給先であるセメント工場との距離も重要となる。ARM の品質要件に関わる周辺石灰石鉱床の品質も考慮する必要があることを再確認した。なおインドにおける比較的品質が良いとされる石灰石鉱床は以下となっている。

1. ラージャスターン州（Aravalli 地域）
2. グジャラート州（Kutch / Banaskantha）
3. マディヤ・プラデーシュ州（Vindhyan Basin）
4. チャッティースガル州（Balodabazar など）
5. 南インド（Kadapa, Guntur, Tandur 等）

(2) 代替燃料の状況

一方、代替燃料（AF）は2020年頃から集荷が加速している。主な利用廃棄物はRDF（40～50%）、バイオマス・農業廃棄物（20～40%）、産業廃棄物（10～20%）であり、セメント工場はこれまで近隣のバイオマス、RDFを中心に自前で前処理含め直接集荷を強化している。タイヤチップや産業廃棄物も有用なAFであるが、排出元となる民間工場（工業団地）とセメント工場との距離が課題となる。また、単品でAFに向く廃棄物対象も限られることから調達優先度の高いAFとは考えられていないことが窺えた。

表 4-5 AFの成分値比較（データはあくまで目安）

パラメーター	RDF（固形燃料）	農業廃棄物	タイヤチップ
含水率（%）	0.60-0.90	0.60-1.05	0.10-0.20
灰分 Ash（%）	30.0-33.0	3.0-5.0	4.0-6.0
固定炭素 Fixed Carbon（%）	16.1-24.4	14.95-24.4	26.8-30.9
低発熱量 NCV（kcal/kg）	2,700-3,300	3,600-4,000	6,200-6,500

出典：INDIAN CEMENT REVIEW

表 4-6 AFの発熱量

AF	発熱量
もみ殻	CV: 3,000cal/kg
おが粉	CV: 3,125cal/kg
間伐材	CV: 3,100cal/kg
コーン芯	CV: 2,900cal/kg
ナッツ殻	CV: 3,100cal/kg
RDF	CV: 2,900cal/kg
カーボンブラック	CV: 5,800cal/kg

出典：A社（Cement）からのヒアリングデータ

セメント会社のAF受入基準は各社公表をしていないため詳細は不明であるが、A社から確認できた受入基準をまとめると下表のとおりであった。塩素値と粒度の基準については、工場側に塩素バイパスや破砕機の導入有無で各社違いが顕著に表れるが、それ以外の成分値については各社概ね同様の値が適用されると考えられる。

表 4-7 A社の受入基準値

	カロリー (kcal/kg)	水分 (%)	塩素 (%)	硫黄 (%)	粒度 (mm)
A社	≥ 3,000kcal	≤ 20%	≤ 0.5%	≤ 1.0%	≤ 60mm

また、RDF とバイオマスはそれぞれ調達上の考慮・検討事項がある。

セメント会社へのヒアリング結果から、両原料の評価（セメント工場としての魅力）は以下との整理となる。セメント各社はこれらを総合的に考慮して、価格安価で供給量が増加していく傾向にある RDF の利用拡大に興味を持っていることが確認できた。

表 4-8 バイオマスと RDF の比較評価

項目	評価	内容
調達価格	バイオマス<RDF	バイオマスは季節変動もあり価格も高騰化、RDF は比較的安価にて安定（約 1/2 重量 t）
品質の安定性	バイオマス>RDF	バイオマスは品質が安定しているが、RDF はグレードや原料により品質差が大きい
調達距離	バイオマス>RDF	RDF は近隣に製造工場が必要で、かつ高品質物を調達するとなると遠方からの調達になる
競争性	バイオマス=RDF	バイオマスはセメント各社が早期利用を進めていたこともあり、新規調達の難易度は高い RDF は今後セメント会社が調達量を拡大していくことから競争となることが予想される
供給量の安定性	バイオマス<RDF	都市ごみの増加、環境面での社会価値の変化により RDF 供給量は将来的に増加が予想される
総合	バイオマス<RDF	調達価格が比較的安価で、供給量の増加が期待される RDF の利用拡大に興味・関心が高い。

(3) 保有設備

ラムキーの本社があるハイデラバードは製薬産業が集積しており、廃棄物の塩素値が概ね高いことからセメント工場が受入するにはプラントに塩素バイパス設備が導入されている必要がある。しかし、インドのセメント企業で塩素バイパス設備を導入している工場は少なく、ReSL 社によると唯一 B 社が導入済とのことであった。インドのセメント工場は調合せず直接受入している事例が多いとのことから、塩素値が低いベース原料と調合していくことが今後ソリューションとなると考えられる。一方で塩素による腐食リスクを考慮すると、今後受入量を増やす計画の中で塩素バイパス設備を設置しない工場は受入規格を厳格化することで対応することが推察される。

また、前処理設備としての破碎機の導入は進んでいる。A 社や C 社の工場には破碎機が導入されており、一定程度粒度の大きい廃棄物を受入可能となっている。

インドにおいて塩素バイパス設備がセメント工場に投資される計画は確認できないことから、直近は前提条件として塩素バイパスは導入なしとして事業検討をする必要がある。

(4) 立地の検討

ARM や AF 原料となる産業廃棄物が安定排出される場所に近い立地を進出地とすることが事業収支や供給安定の観点からも前提条件となる。安定排出される場所としては工業団地の存在は欠かせない。インドの主な工業団地は北部、西部、南東部に存在しており、それぞれ集積産業・業種の特徴がある。理想的には、調合が必要となる処理困難な産業廃棄物を排出する石油化学系工場が多い工業団地である。

テランガナ州は IT・デジタル、医薬品、バイオテックのハブとなっていることと、製薬工場の廃棄物は塩素値が高いことが多く、需要側（セメント）工場に塩素対策がないことも懸念材料となり課題が多い。

表 4-9 代表的な工業団地

地域	主な工業団地	集積産業
デリー	グルガオン マネサル ノイダ	自動車・自動車部品 電子機器・家電 IT・ソフトウェア
マハラシュトラ州	プネ工業地域 ナビムンバイ アウランガバード	自動車・二輪車 機械・重工業 医薬品・化学、食品加工
チェンナイ	オラガダム スリペルンブドゥール ホスール	自動車・自動車部品 電子機器 (EMS 含む) 精密機械、電機・家電
グジャラート州	アームダバード周辺 サナンド ダヘジ	化学・石油化学、医薬品 自動車、繊維
テランガナ州	HITEC City ファーマシテイ	IT・デジタルサービス 医薬品 バイオテック

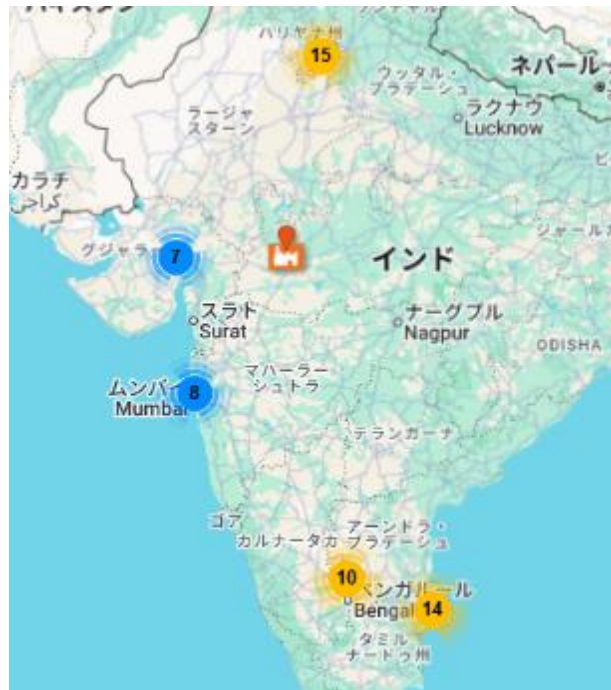


図 4-9 インドの工業団地情報

(出所) 海外工場建設情報プラットフォーム

ReSL 社との協議の中では、具体的な事業地として Hyderabad 近郊の 3 地域が検討候補として上げられた。この中で工業団地に近く、セメント会社数が多い候補地は A 地区である（下

図参照)。しかし候補地は事業採算性や調達・供給安定性の観点で幅広く見定める必要があることから結論化せず、代替地も視野に調査を継続させていく方針となった。

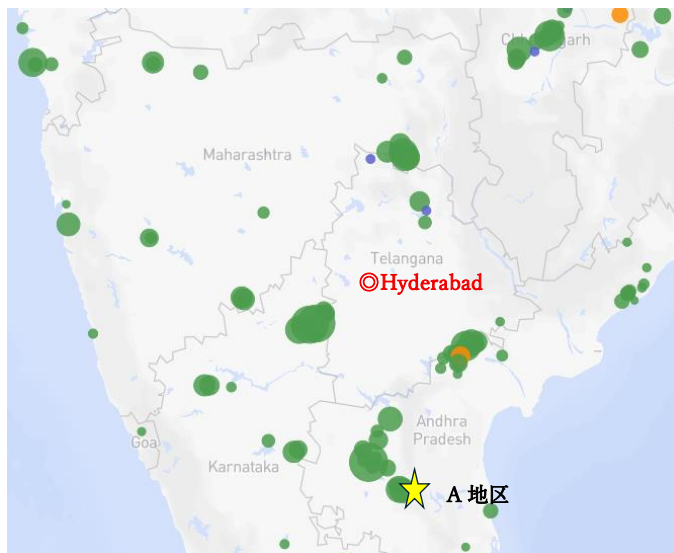


図 4-10 3候補地とセメント工場マップ

(5) ReSL Hyderabad 工場

改めて、固形燃料化施設、液体燃料化施設を詳細見学し現場の課題を確認した。

製造、品質管理上も改善が必要と思われる。将来構想としてはアマタ社が国内で進めるサーキュラー3.0 構想※に興味を頂く。情報管理のシステム化、機械を次年度以降協議したい。

※サーキュラー3.0 構想

- ・発生品の IN/循環資源の OUT の情報を一元管理し、入出荷調整プロセスを効率化・最適化する「入出荷予約システム」
- ・自動制御システムにより循環資源を完全自動・無人で製造する「スマートファクトリー」
- ・最適な資源循環アイデアを導き出す対話型 AI「サーキュラーチャットボット」

4.2.3 今後の実施調査

(1) 立地候補の検討

以上の調査結果から、テランガナ州での本事業の実現可能性について考察を行った。

- ・ハイデラバードは製薬産業が集積しており、発生する廃棄物の塩素値は概ね高い
- ・セメント会社で塩素バイパス設備を投資できている工場が殆どない
- ・AF、ARM の原料を安定的かつ大量に排出する主要工業団地までの距離が遠い

インド初進出の立地は将来の全土での事業展開を左右するため、事業採算性の高いエリアをターゲットとする必要がある。そのため上述の ReSL 社側の候補地 A 地区がアンドラプラデーシュ州であることからテランガナ州外での事業化も模索したい。

候補地選定の条件としては、工業団地で日系管理の工業団地があるか、石油化学系工場の数が多いかの2点を重視する。これらの条件との適合性が高い地域で事業化し、テランガナ州含め事業エリアを拡大させていく戦略についても同意をしている。

(2) ReSL 社との方向性協議結果

インドにおける資源循環プラットフォーム構築計画（2026-2027）

ReSL 社が保有するインド全土の広大な廃棄物データベースと、弊社の知見を融合させた「生成 AI 活用型・資源循環システム」の構築を通じ、2027 年の JV 設立と事業化の確実な実現を目指す。

【2026 年度：事業化に向けた最終実証・詳細設計】 . . . PHASE①

次年度は、事業の不確実性を減らし実行フェーズに移行するための「市場、収益性」の最終調査および設計に注力することとした。

① サーキュラーマテリアル（再生資源）の製品使用精査

インド国内のセメント業界および製造業のニーズを精査し、廃棄物を高付加価値な工業原料へと転換するための品質基準と製品ラインナップを策定。

② デマンド・サプライネットワークの最適化シミュレーション

廃棄物発生元（サプライ）と再資源化拠点、そしてエンドユーザー（デマンド）を繋ぐ物流網を可視化。インド特有の地理的条件に基づいた、効率的かつ持続可能な供給体制の妥当性を検証。

③ 生成 AI を活用した統合管理システムのプロトタイプ開発

上記①（製品レシピ）と②（需給ネットワーク）をリアルタイムにマッチングさせ、最適な資源循環を自動設計する生成 AI ベースのシステム基本設計を目指す。

【2027 年度：事業実行・社会実装フェーズ】 . . . PHASE②

2026 年度の調査・設計成果を基盤とし、物理的なインフラ構築と組織化を実行。

① JV 設立とプラットフォームの本格展開

ReSL 社との JV を正式に発足させ、生成 AI システムによる資源需給マッチング事業を本格稼働。インド全土を対象としたサーキュラーエコノミー・プラットフォームとしてのプレゼンスを確立。

② システム上の設計を物理的な拠点として具現化。

インド最大の産業集積地を戦略的拠点とし、未利用資源を工業原料へと再生する「循環資源製造所」の建設を検討。

(3) 今後の調査内容

インド最大の産業集積（廃棄物排出）地であり最大の廃棄物処理の課題地域において、需要側、供給側の市場調査を行う。主には供給側となる工業団地の日系企業、石油化学工場の排出状況や処理/リサイクル状況の調査を行う。また、需要側となるセメント工場の ARM と AF ニーズと受入基準、代替原燃料化の課題について調査を行い、セメント会社向けの代替燃料・原料の製造事業のインド進出の事業計画を精緻化していく。

【供給側】

- ・ 下図にある約 40 社日系工業の工場を訪問し、産廃の処理/リサイクル状況を調査
- ・ インド最大の産業集積地の産業開発公社から石油化学系工場のリスト取得し、調査訪問
- ・ 日系銀行が新規進出支援する日系企業との情報交換

工業団地名 (英語表記)	サナンド 2 (SANAND 2)	サナンド 3 (コーラジ) (SANAND 3)(Kheraj) <small>※現在は日本企業向けに 国として日本専用区画を設定して いる。</small>	ハロル フェーズ 2 (HALDL PHASE 2)	ハジラ (HAJIRA)	ムンドラ SEZ (MUNDRA SEZ)	ヴァピ (VAPI)	ダヘジ (DAHESI)	サイカ (SAYAKHA)	マンダル (MANDAL)	ジャガディア (JHAGADIA)	ドレラ (DHOLERA)
地上上の番号	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	G-11
所在する州	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート	グジャラート
アクセス方法	アーメダバード市中心部から約35Km	アーメダバード市中心部から約40Km	ハドラー市中心部から約20Km	スーラト市中心部から約20Km	ブージュ空港およびカンドラ空港から約50Km、アーメダバード国際空港から約370Km	ヴァピ駅より約3Km	ハルナー市より約40Km	ハルナー市より約14Km	アーメダバード市中心部から約35Km メサナ市より約57Km	ハルナー市より約23Km	アーメダバード市中心部から約110Km
開発主体	GIDC ※1	GIDC ※1	GIDC	GIDC	アダニグループ	GIDC	GIDC	GIDC	GIDC	GIDC	DICDL ※2
土地価格	4,160ルピー/㎡	4,110ルピー/㎡	2,330ルピー/㎡	4,260ルピー/㎡	3,000 - 5,000ルピー/㎡	5,510ルピー/㎡	2,470ルピー/㎡	2,670ルピー/㎡	フェーズ 2 3,190ルピー/㎡	1,660/㎡	2,750/㎡
現状の進出余地	空きあり(446ha)	空きあり(612ha)	空きあり(82ha)	空きなし	要問合せ	空きなし	空きあり(163ha)	空きあり(33ha)	空きあり(35ha) 日系企業の資本割合51%以上	空きなし	空きあり(3,500ha)
進出済主要日系企業	Hitachi Hi-Rel Power Electronics Mitsui Kinokuni Components India Umicore India Hi-lex India MOSESCO FOC Clutch India Takemoto Yohki India Lumax Industries TRAD Yazaki India JIL NFCO		TOTO (フェーズ1)	L&T - MHPG Boilers	Anupam Mill	Toray Kusumgar Advanced Textile	GIC Fine Chemicals Toyo Ink India Bayer Hitech Zoson Hiruma Steel Services	M A Extrusion India TS Tech (Mandol) Toyota Tsusho India Roku Minda Company Senjo Gases Technology (India) Maraji Kru Industries Topre India Murakami Manufacturing India ASTI India	Reva Proteins Asahi Modc Materials Vitali Caster Polymers		

図 4-11 日系企業が進出している工業団地

※2022年5月 出典：JETRO

【需要側】

- ・産業集積地のセメント会社を訪問し、代替原燃料の状況と要望とニーズ調査を行う。

【事業計画】

- ・需要と供給の調査結果をもとに、事業 FS の精緻化を行う。
- ・代替燃料化に向けた課題を抽出し、解決策について日本側の知見を提供する。
- ・ReSL 社と FS をもとに、JV 設立に関する協議を行う。

4.2.4 事業化による CO₂ 排出量削減効果試算

ここでは、当事業の脱炭素への貢献量を試算した。

産業廃棄物を AF としてセメント製造工程で活用 (Co-processing) することで、化石燃料 (一般炭) の使用を抑制し、産業廃棄物の焼却・埋立を回避するため、大幅な CO₂ 排出削減を期待できる。本時点では化石燃料の使用抑制の効果のみ試算している。

本事業は、数億円の投資 (リサイクル工場) で年間数万 t の二酸化炭素削減効果が見込める。

【試算条件】

- ・輸入一般炭の CO₂ 排出係数： 2.33 kg-CO₂/kg ……①
出所：環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
- ・アミタ AF の CO₂ 排出係数： 1.205 ～ 1.895kg-CO₂/kg ……②
出所：アミタホールディングスによる 2024 年の AF 排出係数
- ・1kg あたりの削減貢献単位： 0.435 ～ 1.125kg-CO₂/kg ……(① - ②)

【算出結果】

- ・60,000 t × (0.435～1.125) kg-CO₂/kg = 26,100 ～67,500t-CO₂/年

4.3 プラスチック再資源化調査

4.3.1 目的

インドでは、急速な都市化、人口増加、経済発展により、プラスチック廃棄物が急速に増加しており、特に人口や商業の密集する都市部では、使い捨てプラスチックや包装材の需要が急激に増加している。インドの一人当たりのプラスチック消費量は年間 21kg¹⁶と言われており、工業化と消費主義の拡大に伴い、この数値はさらに増加することが予想されている。

こうした廃棄物のうち、一部のプラスチックは焼却されているが、焼却施設が少なく、リサイクル技術も未成熟であるインドでは、プラスチックの環境への流出が懸念されている。OECD の報告によると、インドではプラスチック廃棄物の 46%が未回収又は適正処理がされおらず、36%が埋立、約 4%が焼却処理となっている。

近年はマイクロプラスチックの流出が新たな課題として認識され、プラスチックに吸着される化学物質の人体、野生生物等への影響が懸念されている。

インド政府は 2022 年 7 月にプラスチック廃棄物管理規則の規制を強化し、その後も改正を重ねており、使い捨てプラスチックの使用制限や生産者、輸入者、ブランドオーナー等にリサイクル率目標の設定を求めており、プラスチックリサイクルへの関心は製造業を含めて高まりつつある。

一方で、プラスチック資源を再度プラスチック製品へ利用する水平リサイクルは、ごみ分別の未成熟な対象都市ではまだ現実的ではなく、当面はプラスチックの持つ炭素エネルギーを活用した燃料系へのリサイクルを進めることにより、プラスチックの域外流出を最大限抑制するとともに、代替燃料としてインドの脱炭素化にも寄与する方向で検討することが妥当と考えられる。

昨年度は、ReSL 社に油化装置を導入することを念頭にテランガナ州にて調査を実施した。調査の結果、インド設備メーカーとの協議にてインド国内で当該設備を製造できることを確認した。一方で ReSL 社は 1,000 t/日規模の油化設備を希望してお

り、混合廃棄物を原料とした場合の再生油の収率が不確実である中、1,000t 規模の設備を導入することは事業リスクが高いため、デモ機導入を前提に検討を進めることになった。

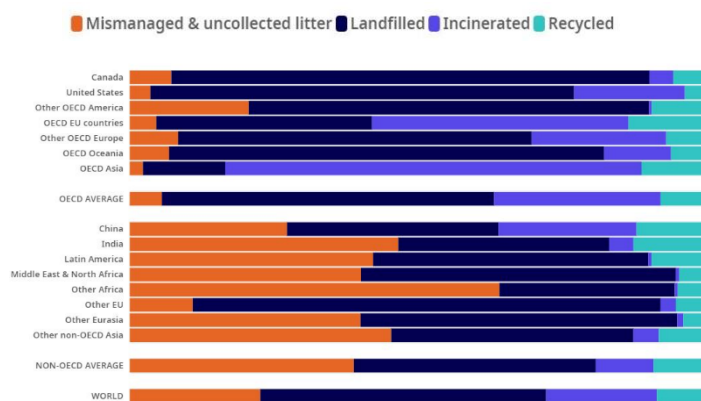


図 4-12 各国のプラスチック処理状況 (2019 年)

出典：OECD¹⁷

¹⁶ OECD : Plastic use by region-projection

¹⁷ OECD : Global Plastic Outlook Database

上記の理由から、今年度の調査では活動範囲をケララム州に拡大し、当該地域のニーズ調査を実施した。

4.3.2 想定する事業スキーム

プラスチック含む混合廃棄物のうち、直接埋立されているプラスチック廃棄物について、プラスチック油化設備（製品名：GOMIX）の導入により化石燃料の代替燃料として市場に供給することを想定している。

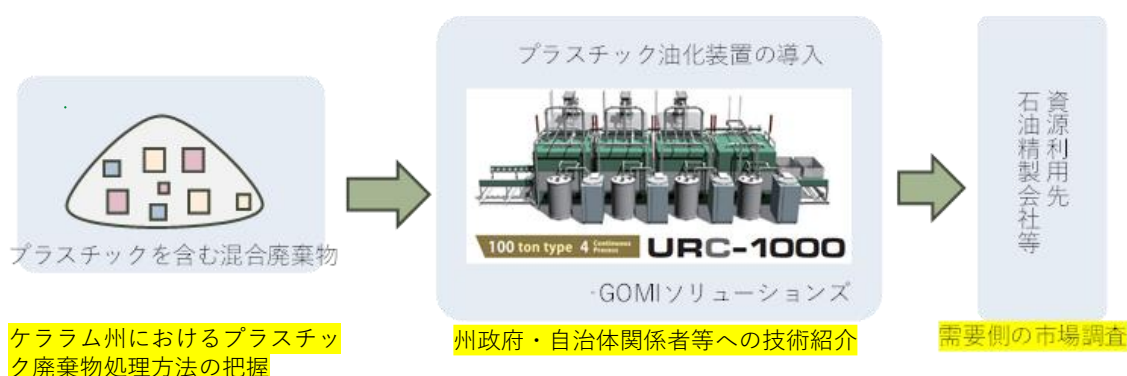


図 4-13 事業スキーム及び調査（プラスチック油化）

4.3.3 調査内容

- (1)ケララム州におけるプラスチックの排出量等、関連データを収集した。
- (2)ケララム州の州政府・自治体関係者を中心に油化装置の技術紹介を行い、導入可能性について協議を実施した。
- (3)ケララム州における再生油の需要について、机上調査を実施した。

4.3.4 調査結果

(1)ケララム州における廃棄物排出の状況

ケララム州における都市固形廃棄物（MSW）は、2021年時点で11,449 t/日発生している¹⁸。

MSW中に含まれるプラスチック廃棄物の割合は、都市部と農村部によって異なっており、コチ市で実施されたごみ組成調査によると、プラスチックは全体の9%を占めていた。一方で、農村部を含めた州全体のMSW発生量とプラスチック廃棄物発生量を基に推計すると、MSWに含まれるプラスチック廃棄物の割合は約3%となった。このことから、都市部ではプラスチック廃棄物の割合が比較的高いと考えられる。

¹⁸ Government of Kerala:Kerala State Environment Plan (2022)

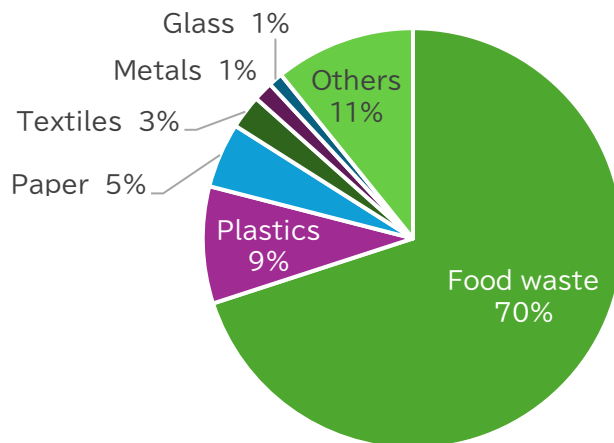


図 4-14 MSW の組成 (コチ市) ¹⁹

(2) 現地での取組

ケララム州政府関係者、自治体関係者、スマートシティ関連機関、医療廃棄物分野の関係者等を対象に、油化装置の技術概要及び想定ユースケースを紹介し、導入可能性に関する協議を実施した。

協議の詳細は以下の通り。

- エルナクラム選出の議員を起点として関係構築を行い、エルナクラム市レベルでの協議を実施した。さらに、活動範囲をコチ市議会へ拡大し、市長及び市公社内の廃棄物管理担当（保健部門）を含む関係者との協議に接続した。これにより、市の実務レベル（衛生部門を含む所管部局）と、議員レベルの双方との関係を構築することができた。
- スマートシティ・トリバンドラムの廃棄物管理チーム及び CEO と直接協議を行った。同機関が市全体の廃棄物管理の実施主体であることを踏まえ、当該プレゼンテーション及び協議は州政府内の上級大臣レベルにまで展開した。その結果、技術提案が「実施主体を経由して州政府上位層へ共有される」経路が形成された。
- 医療廃棄物管理を論点として、保健大臣補佐官との意見交換を実施した。その結果、油化設備について、滅菌処理できる点と再生油として再利用できる点から一定程度の関心が示された。
- パタナムティッタ市、ティルヴァッラ市、コッタヤム市、コッラム市等の自治体機関に対し、油化装置に関する技術紹介と協議を実施した。これらの活動により、都

¹⁹ International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT): Assessment of Municipal Solid Waste Management in Kochi City(2021)に基づきエックス都市研究所作成

市部及び準都市部の自治組織において、プラスチック油化が1つのリサイクル技術として認知され、協議の土台を形成することができた。

(3)再生油の需要調査

プラスチック油化設備の潜在的ニーズについて、発生源別（MSW 由来のプラスチック廃棄物、産業由来のプラスチック廃棄物）に整理した。

(4)MSW 由来のプラスチック廃棄物

下図にケララム州における MSW の処理フローを示す。ケララム州には、プラスチック含む非有機廃棄物を対象とした複数の資源回収拠点や RDF 化施設が存在しており、MSW に含まれるプラスチック廃棄物は一定程度有効利用されていると考えられる。

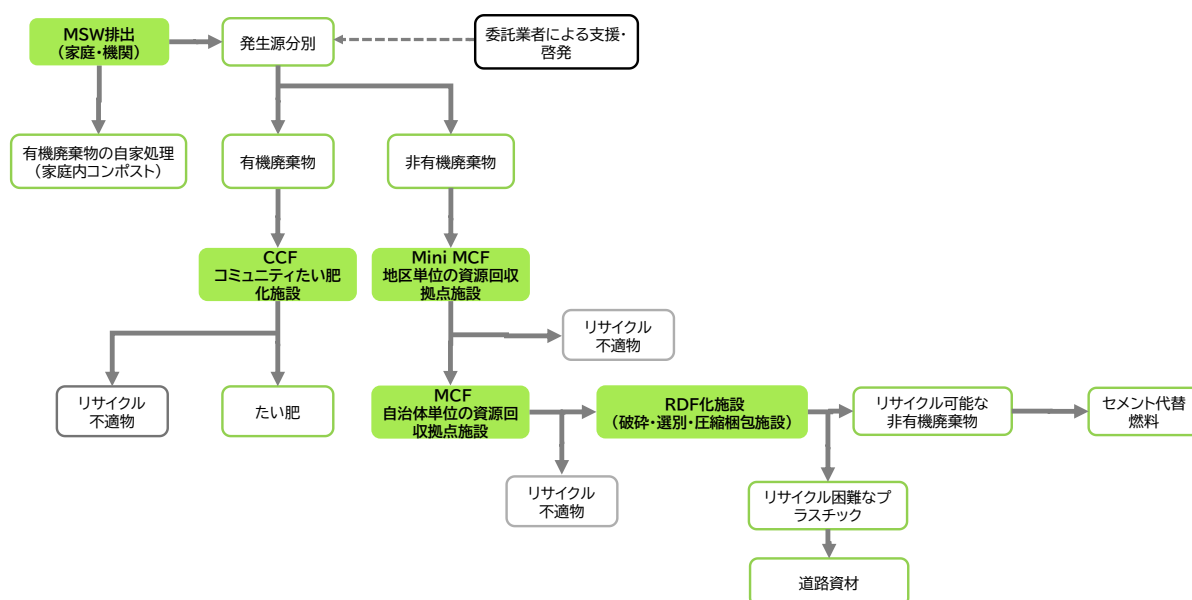


図 4-15 ケララム州における MSW の処理フロー²⁰

一方で州政府の現地調査によると、排出源での分別は必ずしも浸透しておらず、一部地区では野焼きされていたことが確認された。その他、87 自治体のうち 41 の自治体にて廃棄物が水域に投棄されていたことも確認された。

²⁰ Local Self Government Department Government of Kerala: The State of Decentralised Solid Waste Management in Kerala Report 2021 に基づきエックス都市研究所作成



図 4-16 水域での不法投棄²¹

また、下表に示すとおりケララム州には現在 MSW を対象とした WtE 施設が存在せず、現在稼働している中間処理施設の処理能力の合計が 900 t/日程度であることから、発生量に対して処理が追いついていないことが推測される。

表 4-10 主要な中間処理施設の概要²²

種別	処理能力	場所
バイオガス化施設	150 t/日	ブラフマプラム(コチ市)
たい肥化施設	150~180 t/日	コジコード
RDF 化施設	100 t/日	ワラヤー
RDF 化施設	100 t/日	ブラフマプラム
RDF 化施設	100 t/日	ニェリヤンパランバ
RDF 化施設	75 t/日	ラーマナットウカラ
RDF 化施設	75 t/日	ラッルール
RDF 化施設	50 t/日	コッタラ
RDF 化施設	50 t/日	ヴァリヤヴェリッチャム
RDF 化施設	50 t/日	ティルヴァナンタプラム
合計	900~930 t/日	-

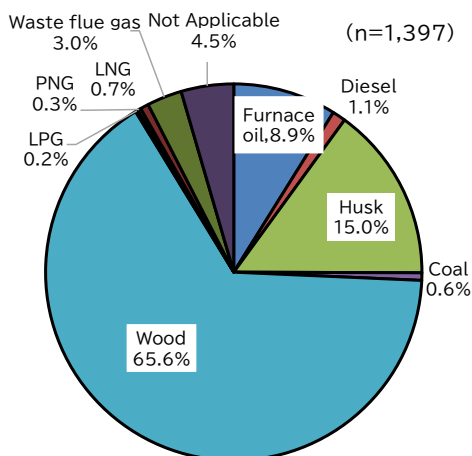
本プラスチック油化設備は、重油グレードであれば厳密な分別工程を挟まずに処理することが可能であることから、Mini MCF 等の発生源に近い場所に設置することの潜在的なニーズがあると考えられた。

²¹ Local Self Government Department Government of Kerala: The State of Decentralised Solid Waste Management in Kerala Report 2021,P43 より引用

²² 州政府のプレスリリース、インドの主要メディアの情報 (The Hindu) を基にエックス都市研究所作成

(5) 産業由来のプラスチック廃棄物

下図に示すとおり、ケララム州政府により登録されている産業用ボイラーのうち、約 10 % が重油（Furnace oil）又は軽油（Diesel）を燃料としている。そのうち、約 21 % が食品品製造業、約 16 % が化学工業に属していることから、これらの業種では再生油の需要が一定程度存在すると考えられる。



注 2000 年以降に登録されたボイラーを対象に集計

図 4-17 産業用ボイラーの燃料の内訳²³

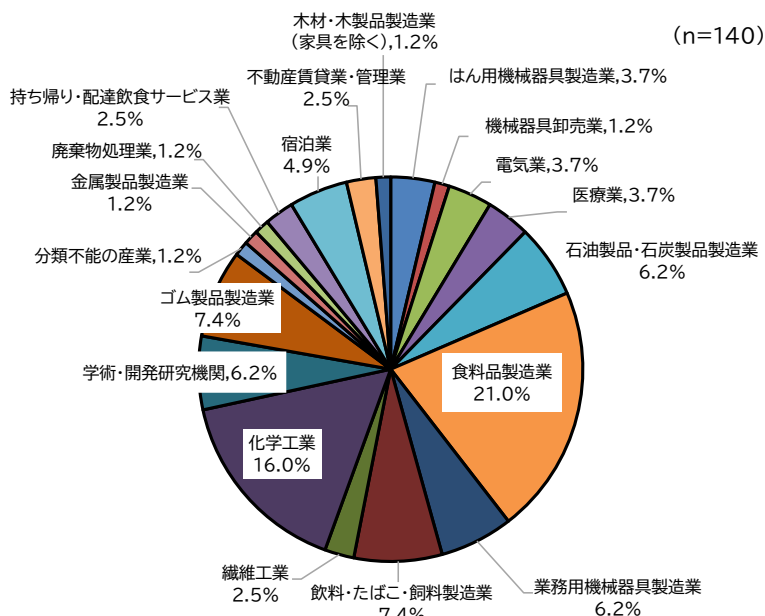


図 4-18 重油・軽油ボイラーを設置している企業の業種の内訳²³

また、下表に示すとおり、ケララム州は全国で 3 番目の精製能力を有している。

²³ Kerala State Department of Factories & Boilers: List of Registered Boilers as on 07-11-2025

プラスチック由来の再生油を高度にリサイクルする場合は、石油精製所の原油代替燃料として利用されることが想定されることから、同州に立地する石油精製所は再生油の受入先となり得る。

表 4-11 州別の石油精製所の精製能力の合計 (2025) ²⁴

州	精製能力(kt)
GUJARAT	101,900
MAHARASHTRA	21,500
KERALA	15,500
ANDHRA PRADESH	15,066
ODISHA	15,000
HARYANA	15,000
KARNATAKA	15,000
PUNJAB	11,300
CHENNAI	10,500
UTTAR PRADESH	8,000
WEST BENGAL	8,000
MADHYA PRADESH	7,800
ASSAM	7,550
BIHAR	6,000
合計	258,116

4.3.5 今後の調査の方向性

現地での活動や机上調査を踏まえ、今後は産業由来のプラスチックも対象に加えた上で、ケララム州及び自治体との協議を継続し、設備導入に向けた検討を進める。

²⁴ MOPN: Location of Refineries(2025) <https://ppac.gov.in/infrastructure/location-of-refineries> を基に作成

4.4 生ごみたい肥化調査

4.4.1 背景と目的

(1) 背景と目的

対象都市であるハイデラバード市では、回収される一般廃棄物のうちの 5 割以上が生ごみである。これに対し、ReSL 社の Jawahar Nagar 処理施設ではたい肥化が行われている。たい肥化のプロセスは、まず、生ごみとその他の廃棄物（プラスチックやガラス、紙、剪定枝などの混合廃棄物）をふるいにかけて、20mmメッシュを通過したものを発酵させたたい肥製造を行っている。

近年、市内から発生する廃棄物量は増加傾向にあり、施設の処理容量を増加させたいという ReSL 社の思惑から、生ごみたい肥化の製造期間を短縮するための技術支援が要望として挙げられ、これに対応するたい肥化設備の導入検討を行うこととした。

(2) 求める成果

現地での技術適応性、経済性、リスク等を踏まえ事業実現性について判断すること

4.4.2 想定する事業スキーム

ReSL 社が回収した一般廃棄物からたい肥製造の工程を見直し、高速コンポスト設備の導入により、現在のたい肥化にかかる時間を短縮することで、より多くの生ごみたい肥製造を実現する。また、工程の見直しによりたい肥品質を高め、ハイエンド市場への供給を目指す。



図 4-19 事業スキーム及び調査（生ごみたい肥化）

4.4.3 調査内容

昨年度に引き続き今年度も現地のたい肥化状況の調査を行い、改善すべき事項を整理した。今年度の調査内容は以下のとおり。

(1) ReSL 社が実施するたい肥化プラントの確認

- (2)調査に基づく生ごみたい肥化設備の提案
- (3)微生物資材の提案

4.4.4 調査結果

(1)ReSL 社が実施するたい肥化プラントの確認

ReSL 社が回収した廃棄物はプラスチックや紙類、布、ガラス等が大量に混入している状況であり、水分量も多く、処理を行う工程ですでに腐敗が進み始めている状況である。また、たい肥になるまでの工程はトロンメルによるふるいのみであり、通常のたい肥化に必要な発酵過程がなく、ふるい下が集められて最終製品化されている。

発酵工程がないことについて ReSL 社担当者は、たい肥化施設のスペースが少ないため、重機による切り返しができることを挙げているが、現状でもたい肥の基準値は満たしており、これ以上の管理の手間や場所を確保してまでの品質を求めている可能性もある。



原料廃棄物（混合ごみ）



トロンメル



たい肥



製品

また、たい肥の成分分析結果を確認し、以下の可能性を提示した。また現在の処理状況や ReSL 社のたい肥化処理設備ニーズに応じ、提案を行った。その後、ReSL 社からは、これを改善する設備導入の意向が示され、他州で実施する一般廃棄物中間処理への同設備導入の要望が出された。

表 4-12 たい肥成分分析結果に基づいた助言内容

たい肥成分	提示内容
C/N 比が 14	C/N 比が通常の食品堆肥と比べ高い値。大量に投入すると障害の可能性を指摘。(窒素欠乏)
含水率 20.89%	含水率基準値内であるが、現場での視察時確実に 30%後半であることを確認。原因は発酵熱不足ではないか。
有機質量 13.44%	食品残渣を原料とした堆肥では極めて有機質が低いとのことから、不純物が多いのではないかと(プラスチックなどの異物が含まれる)。
NPK 総量 1.26%	食残原料であれば N3%、P1%、K0.3~0.5%、総量 4%以上は含有する。不純物が多いのではないかと。

表 4-13 ReSL 社からの処理設備に対する要望

処理容量：日量 500 トン程度処理できる設備
発酵期間：現状 45 日を要するため、出来る限り短期での処理
原料状況：プラスチックをトロンメルにて最低限除去。取り切れないフィルム類は発酵乾燥後に再度ソーティングする
投資額：最大量を処理でき、最小限の投資
仕様：両社での協議にてレーン方式とする

(2)たい肥化設備の提案

昨年度提案したたい肥化設備は 1 日の処理可能容量が少なく、多数の設備設置の必要が生じ初期投資額(運転費用も)巨額となるため、今年度は、生ごみを大量に処理でき比較的安価なレーン式のたい肥化設備について提案を行った。設備概要は下図のとおり。

NDR2000-4W



レーン状の発酵槽に生ごみを投入し、このレーンの上を攪拌機が前後に攪拌しながら動くことでたい肥への空気の補給がされ、全体の均質化が図られる。

図 4-20 レーン式発酵処理装置の概要²⁵

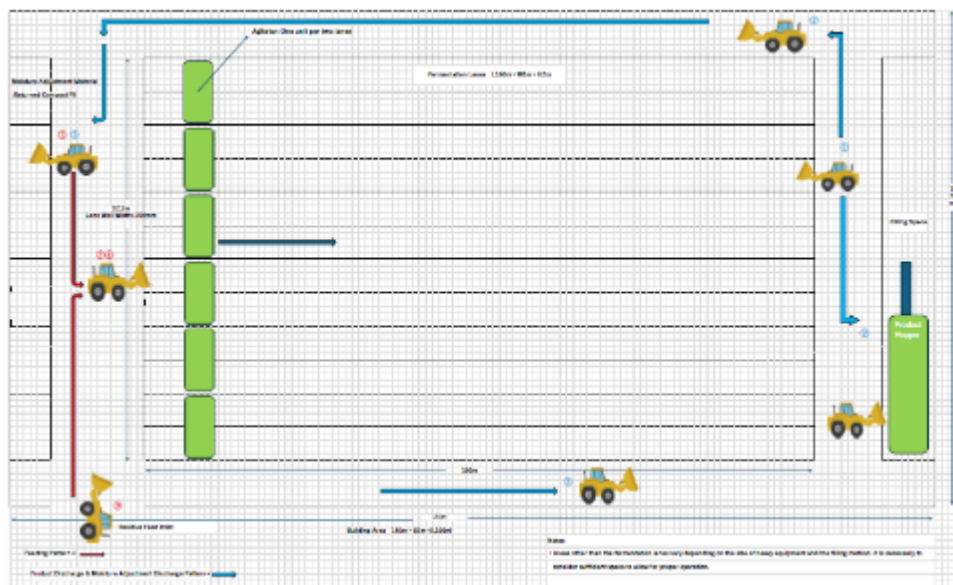


図 4-21 発酵レーンのオペレーションイメージ²⁶

²⁵ 株式会社岡田製作所：岡田式発酵乾燥プラントシリーズ <https://www.ecotec-compo.com/index.html>

²⁶ 新ケミカル商事株式会社提供資料

(3)微生物資材の提案

生ごみたい肥の事業性を高めるには、他製品との差別化や機能性の付与による付加価値の向上が不可欠である。そこでたい肥化設備の提案に加え、有機物分解能力に優れ、代表的な植物病原菌（フザリウム菌）への抑制効果も確認されている「PMB 微生物」の活用を提案した。（参考資料参照）



PMB 微生物を使用したたい肥を施肥した圃場（左）、右は通常のたい肥を施用

図 4-22 PMB 微生物による植物病原菌抑制効果²⁷

4.4.5 今後の調査の方向性

前項の提案の結果、ReSL 社が別の州で受託している廃棄物処理施設にレーン式たい肥化設備の導入計画が作成されている。事業性確保のためには設備の稼働率を上げ、品質の良いたい肥が安定して生産できる体制の構築や、設備の故障や劣化等を未然に防ぐことでメンテナンスコストを抑制する必要もある。そのため、設備導入とともに、現地でのオペレーションの手法（水分調整、切り返しタイミング、データ管理等）や摩耗部品の交換や清掃など、日常点検のルーティン化を支援する。

また、事業性を改善するため、より市場での付加価値の高いたい肥の製造を目指し、微生物資材の導入も同時に提案・支援を行うこととする。

²⁷ 新ケミカル商事株式会社提供資料

4.5 有機系廃棄物のエネルギー転換事業調査

4.5.1 背景と目的

前述のとおり、ReSL 社で扱う一般廃棄物は混合した状態であり、これらをふるい分けにより可燃物を RDF もしくは WtE、分解性有機系廃棄物（生ゴミなど）はコンポストとしてリサイクルを行っているが、廃棄物の増加により当該混合廃棄物は同社の中間処理の能力を超えてきているのが現状である。ReSL 社としては、混合廃棄物を分別せずにリサイクル可能な技術を検討しており、今回、有機系廃棄物のエネルギー転換技術を提案した。

4.5.2 想定する導入設備

株式会社ストリートデザインが開発するこの技術は、有機系廃棄物を主原料として、水素を主成分としたガスに変換するものである。当技術は、炭化工程とガス化工程を分離しており、通常、バイオマスに含まれるタール分も処理し、燃料として利用できることが特徴の一つである。水素ガスを分離して取り出せるほか、液体燃料化（エタノール、メタノール、SAF 等）への転換も可能である。

また、炭化装置は外部エネルギーを必要としない自燃式であり、ガス燃料が高価なインドでも維持可能な技術である。投入物は「有機系」であればほとんどのものが投入でき、幅広いエネルギー化が可能という特徴もあり、生ゴミやプラスチックが多くを占める混合廃棄物の燃料化に適している。



図 4-23 有機系廃棄物エネルギー化施設のイメージ

4.5.3 想定する事業スキーム

有機廃棄物（主に生ごみ・プラスチック類の混合物）を水素、もしくはメタン、SAF等のうちよりニーズの高いエネルギーに転換し、エネルギー供給業者へ販売を行うことを想定している。

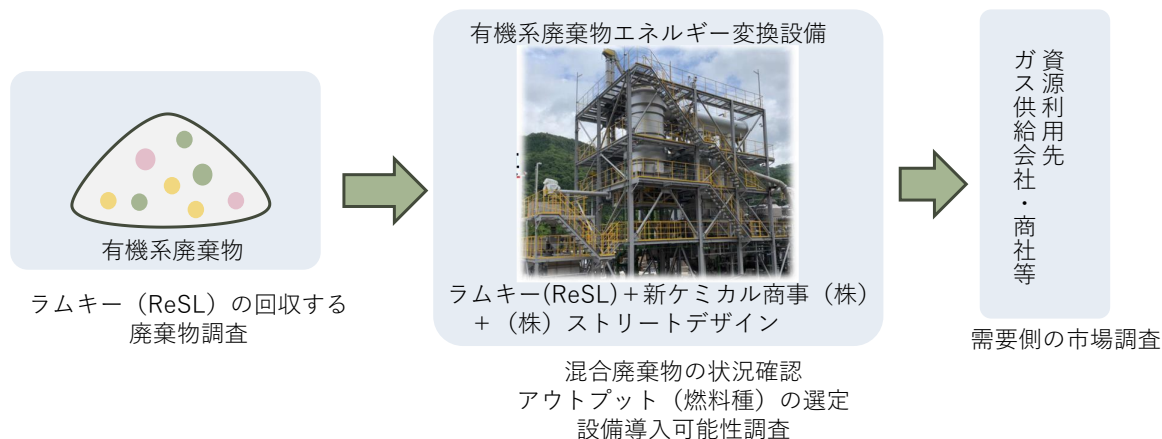


図 4-24 有機系廃棄物のエネルギー転換事業スキーム

4.5.4 調査内容

今年度は下記の調査を行った。

- (1) ReSL 社への有機系廃棄物のエネルギー化技術の説明
- (2) インドにおけるバイオガスの市場調査

4.5.5 調査結果

(1) ReSL 社への有機系廃棄物のエネルギー化技術の説明

ReSL 社の技術者への有機系廃棄物のエネルギー化技術の説明を行った。

概要は以下のとおり。

(株) ストリートデザインの説明概要

バイオマスをエネルギーに変換するため、当技術では有機系廃棄物一旦炭素にして利用する。固体の炭素をできる限り細かくして、そこにハイパーsteamを当てて水素リッチ（50%程度）のガスを抽出する。まず炭素にする段階で可燃性ガスが発生するため、このガスを設備の運転エネルギーとして使用する。

また、生ごみは炭化してガス化を行うが、プラスチック類は炭化工程に入れると全て熱エネルギーとなるため、炭化せずガス化する。このガスを冷やすと油化するが、そうせず、過圧水蒸気をこのガスへ反応させると多量の水素が発生する。

ReSL 社からの質問等

日本の技術は優れているため技術的な課題は無いと思われるが、インプットの廃棄物量に対するアウトプット量（水素、メタン、電力のいずれか）を把握したい。良いため特に何も無いが、どの程度の廃棄物を入れるとどの程度のエネルギー（水素、メタン、電力）が得られるかを把握したい。

また、ハイデラバードにおいては水素の販売ルートがないためメタンガスが適している。

インド国内のエリアによってエネルギーの需要や流通状況が異なるため、エリアごとの最適化を検討する必要がある。



図 4-25 ReSL 社への技術説明

(2)インドにおけるバイオガスの市場調査

① インドのバイオガスプラントと生産量

インドでは 19 世紀からバイオガスが生産されておりその歴史は古い。当時は、小規模なバイオガスプラントを農村部に設置し、牛糞などの家畜糞を原料にガスを生産していた。

現在、インドで生産されるバイオガスの多くがこの施設を改良したものであり、湿式のメタン発酵によるバイオガスプラントが主流となっている。

近年このプラントは中規模～大規模化が進んでいる。

これは再生可能エネルギー省（MNRE : Ministry of New and Renewable Energy）の国家バイオガスプログラムにより、遠隔地でのバイオガスの熱電併給事業への支援を行っており、これにより累計 361 基のプラントが建設され、発電量は 11.5MW に達している。

MNRE「廃棄物エネルギー化プログラム」は、工業用熱への直接利用、バイオガス発電、



または CBG（圧縮バイオガス）/バイオ CNG 用バイオガスの生産を支援している。直接利用および発電用バイオガス生産は、年間生産量は 630 百万立方メートル/年と推定される。

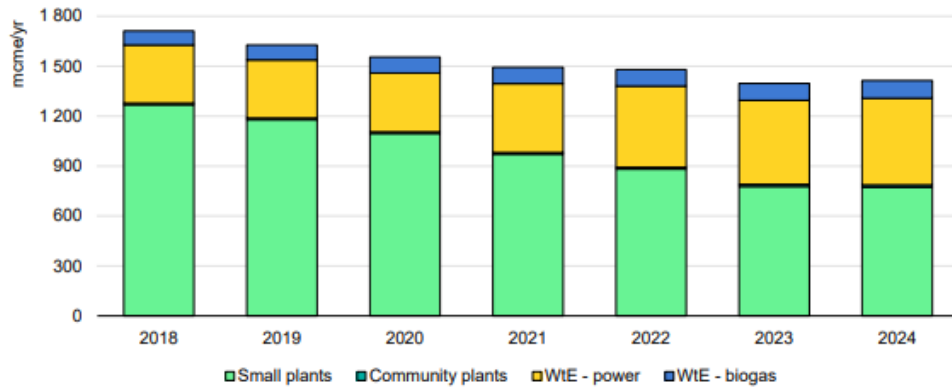


図 4-26 インドにおけるバイオガス生産量²⁸

② インドのバイオガスの原料

インドでのバイオガス原料は、稲わら、汚泥、家畜糞、および有機性都市廃棄物の 4 種類が主流である。ウッタル・プラデーシュ州、マハラシュトラ州、カルナタカ州では汚泥の割合が高く、稲わらはウッタル・プラデーシュ州、西ベンガル州、アンドラ・プラデーシュ州で豊富である。ウッタル・プラデーシュ州、西ベンガル州、マディヤ・プラデーシュ州、ビハール州など、牛の飼育頭数が多い州では、特に家畜糞用の小規模プラントを使用する可能性があり、都市廃棄物はすべての都市部で利用可能である。近年は、複数回の収穫が可能で比較的、水要求量の少ないネピアグラスの栽培も検討されている。

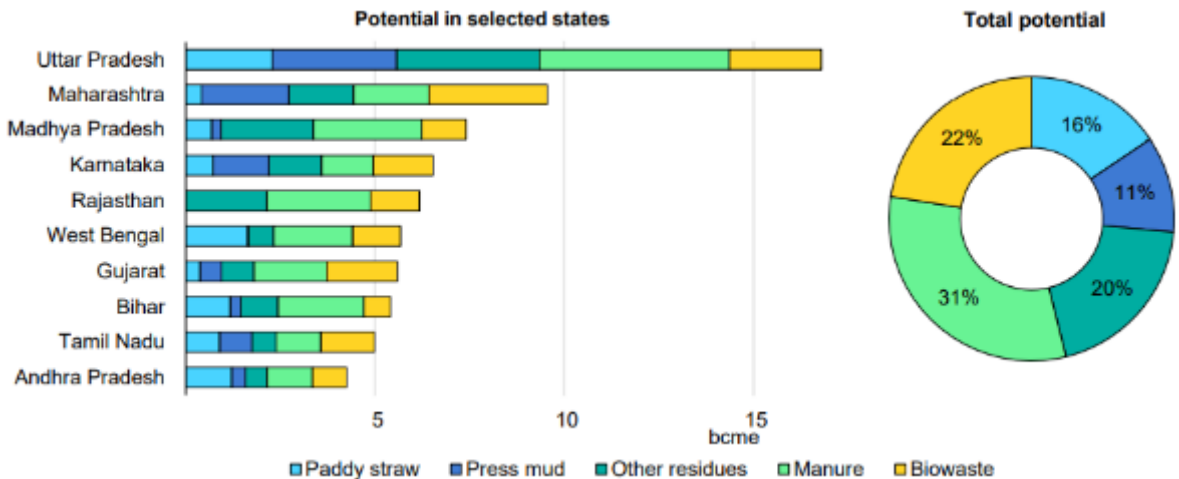


図 4-27 バイオガス原料の潜在供給量図 4-26²⁸

²⁸ IAE: India Bioenergy Market Report

③ インドのバイオガスに関連するインセンティブと規制

近年、インド政府はバイオガスと CBG (圧縮バイオガス) の生産と利用を支援するための政策に取り組んでいる。2018 年 10 月には、「持続可能で安価な代替輸送手段 (SATAT)」スキームを立ち上げ、2023 年度までに 5,000 基の CBG プラントを設置し、年間 1,500 万トンの CBG を生産することを目標に掲げていた。これまで同スキームの下で設置されたプラント数は 48 基、2023 年度にこれまで販売された CBG は 9,548 トンと目標に大きく及んでいなかったが、インド石油・天然ガス省 (MoPNG) は 11 月 25 日、自動車用の圧縮天然ガス (CNG) と家庭用の都市ガス (PNG) への圧縮バイオガス (CBG) の混合を段階的に義務化することが発表され、今後、CBG への投資も活発化することが予測されている。

表 4-14 SATAT スキームでの CBG の混合義務²⁸

2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年
任意	1%	3%	4%	5%

表 4-15 インドのバイオガスインセンティブ²⁸

政策	年	省庁	内容
Galvanizing Organic Bio-Agro Resources Dhan (GOBARdhan) Initiative	2018	水資源省 PNG 省	CBG または有機肥料への変換を通じて有機廃棄物の価値向上を促進する複数のイニシアチブで構成。バイオガスの統一登録ポータル開設。
Sustainable Alternative Towards Affordable Transportation (SATAT)	2018	PNG 省	石油・ガス会社との購入オフテイク契約を可能にし、最低購入価格を 2029 年まで保証。一部税免除を提供。
Waste to Energy (WtE) Programme	2022	再エネ省	廃棄物からのエネルギー生産増加を目指す。バイオガスの生産、発電、天然ガス圧縮への財政支援。 4.8 トン/日生産→4 千万 NRs 上限 12 トン/日生産→1 億 NRS 上限
National Biogas Programme	2022	再エネ省	中規模バイオガスプラントへの資金援助
CBG Blending Obligation (CBO)	2023	PNG 省	輸送燃料、国内ガスパイプラインへの CBG 混合義務付け
CBG-CGD Synchronisation Scheme	2021 更新 2023	PNG 省	設定された価格での輸送、都市ガスへの CBG ガス混合を管理
Unified Registration Portals for biogas and CBG	2023 更新 2025	水資源省 PNG 省	統一登録ポータル運用

政策	年	省庁	内容
Market Development Assistance (MDA) for Promotion of Organic Fertilizers	2023	肥料局 (DoF)	バイオガス副産物を1トン1,500ルピーの補助金で支援
Biomass Aggregation Machinery (BAM)	2024	PNG省	CBG生産者に設備補助最大50%、または1セット当たり90万ルピーの援助
Fertilizer Control Order (FCO)	1985修正 2025	肥料局 (DoF)	CBGプラントからの有機炭素の新しい分類を加える
Development of Pipeline Infrastructure (DPI)	2024改定 2025	PNG省	都市ガスネットワークへの接続パイプライン、CBG混入ポイントの敷設費用を50%補助

④ インドのセクター別天然ガス消費量

インドでの天然ガス消費量について、家庭用、輸送用、商業用、工業用等は急速に増加しており、過去3年間で平均10%ずつ増加している。

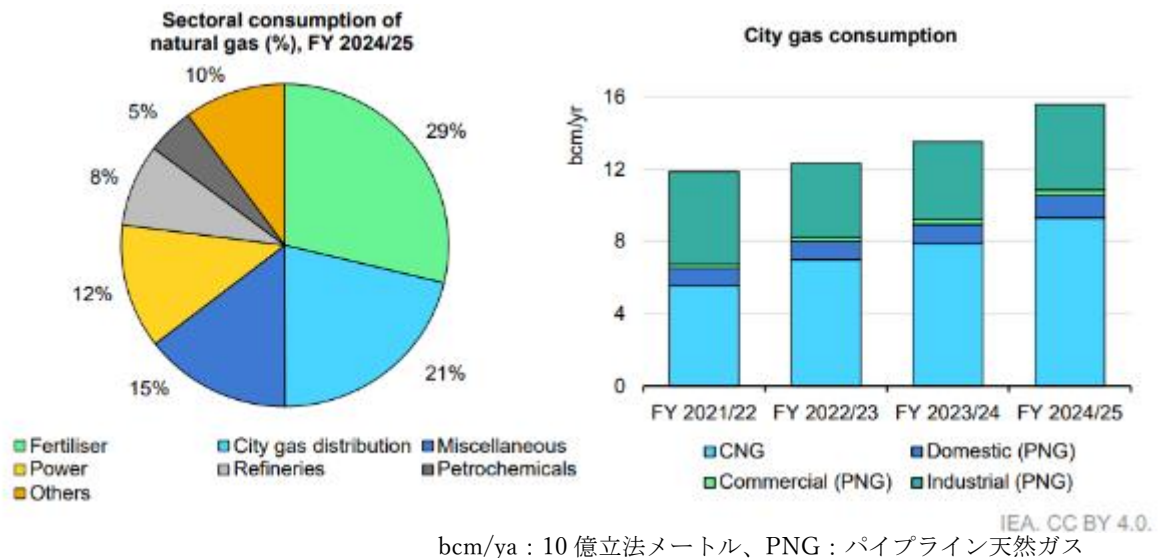


図 4-28 インドでの天然ガス消費量²⁹

²⁹ IEA based on data from MoPNG Petroleum Planning and Analysis Cell (PPAC) (July 2025), India's Oil & Gas Ready Reckoner.

4.5.6 今後の調査の方向性

今後、ReSL 社より実証機の導入意欲が示されたことを受け、現在は小規模実証の実施に向けた具体的検討のフェーズに移行している。なお、実証費用については「経済産業省 グローバルサウス未来志向型共創等事業」の活用を前提としたスキームを構築中である。

併せて、ガス生産効率を左右する阻害要因への対策として、原料（廃プラスチック）中の塩化ビニル混入状況の確認、および効率的な異物除去プロセスの確立に向けた検討を実施する。

5. 低炭素製品製造分野

5.1 低炭素コンクリート製造調査

5.1.1 インドのセメント産業の現状

インドでのセメント需要は、堅調な国内需要と政府のインフラ支出の増加に牽引され、年平均成長率 6.2% (2006~23 年度) で増加し、過去 2 年間で 18~20% から 28% 以上に増加している。同国のセメント生産量は、2021~2022 年には 3 億 6,100 万トンの生産量が報告されており、その量は世界第 2 位である。セメントはインフラ整備と経済成長に不可欠である一方で、インドの総 CO₂ 排出量の約 7% を占めている状況にある。

インド政府の 2070 年の脱炭素目標に向けては、CO₂ の削減が困難な産業の一つとしてセメント産業が挙げられている (その他の産業としては、鉄鋼・化学・肥料等)。

これに対し、インドでは CO₂ 排出量の少ない、セメント代替材料 (インドではクリンカ代替品と呼ばれる) を混合したセメント製品を製造しており、この普及を図っている。

※セメント産業から排出される CO₂ は、石灰石 (CaCO₃) を焼成して酸化カルシウム (CaO) を製造する際に発生するプロセス由来の CO₂ が 6 割である。そのため、例えば、焼成に使用するエネルギーを再生可能エネルギーに代替しても排出が避けられるものではなく、脱炭素に向けてはこのセメントの生産量を下げる必要がある。これに代わる材料として、日本では高炉スラグや廃棄物の焼却灰などが使用されており、本調査では、インドでもすでに製品として流通している高炉スラグの使用量を増やすことで、セメント産業由来の CO₂ 排出削減に寄与するものである。

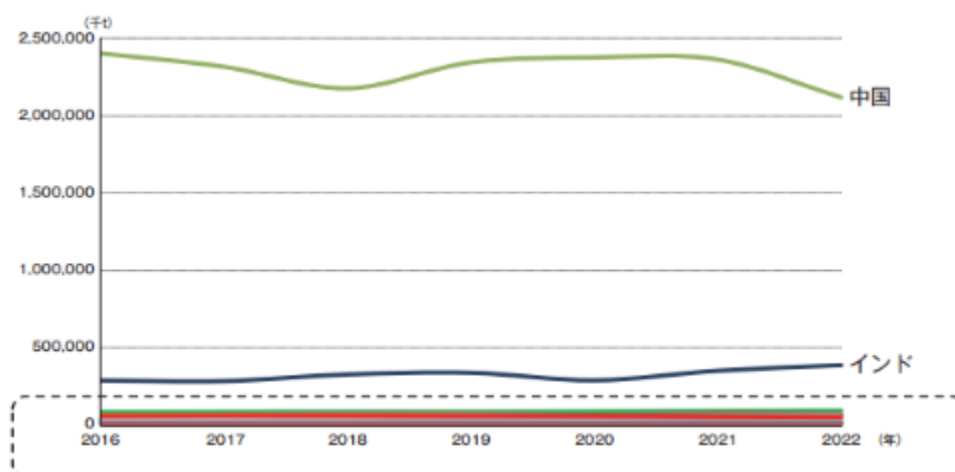


図 5-1 世界のセメント生産量 (暦年)

※点線枠内に、年間生産量 1 億トン以下の国々が含まれる
出典：一般財団法人セメント協会

5.1.2 インドでのクリンカ代替品の使用状況

現在のインドでの代表的なセメントの組成は下表のとおりである。

インドでは、主に石灰石を使用する普通ポルトランドセメント（OPC）、石灰石の一部の代替として発電所から出るフライアッシュを使用するポゾラポルトランドセメント（PPC）、そして石灰石の代わりに製鉄所から出るスラグを使用するポルトランドスラグセメント（PSC）の3種類のセメントが製造されており、インド規格協会(BIS)は、石灰石、フライアッシュ、スラグ、石膏を混合した複合セメント（CC）と呼ばれる新しいセメントの規格を2023年2月に発行している。このセメントでは、フライアッシュやスラグ等が原料の最大65%を占める場合もある。

2022年に生産されたセメントの大部分（65%）は、PPCセメントであったと報告されている。現在の代表的なセメントの組成は下表のとおりである。

またこれらのセメントの生産量にもとづくCO₂排出量は約2億トンとなっている。

表 5-1 代表的なセメントの組成 単位(%)

Constituents	Types of Cement			
	OPC	PPC	PSC	CC
Limestone/Clinker	95	65	40	45
Gypsum	5	4	3	5
Fly Ash	-	31	-	25
Slag	-	-	57	25

Source: Blended cement: Green, Durable and Sustainable, GCCA India, 2022.

*The constituents of blended cements taken based on the average fly ash and slag consumption in India

※OPC：普通ポルトランドセメント、PPC：ポゾラポルトランドセメント、PSC：ポルトランドスラグセメント、CC:複合セメント

出典：CSE（Centre for science and environment）

表 5-2 セメントの製品構成に基づく総CO₂排出量（2019～2020年時点）

Type of cement	Constituents	Total CO ₂ emission factor (including scope 1 and 2)	Share of production (in per cent)	Total production 2019-20 (in million tonnes)	Total CO ₂ emission 2019-20 (in million tonnes)
OPC	Clinker: 95%; Gypsum: 5%	0.842	27	90.2799	76.01
PPC	Fly ash: 31%; Clinker: 64%; Gypsum: 5%	0.582	65	217.3405	126.49
PSC	Slag: 57%; Clinker: 38%; Gypsum: 5%	0.381	7	23.4059	8.91
CC/others	Granulated slag: 25%; Clinker: 45%; Fly ash: 25%; Gypsum: 5%	0.418	1	3.3437	1.39
Total				334.37	212.8

Source: Data from GCCA report Blended cement: Green, Durable and Sustainable, 2022, Estimation by CSE

出典：CSE（Centre for science and environment）

【参考】セメントの種類と仕様

インドにおける OPC の仕様はインド規格 IS 269:2015 に準拠している。

OPC は主にクリンカを原料として使用し、少量の石膏とその他の添加剤を使用する。PPC は、クリンカ、石膏、フライアッシュを主成分として含み、フライアッシュがクリンカの一部を置き換える。

PPC については、IS : 1489 (I) -2015 による BIS 認証がインドで適用可能であり、PPC 内のフライアッシュの 15～35%が許可されている。

同様に、PSC はクリンカ、石膏、高炉スラグを含み、スラグがセメント中のクリンカを代替する。

PSC については、BIS 認証 IS 455 : 2015 がインドで適用可能であり、粒状スラグの含有量は PSC の質量の 25%以上 70%以下でなければならないと規定されている。

複合セメントは、ポルトランドセメントクリンカ (IS 16353:2015 準拠)、粒状スラグ (IS 12089:1987 準拠)、フライアッシュ (IS: 3812 (I)-2013 準拠) を天然/人工石膏を加えて混合粉砕するか、OPC、細かく粉砕した粒状スラグ、フライアッシュに粉砕石膏を加えて均一に混合することで製造できる新しいタイプ (IS 16415:2015 準拠) である。これらの成分の典型的な割合は、ポルトランドセメントクリンカ/OPC 35～65%、フライアッシュ 15～35%、高炉スラグ 20～50%、石膏 3～5%である。

出典 : CSE (Centre for science and environment)

5.1.3 本調査の目的

本調査では、セメント・コンクリート製品の温室効果ガス削減に寄与する技術として、スラグセメントを活用した高品位な低炭素コンクリート製品の製造技術を確立する。これにより、インドの脱炭素目標達成への貢献と、日本企業の技術導入による事業展開の可能性を検証することを目的とする。

5.1.4 想定する事業スキーム

インド国内鉄鋼産業から排出されるスラグを活用したスラグセメントやコンクリート構造物の解体にともなって発生するコンクリート塊を再生した「再生骨材」を原料として製造する、コンクリート二次製品 (プレキャストコンクリート : PC) を供給する事業の可能性を調査する。

5.1.5 調査内容

今年度は以下の内容について調査を行った。

- (1) インドでのセメント・コンクリート製品の脱炭素政策動向の整理
- (2) インド国内で流通するスラグセメントを使用した二次コンクリート製造試験
- (3) ラムキーグループが資源化する再生骨材の発生状況確認

5.1.6 調査結果

(1) インドでのセメント・コンクリート製品の脱炭素政策動向

インドの NITY Aayog (インド行政委員会: インド政府の主要な政策シンクタンク) は、2026年1月にインドセメント部門の脱炭素化のロードマップを作成している。この中で、インドでのセメント・コンクリートの脱炭素化について、以下の対策が計画されている。

インドのセメント・コンクリートの脱炭素化に向けた主な対策

- ✓ 都市固形廃棄物 (MSW) 由来の廃棄物燃料 (RDF) の利用拡大
- ✓ クリンカ代替品の使用増加
- ✓ セメント部門における CCUS パイロット実証

このうち、本事業に関連する取組として、「II. クリンカ代替品の使用増加」についてのロードマップ概要を整理する。

① クリンカ代替品の使用量増加に関するロードマップ

本ロードマップのシナリオでは、今後、インドのセメント需要の増加により、温室効果ガス排出量は2023年の246 MtCO₂e から2070年には1,323 MtCO₂e に増加すると予測しているが、これを、代替燃料 (AF)、電力の脱炭素化、クリンカ代替品、CCUS といった主要手段の実施により、排出量は2070年までに約198~252 MtCO₂e まで削減されると予想している。

また、このシナリオに加え、プレキャストコンクリート、廃棄物の削減、最適なコンクリートの配合設計、持続可能な建築手法なども削減に寄与することが期待されている。

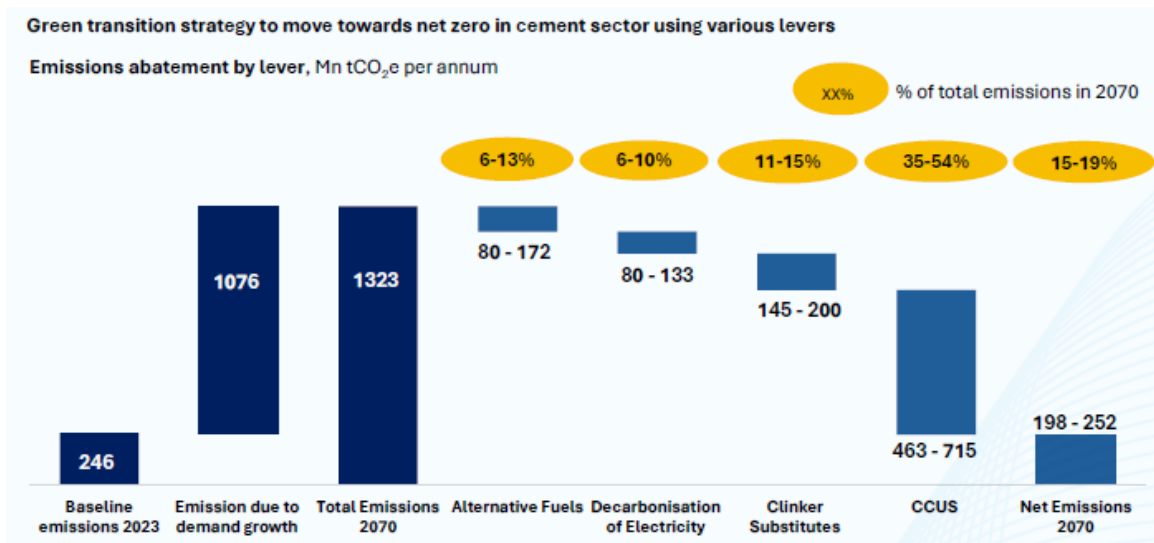


図 5-2 セメント産業での対策による温室効果ガス排出削減シナリオ

出典：NITY Aayog 「Roadmap for CEMENT SECTOR DECARBONISATION」

②ロードマップ具現化に向けたシナリオ

ロードマップの具現化に向けたモデルとして下表が示されている。

国の脱炭素に向けたシナリオでは、クリンカ代替品の使用は 2070 年までに現在の約 1.5～2 倍の増加が設定されている。

表 5-3 インド 2070 年セメント産業脱炭素を推進するためのシナリオ³⁰

対策	脱炭素に向けたシナリオ
代替燃料	<ul style="list-style-type: none"> 農業廃棄物や RDF の効率的なサプライチェーンと藻類バイオ燃料などの新技術による代替燃料の使用拡大 電炉、太陽熱、水素技術の拡大
クリンカ代替品	<ul style="list-style-type: none"> クリンカ代替品の使用量は、2070 年までに約 1.5～2 倍に増加する 建設・解体廃棄物の収集・処理のための効率的なシステムを導入する 焼成粘土、ポゾラン、バイオ灰などのクリンカ代替品の安定供給の確保 低クリンカセメントの開発
CCUS	<ul style="list-style-type: none"> 強力な炭素貯蔵および輸送インフラの推進により、捕捉（アミン洗浄、膜吸収など）及び利用経路（メタノール等）の商業化とスケールアップ
再エネ	<ul style="list-style-type: none"> 電力需要の約 50～60%は、年間 70～80%の供給能力を持つ再生可能エネルギーを 24 時間供給する。

³⁰ NITY Aayog 「Roadmap for CEMENT SECTOR DECARBONISATION」

③グリーンビルディングの評価基準の改正

インドでは、グリーンビルディング認証はエネルギー効率、節水、居住者の健康に焦点を当てた、建物の環境性能を評価するインドの代表的な評価システムである。認証を取得すると、印紙税と固定資産税の1~20%（州により異なる）の割引を提供するなど経済的インセンティブなどが得られる。

セメント産業脱炭素化ロードマップでは、今後、この評価システムに低炭素セメントや循環型社会構築を盛り込む等、改正する必要があることに言及している。

(2) インド国内で流通するスラグセメントを使用した二次コンクリート製造試験

インド工場において、インドで流通するスラグセメントを使用し、コンクリートの試験練りを行った。結果を以下のとおり示す。

①試験 1 回目

■目標とする生コンクリート

- ・ バイブレーターを使用し、素早く打設できる生コンクリートを目指す。
- ・ そのために生コンクリートの粘りを十分に落とす。

■要求事項の設定

Indian Standard によると 40MPa 以上の強度を得るためには、配合強度を 48.25MPa に設定するのが基本である。単位水量の上限は骨材最大寸法 10mm の場合 208kg。また単位セメント量の上限は 450kg となっている。

そのため、要求事項は以下のとおりとした。

- ・ 14 日間水中で養生を行った cube (立方体テストピース 150mmx 150mm x 150mm) において圧縮強度 50MPa 以上の強度を得ること。50MPa = 50N/mm²
- ・ 28 日間水中で養生を行った cube で 60MPa 以上の強度を得ること。
- ・ 蒸気養生を行い、14 日後の cube では 40MPa 以上の強度を得ること。

■配合

配合については外部秘のため掲載しない

■試験結果

目的の強度が得られ、粘りがなく十分に軟らかい生コンクリートが製造できた。この配合を基本とし、脱型時強度、14 日強度等の強度の確認を行っていく。

②試験 2 回目 高炉スラグ配合の作成

JSW 社の高炉スラグを袋で購入し、毎回、トロ舟で 10L の生コンクリートを練り、練り上がりの軟らかさ、強度などを調べた。

■試験内容

- ・ 高炉スラグを使用した場合、炭酸カルシウムを使用した場合よりも粘りが生じる。
- ・ 粘りを減らすために、細骨材率 (s/a) を 35% と小さくし、砕石の使用率を 20% 程度とした。細骨材が少ない方が粘りが少ないことが把握された。
- ・ 粗骨材は 1,100kg 程度使用したいため、粗骨材の量を初めに決定し、その後細骨材の量を決定した。(コテ面に粗骨材が存在しないと数か月経過し製品が乾燥した後、ひび割れが生じる恐れがある。そのコテ面のひび割れを防止するために粗骨材は多い方

が良い)

- ・ Washed S は洗ってあるため微粒分は少ない。しかし CrushedS は洗っていないため微粒分が多く、かつ粒度が安定していないことがふるい分け試験結果より把握された。
- ・ 粘りの原因は CrushedS にあるため極端に使用を 20%に減らした。
- ・ また G10mm と G6mm の割合を変化させたものを作成し、試験を行ったが、実積率試験を行ったが、詰まり具合にさほど差はないという実験結果が得られた。

■試験結果等

- ・ 何度も試験練りを行い、粘りの少ない配合を決定した。この時点ではコンクリートの強度が低かった。しかし、最終的にプラントで練ったコンクリートの強度は 40MPa 以上となった。10L の量ではコンクリートの温度が上がらず水和反応が進まなかったためと思われる。
- ・ 高炉スラグを使用した配合の蒸気養生後 14 日後の強度はギリギリ 40MPa 以上であった。
- ・ また水中養生 14 日後の強度は 50MPa 以上となった。
- ・ 高炉スラグを使用した配合で作った製品は、脱型時少々色が黒い。また、乾きが悪いように見える。
- ・ 高炉スラグを使用した配合においても気泡孔が少なく、外観の良い製品を作ることができた。

③高炉スラグ配合コンクリートの強度不足の原因究明

高炉スラグ配合コンクリートの脱型時の強度が下がる課題が生じた。その原因は、高炉スラグの質にあることも考えられ、炭酸カルシウムを使用し同じ材料で試験練りを行う。

■試験結果等

- ・ 高炉スラグの代わりに炭酸カルシウムに変えると脱型時強度が上がった。ただ徐々にこの強度が低くなってきた。
- ・ そのため、cube (150mm x 150mm x 150mm) における脱型時強度の下限を 8.0MPa と決めた。
- ・ 製品と同一の生コンクリートを用いて同一の蒸気養生を行い、脱型時強度を調べ 8.0MPa に達しない場合は、製品の脱型を 30 分遅らせることとした。
- ・ その結果、蒸気養生 14 日後の強度は 56MPa 程度となった。
- ・ 脱型時強度は 8MPa 程度となり上がってきた。

④試験結果まとめ

今回、高炉スラグを用いた配合を試行したが、最終的に実機採用は見送ることとした。最大の要因は脱型時強度の不足であり、作業安全の確保や歩留まりの観点から現時点での使用は困難と判断した。強度不足は粗骨材の汚れが主因と推測されるが、確定には至っていない。今後は材料の品質管理基準を再定義し、継続して検証を行う必要がある。

(3)ラムキーグループが資源化する再生骨材の状況確認

ラムキーグループの ReSL 社は建設・解体廃棄物の再資源化事業を行っている。これは、コンクリート構造物の解体にともなって発生するコンクリート塊を原料として、破碎・磨砕、サイズ分画等の処理を行ってコンクリート用の骨材や、レンガなどの材料を製造しているものである。この再生骨材のコンクリート製造原料として使用することを目的として、状況の確認を行った。（報告の一部は、経済産業省グローバルサウス未来志向型共創等事業での調査結果を引用している）

①建設廃棄物の受入状況

- ・ 粒径 600 mm 以下の建設廃棄物を受け入れており、材質は金属、廃プラスチック、レンガ、石などが含まれる。廃木材は受け入れていない。
- ・ アスベスト含有の建設廃棄物（壁材）は受け入れておらず、関連会社のプラントで処理を行っている。
- ・ 建設廃棄物のうち 20 %は事業系由来、残り 80 %は政府系（公共建築物）由来の廃棄物である。

②処理フロー

建設廃棄物の処理方法は下図のとおり。

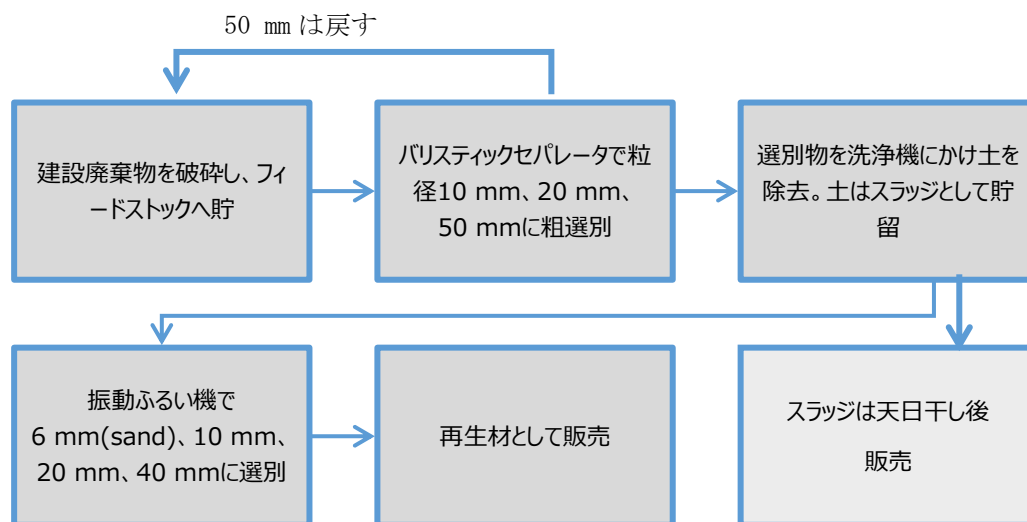


図 5-3 建設廃棄物の処理フロー

※備考

- ・ 磁選機（2箇所）で金属を回収。
- ・ 廃プラスチックについては選別し、WtEに燃料として搬出している。

③再生品の価格

- ・ 貯留したスラッジは天日干した後、レンガ製造業者に 70 Rs/t で売却し、原料として再利用される。
- ・ 6 mm(sand)粒度の製品は、450-550 Rs/t で生コンクリート製造業者に売却し、原料として再利用される。
- ・ 20 mm 粒度の製品は、350 Rs/t でセメント製造業者に売却し、原料として再利用。売却量は 350 t/月程度。
- ・ 40 mm 粒度の製品は有価で売却し、セメント原料又は埋立材料として再利用される。
- ・ 処理費は州政府から支払われている。



C&D 粉砕後（細粒）



C&D 粉砕後（粗粒）



粉砕物（プラスチックが多い）



選別物（40mm～）



選別物（～20mm）



選別物（～10mm）

5.1.7 今後の調査の方向性

①スラグセメントの品質の違いに関する調査

- ・ インドで製造されるスラグセメントと日本で製造されるスラグセメントの品質の違いについて調査を進めるため、日本のメーカーによる品質管理基準（スラグの冷却速度やガラス化率の管理など）を調査し、インド産スラグの品質のバラツキとの相関を確認する。

②再生骨材に関する調査

- ・ インド国内でリサイクルされる再生骨材の微粒分量や吸水率等の品質を確認し、プレキャストコンクリートへ適用可能性や品質を上げるための課題等を確認する。

5.2 低炭素エネルギー供給調査

5.2.1 目的³¹³²³³³⁴

インドでは、人口増加、産業構造の転換、都市化の進展に伴い、エネルギー需要が拡大している。電力供給面では、化石電源が全体の約半分を占めている。

このためインド政府は低炭素化を推進しており、2022年に気候変動枠組条約（UNFCCC）に提出された更新版 NDC では、2005年比で2030年までにGDP当たり排出量（排出原単位）を45%削減すること、2030年までに非化石燃料由来の発電設備容量を累積で約50%とすること等を掲げている。

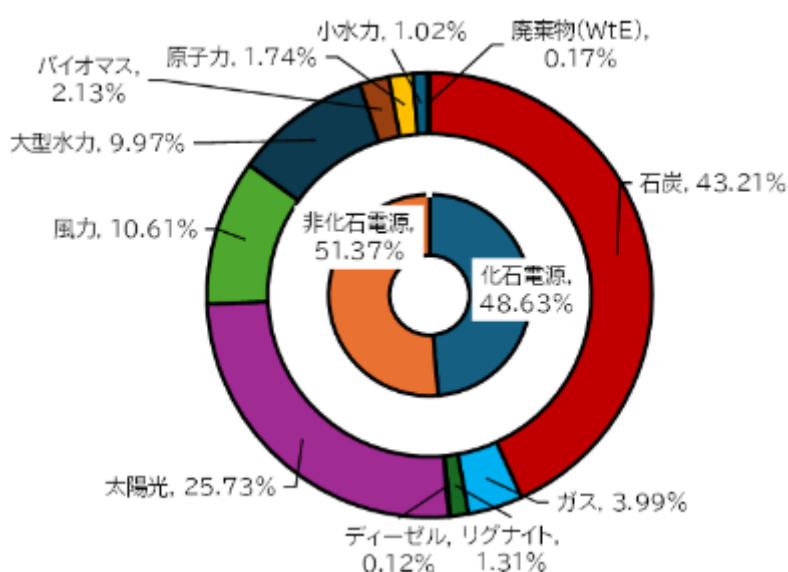


図 5-4 インドにおける電源の内訳（2025年）³⁵

需要面については、産業部門の省エネルギーの制度化が進められている。産業部門は最終エネルギー消費に占める比率が大きく、低炭素化の余地が大きい部門である。

こうした背景の下、インドが2012年に開始したPAT（Perform Achieve and Trade：省エネ証書取引制度）は、エネルギー多消費産業の特定エネルギー消費（SEC）の削減を目的に継続運用されている。PATでは、指定事業者（Designated Consumers: DC）ごとに基準年の実績等を踏まえて削減目標が設定され、達成状況に応じて省エネ証書（ESCerts）の交付・

³¹ Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, Government of India, Perform Achieve and Trade (PAT).

³² UNFCCC, India Updated First Nationally Determined Contribution (August 2022)

³³ Ministry of External Affairs, Government of India, National Statement by Prime Minister at COP26 Summit in Glasgow (2 Nov 2021).

³⁴ PIB: “India stands committed to reduce Emissions Intensity of its GDP by 45 percent by 2030, from 2005 level(2022)”

³⁵ MoP: PIB India’s Power Capacity Hits 5.05 Lakh MW を基に作成
<https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=2197199>

取引を通じた市場メカニズムが組み込まれている。制度設計上、同一セクター内でも効率水準に応じて目標の厳しさが調整される点が特徴である。

産業部門の低炭素化の方法は、再生可能エネルギーの導入のほか、既存のエネルギー供給における化石燃料の使用量を抑えることの2通りが挙げられる。この文脈で、コージェネレーション（電力と熱の同時供給）は、電力と熱を別々に供給する方式と比べて、排熱回収により総合効率を高める有力な手段になり得る。特にオンサイトでのコージェネレーションによるエネルギー供給は、工業団地入居企業の検討対象となり得る。

本調査は、テランガナ州工業団地入居企業を対象として、コージェネレーションシステムによるオンサイトエネルギー供給の導入可能性について検討する。

5.2.2 想定する導入設備

本調査では、日鉄エンジニアリング株式会社のコージェネレーションシステムによるオンサイトエネルギー供給の導入を想定している。

ガスコージェネレーションとは、天然ガス等のガス燃料を用いて発電を行い、発電時に発生する熱を回収して利用することで、電力と熱を同時に供給する熱電併給システムである。

設備導入事業者は、自家発電によりユーティリティ費用を削減できるほか、燃料使用量の低減に伴う二酸化炭素排出量の削減や、外部電力への依存度低下による電力供給の安定化といった便益を得ることができる。

日鉄エンジニアリングは、その中でもオンサイト供給によるガスコージェネレーションシステムのノウハウを有している。タイでは、既に2件JCM設備補助事業に採択されており、7MW級のコージェネレーション設備（川崎重工製）導入によって年間359トンの二酸化炭素を削減した実績がある。³⁶

³⁶ 日鉄エンジニアリング：プレスリリース “Efficiency Improvement Project at Cogeneration Facility in Thailand Selected for Financing Programme Based on Joint Crediting Mechanism” (2019)
<https://www.eng.nipponsteel.com/en/news/detail/20191118/?utm>

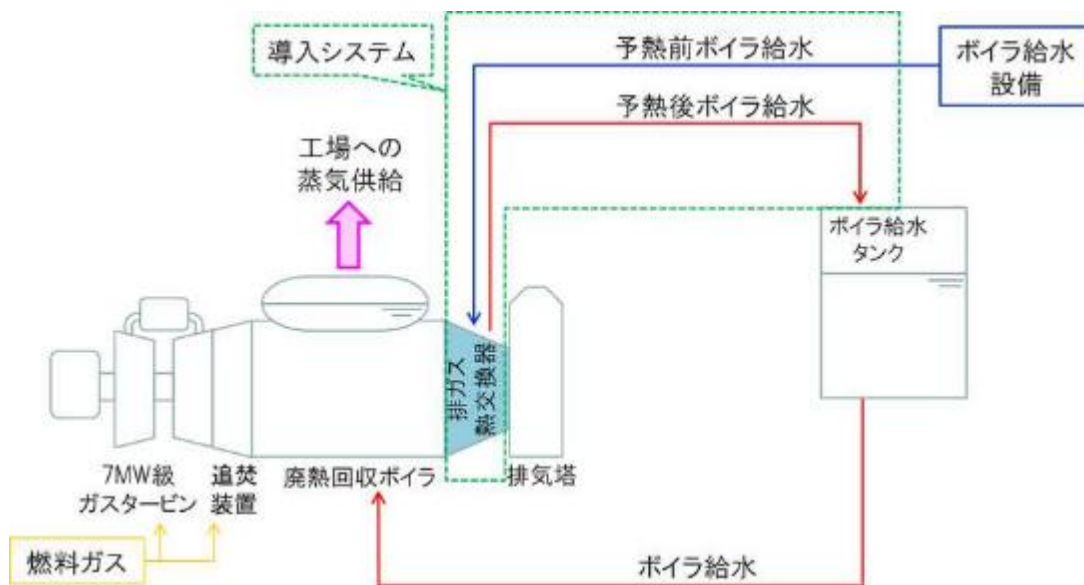
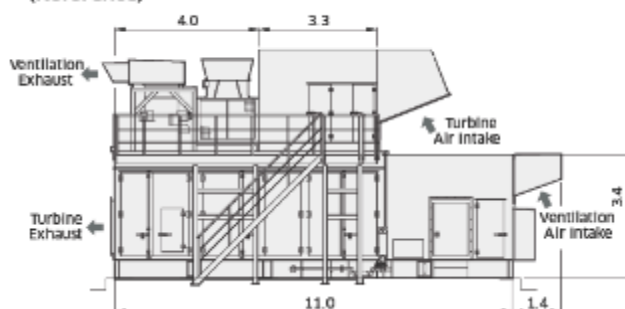
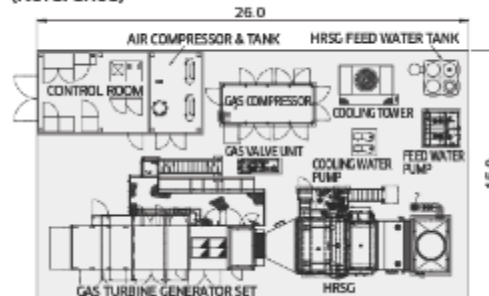


図 5-5 ガスコージェネレーションシステム³⁷

■ GPB80/80D Typical Package Outlook : m (Reference)



GPB80/80D Typical Layout : m (Reference)



部分負荷性能 (吸気温度 15℃)			
項目/負荷	100%負荷	75%負荷	50%負荷
発電出力 (kWe)	7,660	5,740	3,830
発電ヒートレート (kJ/kWe-hr)	10,830	11,780	14,230
排ガス温度 (℃)	525	516	563
排ガス流量 (×10 ³ kg/hr)	97.3	84.3	66.4
HRSG 蒸気発生量 (×10 ³ kg/hr)	17.0	14.4	13.1
総合熱効率 (%)	83.1	82.6	83.8

図 5-6 ガスタービン (8MW 級) の概要³⁸

³⁷ JCM 事例紹介, 繊維工場におけるコージェネレーション設備への排ガス熱交換器の導入による高効率化 https://gec.jp/jcm/jp/projects/19pro_tha_02/ より引用

³⁸ 川崎重工: "Kawasaki Heavy Industries, "M7A Gas Turbine Series / Gas Turbine Generator Sets Brochure"

https://global.kawasaki.com/en/energy/pdf/Green_Brochure.pdf?utm

5.2.3 想定する事業スキーム

本設備は、ガスパイプラインが整備されている工業団地の入居企業又は入居を予定している企業に導入することを想定している。

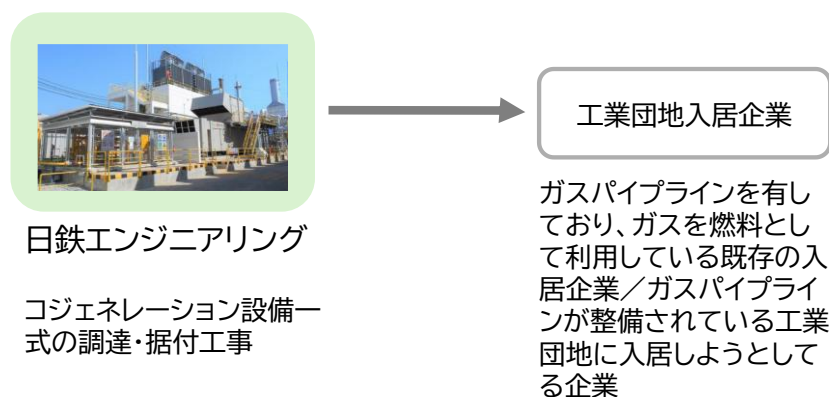


図 5-7 事業スキーム（コジェネレーションによるオンサイトエネルギー供給）³⁹

5.2.4 調査内容

本年度は1年目の案件形成であることから、以下の項目について机上調査を実施した。

1. 工業団地入居企業へのエネルギー供給に関する法制度・規制
2. テランガナ州工業団地におけるガスパイプラインの整備状況
3. ガスコジェネレーションシステムの導入可能性調査

5.2.5 調査結果

(1)エネルギー供給に関する法制度・規制

インド・テランガナ州におけるエネルギー供給に関する主な法制度・規制を下表に示す。

コジェネレーション設備を導入する際は、環境クリアランス(EC)判定に関する申請や、設置・運営同意許可の変更手続き、発電設備ポータルサイトへの登録等が必要となる。

³⁹ 写真は、日鉄エンジニアリング株式会社のホームページより引用
<https://www.eng.nipponsteel.com/company/globalnetwork/nset/>

表 5-4 工業団地入居企業へのエネルギー供給に関する主な法制度・規制

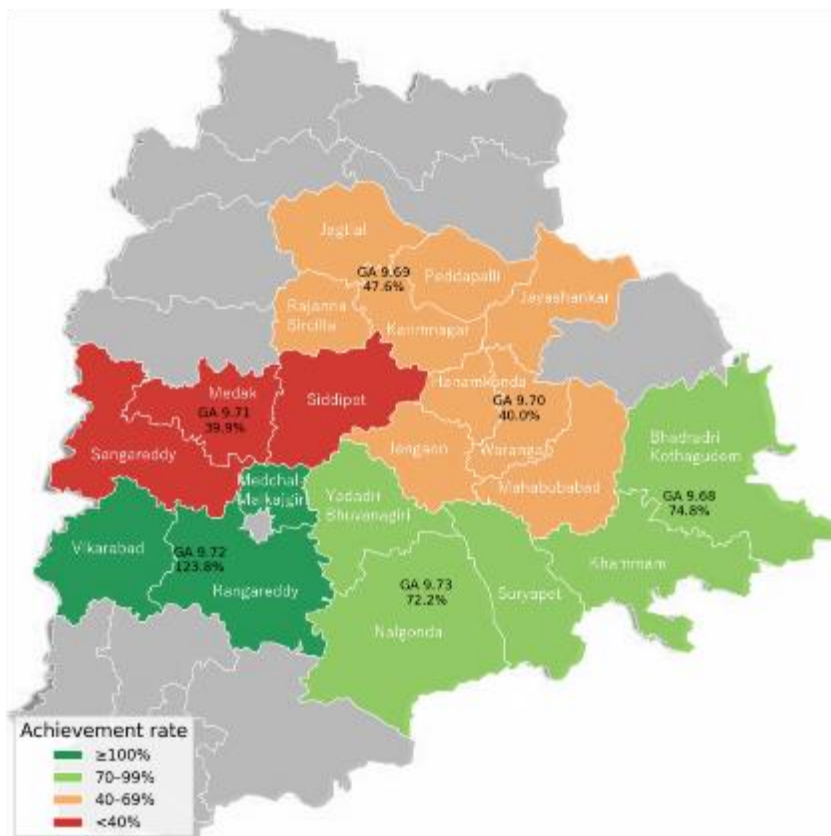
法制度・規制	根拠法令	対象	概要
自家発電設備 (CGP)に関する規定	Electricity Act, 2003	発電事業者、自家発電設備保有事業者	<ul style="list-style-type: none"> CGPに関する規定であり、発電設備の株主が発電電力量の51%以上を自ら消費し、かつ株主が発電設備の持分を26%以上保有している場合にCGPと認められる CGPと認定された場合、発電事業ライセンスの取得をせずに運転することができる
エネルギー合理化法 2001・PAT 制度	エネルギー消費合理化法 2001 (改正)・BEE PAT Scheme	指定大口消費者 (9業種)	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費量が一定規模以上の事業所は「指定大口消費者」として指定される。 指定大口消費者は、法令に基づき定期的なエネルギー監査を実施する義務があり、通常は3年ごとに監査を行う。 PAT (Perform, Achieve and Trade) 制度では、各事業所にエネルギー効率改善目標が設定され、目標を上回って削減したエネルギー量は省エネ証書 (ESCert) として発行され、市場で取引することができる
発電ユニット登録 (CEA 統計規則)	CEA 統計規則 2007 (第4,5条)	発電事業者、自家発電設備保有事業者	<ul style="list-style-type: none"> 設備容量が0.5MW以上の発電設備については、中央電力庁 (Central Electricity Authority : CEA) が運営する全国発電設備登録ポータルに設備情報を登録する必要がある 運転開始後、毎年の発電実績等について報告が義務付けられている
PNGRB ガス供給ガイドライン 2020	PNGRB 規則 2006、2020	産業用ガス消費者	<ul style="list-style-type: none"> ガス供給に関して、MRS (ガス調整計量所) の下流側の配管の設計・施工・試運転を行う場合はPNGRB (石油・天然ガス規制委員会) が認定した第三者機関による検査証明書が必要。 パイプラインはPNGRB認可のパイプラインに接続される必要がある
環境クリアランス (EC)	EIA 通知 2006	火力発電所・コージェネ事業者	<ul style="list-style-type: none"> 火力発電設備 (ガスコジェネレーション) を設置する場合、EIAの対象になるかどうかを発電容量と燃料種で判定され、対象となる場合は500MW以上はCategory A (中央政府の手続)、それ未満はCategory B (州政府の手続) と区分される
設置・運用同意許可	Water Act, 1974 / Air Act, 1981	工業団地全体、および個別入居企業の全事業者	<ul style="list-style-type: none"> 建設前 (CTE) と操業前 (CTO) にSPCBから取得Red / Orange / Green / White の4つの業種カテゴリーがあり、それによりCTE・CTOの有効期間や、立地制限、監査頻度が異なる 大気・水質汚染防止設備の設置と基準遵守が条件 既に許可を取得している事業者においても、新たに設備を設置する場合は、変更申請を行う必要がある
TSERC 開放システム規則 2024	Telangana TSERC Open Access Reg 2024	州送配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> 送配電システムを利用して電力を搬送するオープンアクセス取引について、申請・計量・精算 (料金計算) に関する要件が定められている 発電した電力を自家消費目的で搬送する自家消費者については、クロスサブシディー・サーチャージ[*]を課さない規定がある

※ 地元の電力配給会社から離れて外部から電力を購入する (オープンアクセス) 際に支払わなければならない追加料金

(2) テランガナ州工業団地におけるガス配管の整備状況

ハイデラバード周辺におけるガス配管の整備状況を下図に示す。

多くの地区では予定より工期が遅れているが、一部地区（Medchal-Malkajgiri 地区、Vikarabad 地区、Ranga Reddy 地区）では予定よりガス配管の整備が進んでいることが分かった。



注 達成率 100%以上は、予定より工事が進んでいることを意味する

図 5-8 地区別のガス配管の整備状況⁴⁰

(3) コージェネレーションシステム導入可能性の検討方法

本調査では、コージェネレーションシステム導入の可能性を評価するため、①ガス配管の整備状況、②大規模工場の入居状況、③PAT 制度における指定業種の該当性の三つの観点から評価を実施した。

これらの観点を設定した理由は次のとおりである。

- ① ガス配管が整備されていない工場にコージェネレーションシステムを導入する場合には、新たにガス供給インフラを整備する必要があり、そのためにはガス供給会社の協力が不可欠となる。

⁴⁰ PNGRB: “Progress of PNG D, CNG and Pipeline (inch-km) in the Country - December 2025 / Actual Progress vis-à-vis MWP Targets as on 31.12.2025” をもとにエックス都市研究所作成
<https://pngrb.gov.in/data-bank/20251231-CGD-MIS.pdf>

- ② 下表に示すとおり、ガス価格は再生可能エネルギー（太陽光発電）の電力単価と比較して相対的に高い水準にあることから、導入の経済性を確保するためには、エネルギー効率の改善を促す PAT 制度のインセンティブが重要な要素となる。
- ③ PAT 制度の対象が一定規模以上のエネルギー需要を有する事業所に限定されていることに加え、エネルギー需要の大きい事業所ほどコージェネレーションシステム導入によるエネルギー削減効果が大きくなる。

表 5-5 テランガナ州における電気料金の相場⁴¹⁴²⁴³

項目	単価 (Rs/kWh)	備考
太陽光発電	2.45～2.60	発電単価
天然ガス（産業用）	5.3～6.1	以下より Rs/kWh に換算した <ul style="list-style-type: none"> ・ 工業用 PNG の価格 : 57～66 Rs/SCM ・ 天然ガスの発熱量 : 36,965 BTU/SCM ・ エネルギー換算 : 1 kWh = 3,412 BTU ・ 1 SCM = 約 10.83 kWh ※SCM (Standard Cubic Meter) は 15°C、1 気圧のガス体積
州営電気(DISCOM)	6.65～7.65 (従量価格)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固定価格+従量価格の 2 階建て構造 ・ 固定価格は、526 Rs/kW/月（力率 0.95 換算） ・ 従量価格は電圧によって異なっており、11kV では 7.65 Rs/kWh、33kV では 7.15 Rs/kWh、132kV では 6.65 Rs/kWh

(4)コージェネレーションシステム導入可能性の検討結果

テランガナ州の該当地区に所在する工業団地について整理した結果を下表に示す。少なくとも 10 カ所の工業団地においては、ガス配管が一定程度整備されている可能性が高いと考えられた。

⁴¹ Telangana Electricity Regulatory Commission (TGERC) : OP No.29/2025
https://www.tgerc.telangana.gov.in/file_upload/uploads/Orders/Commission%20Orders/2025/17-05-2025-OP_No-29_NLC_FINAL.pdf?utm

⁴² Competition Commission of India (CCI): Order dated 30 Dec 2024
<https://www.cci.gov.in/images/antitrustorder/en/order1735641425.pdf>

⁴³ TGERC (Telangana State Electricity Regulatory Commission) : Tariff Schedule - RST FY 2023-24 (HT-I(A))
https://www.tgerc.telangana.gov.in/file_upload/uploads/Tariff%20Orders/Tariff%20Schedule/Tariff%20Schedule%20-RST%20FY%202023-24.pdf?utm

表 5-6 ハイデラバード近郊の工業団地におけるガス配管整備の状況^{44,45}

工業団地	主要業種 (赤字は PAT 指 定業種)	ガス許 可区域 番号	地区	総面積 (acer)	ガス供給許可 業者	ガス配管整備目標 値(inchkm) (2025 年末)	ガス配管整備実 績値(inchkm) (2025 年末)	達成率 (%)
IP Jeedimetla Phase I	電子機器、製薬、プ ラスチック、食品 等多数	GA9.72	Medchal- Malkajgiri	362.1	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
Cherlapally-Phase III Industrial Park	鉄鋼、電子機器、セ メント 等多数	GA9.72	Medchal- Malkajgiri	96.5	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
Genome Valley	製薬	GA9.72	Medchal- Malkajgiri	2,000	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
IE Vikarabad	化学工業、鉱業等 多数	GA9.72	Vikarabad	372.0	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
Chandanvelle Industrial SEZ	繊維	GA9.72	Ranga Reddy	1,122	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
E CITY SEZ	電子機器	GA9.72	Ranga Reddy	230.5	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
EMC Maheshwaram	電子機器	GA9.72	Ranga Reddy	310.7	Megha City Gas Distribution Ltd	1,414	1,750	123.8
TSIIC_Pashamylaram_ PH-III_IDA	製薬、繊維	GA9.71	Sangared dy	188.0	Torrent Gas Ltd	3,680	1,467	39.9
Food Processing Park	食品	GA9.71	Siddipet	149.1	Torrent Gas Ltd	3,680	1,467	39.9
IP PALONCHA	多数の業種が混在	GA 9.68	Bhadradi	383.7	Megha City Gas Distribution Ltd	580	434	74.8
SFPz_Vangara Industrial Park	食品	GA 9.70	Warangal	116.6	Megha City Gas Distribution Ltd	580	232	40.0
Veliminedu Industrial Park	食品	GA 9.73	Nalgonda	67.0	Megha City Gas Distribution Ltd	1,088	785	72.2
Mega Textile Park	繊維	GA 9.73	Suryapet	1,200	Megha City Gas Distribution Ltd	1,088	785	72.2

注 ガス配管の整備状況は工業団地別でなく区域別に整理されているため、必ずしも当該区域工業団地のガス配管の整備状況と一致するとは限らない

⁴⁴ PNGRB: “Progress of PNG D, CNG and Pipeline (inch-km) in the Country - December 2025 / Actual Progress vis-à-vis MWP Targets as on 31.12.2025”
<https://pngrb.gov.in/data-bank/20251231-CGD-MIS.pdf>

⁴⁵ TGIIC: Industrial Park list(2024)

https://www.tgiic.telangana.gov.in/filePreview/custom/35_2024?fileName=CMS%2FFile_070620241207046099366379.35_2024.pdf&utm

次にガス配管の整備が進んでいると推測される 8 カ所の工業団地について、入居状況を衛星データより確認した結果を下表に示す。

結果、5 カ所の工業団地（Jeedimetla park、E-city、Mega textile park、Genome valley、EMC Park）では大規模な工場の一定程度が入居が確認された。

さらにその中で PAT 指定業種の工場が多く立地していることを条件として加えると、調査対象の中では 1 カ所（Mega textile Park）に限られる結果となった。



入居率が低い

IDA Cherlapally (Phase I-V)



一定程度が入居が確認されたが、中小規模の事業者が多い

IP Jeedimetla Industrial Park



一定程度が入居が確認された

E-city



半分以下の入居率

Vikarabad Industrial Park

図 5-9 テランガナ州工業団地の航空写真⁴⁶ (1/2)

⁴⁶ Google map の衛星写真



一定程度の入居が確認された
Genome Valley



一定程度の入居が確認された
EMC Maheshwaram



半分程度の入居率
Mega Textile Park



入居率が低い

Chandanville Industrial SEZ

図 5-10 テランガナ州工業団地の航空写真 (2/2)

注 Veliminedu Industrial Park、IP PALONCHA は、入居状況が確認できなかったため、評価の対象外とした

5.2.6 今後の調査の方向性

天然ガス単価が再エネ単価と比べ2倍以上と高コストであること、ガス配管の整備状況、工業団地の入居状況を踏まえるとガスコジェネレーションシステムを導入する余地のある工業団地は限られていることから、現状では本設備導入のニーズは限定的であると考えられた。

一方で、「テランガナ州エネルギー効率化に向けたアクションプラン⁴⁷」によると、ボイラー燃料を重油から天然ガスに移行する旨の方針を打ち出していること、PAT 制度の対象事業者数が増加していることから、今後ボイラーの更新に伴いガス燃料を利用する事業者が増加することが見込まれる。

以上を踏まえ、今後も引き続き現地の設備導入候補事業者の選定に向けた調査を進める。

⁴⁷ Telangana: STATE ENERGY EFFICIENCY ACTION PLAN(2024)

6. エコタウン形成に関する調査

6.1 目的

インドでのエコタウン形成は、インド最大手のインフラ企業でもあり廃棄物処理事業も行うラムキーグループのリサイクル技術力や保有設備・人材の能力等を高めることで、資源循環・脱炭素、ひいてはこれらによる自然環境の保全や再生を促し、インドの自然環境や住民の生活環境を維持しながら経済成長を支える同国の持続可能な発展に寄与するものである。

昨年度はインドでのエコタウンのあるべき姿をコンセプトとして ReSL 社やテランガナ州政府等に提案し、エコタウンへの理解の醸成とコンセプト達成に向けて必要な機能の洗い出しを行った。

本年度は、エコタウン推進のため、インドに必要なリサイクル法制度構築に向けたスキームの検討を行う。また、行政・事業者・地域住民の意識醸成や、脱炭素及び廃棄物資源化技術開発の中核を担うインド版エコタウンセンターのコンテンツを提案することを目的とする。

6.2 方法

1. インドへのエコタウン推進を目的として、昨年度より引き続きエコタウンへの理解の醸成を図りつつ、リサイクル法制度構築に向けたスキームの検討を行った。
2. インド版エコタウンセンターに関し、対象とする地域の資源や地域特有の課題等の状況に適したコンテンツを提案した。

6.3 結果

6.3.1 エコタウンへの理解の醸成

(1) 北九州市-テランガナ州の友好協力協定の締結

4月にテランガナ州大臣がエコタウン視察、北九州市企業（本事業の共同実施者）とエコタウン推進に向けた LOI を署名した。

6月に北九州市長がテランガナ州創立記念日に招聘され、エコタウン推進を含む友好協力協定が締結された。



LOI 署名式（北九州市）



友好協力協定締結式（テランガナ州）

(2) アンドラプラデーシュ州商工大臣来訪

10月にアンドラプラデーシュ州商工大臣が北九州来訪し、エコタウンを視察した。視察を通じて、サーキュラーエコノミーを推進する工業団地・都市開発の重要性を説明した。

結果、同州 Kurnool 市から北九州市宛にエコタウン事業導入意向書が提出された。



アンドラプラデーシュ州商工大臣（エコタウンセンター）

6.3.2 リサイクル法制度構築に向けたスキームの検討

11月にインド工業連盟（CII、日本の経団連に相当する団体）主催の国際会議にて、日本の資源循環政策や北九州エコタウンを紹介した。また、同月にテランガナ州政府高官（商工省）、TGIC（テランガナ州産業インフラ公社）代表の間で打合せを実施した。

結果、エコタウン事業については、インフラ整備にとどまらずサーキュラーエコノミーの仕組みづくりも含め実装することが重要であり、その上で北九州市の経験をもとに政策立案・仕組みづくりについて協力してほしいとの要請を受けた。

後日、上記の要請を具体化するため、(仮称)サーキュラー委員会の立ち上げを提案した。

本委員会の構成は、産学官連携を軸としており、行政においてはエコタウン事業推進のため複数の部署に横断する形となっている。日本側は、過去のエコタウン事業や産官学連携のノウハウを活かしてサポートを行う体制となっている。

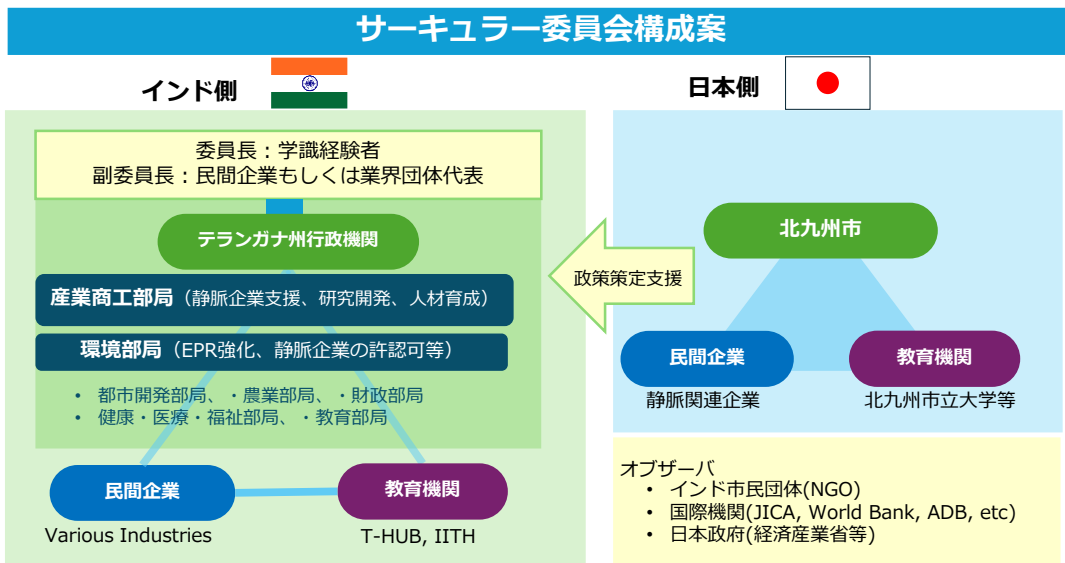


図 6-1 (仮称) サーキュラー委員会のスキーム

6.3.3 インド版エコタウンセンターのコンテンツの提案

脱炭素・循環型エコタウンの実現に向けた行政・事業者・地域住民の意識醸成や、ダウ炭素及び廃棄物資源化技術開発、新たな資源循環ビジネスのスタートアップの中核を担うエコタウンセンターに関し、センターの機能や役割を提案した（内容は参考資料参照）。

また、このエコタウンセンターは収益性がなく、民間事業者では維持することが困難であるため、州政府の財源を活用し、整備・運用を進めて行くことをテランガナ州政府へ提案した。なお、この提案においては JICA インド事務所の助言を受け、すでにテランガナ州政府に供与されている有償資金協力「テランガナ州における企業・イノベーション促進事業（事業費 236.97 億円）」の一部を同センターの整備に流用する案も出され、これを踏まえテランガナ州の担当部局との調整を行った。

インド版エコタウンセンターである（仮称）サーキュラーセンターについて、テランガナ州政府に対し以下のコンテンツを提案した。

（仮称）サーキュラーセンターは、エデュテイメント・ビジネスや人材育成の取組のみではセンター運営の継続が難しいため、小売・飲食、コンベンション・シェアオフィスの事業を実施することで補完する構成になっている。

表 6-1 (仮称) サーキュラーセンターのコンテンツ案

項目	内容
①建物の環境配慮	環境に配慮した建築素材(リサイクル材)、建築工法やデザインであり、建物自体も学びにつながるセンターとする
②日本技術のPR	日本の最新の技術を採用し、日本企業の品質やアイデアなどが感じられる施設とする
③エデュテイメント・ビジネス	環境学習施設だけでなく、レジャー要素や会議室等のビジネス要素を備え、日常的に市民が集まる施設とする
④人材育成	<ul style="list-style-type: none"> ・インドの環境問題に関わる情報発信プラットフォームとなるとともに、環境人材の育成を図り、州内の廃棄物問題を主体となって解決していくメンバーを育成する施設とする ・将来、インド全土へ廃棄物管理・啓もう活動を行う自治体への指導・発信拠点となるような育成センターを目指す
⑤小売・飲食	環境をコンセプトとした小売り・飲食事業の不動産貸し出し(テナント事業)を行い、サーキュラーセンター来館者への小売・飲食事業を行う施設とする
⑥コンベンション・シェアオフィス	来館者へのセミナー・国際会議、シェアオフィス等行い、オフィス貸し出し・部屋貸し事業を行いながら情報発信・会議等が行われる機能を持つ施設とする

コンベンションフロア: 小会議(10人)～大会議(200人)に使用できるスペースとしても活用(人事育成と併用)

【4階】

人材育成・インキュベーションフロア: 環境教育人材の育成や職業訓練に係る教員の研修施設、**研究開発・ビジネス化支援サービス提供**
会議室: 小会議(10人)～大会議(200人)に使用できるスペースとしても活用

【3階】

環境学習・企業PRフロア: 環境問題、ごみ処理のしくみ、ごみ分別等を学ぶ展示物設置、ガイド配置
 企業のリサイクルや環境関連の取組PR展示コーナー
 (学校や企業の視察向け)

【2階】

飲食・物販フロア: エコ食材、食器などを使用したカフェテリア、環境グッズなどお土産物の物販用テナント

【1階】

エデュテイメントフロア: 環境や産業について遊びながら学べる施設

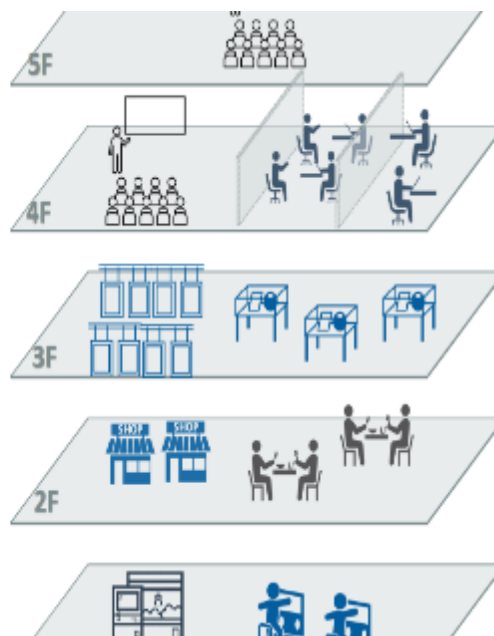


図 6-2 (仮称) サーキュラーセンターのイメージ

6.3.4 今後の調査の方向性

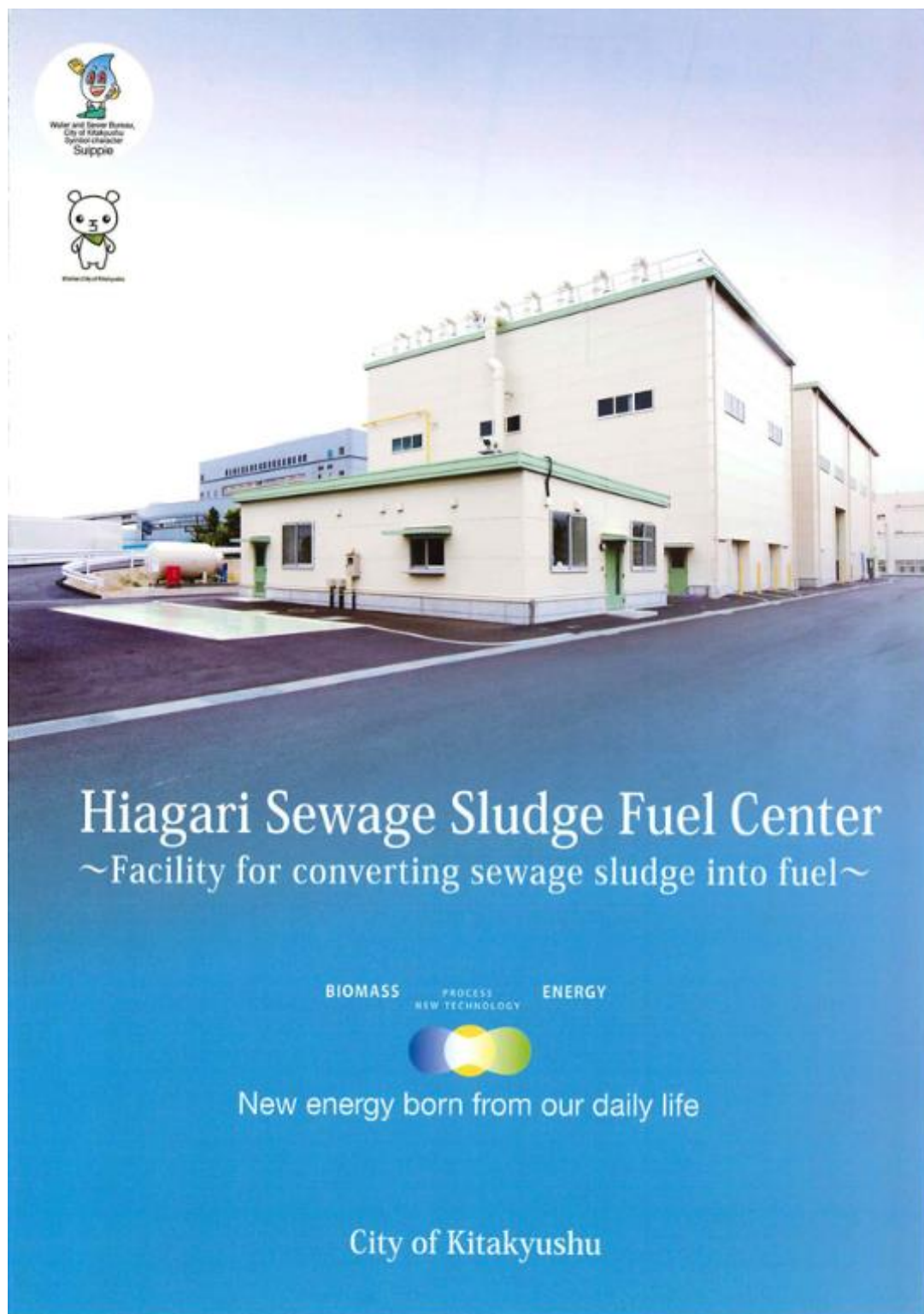
エコタウンのコンセプトについては、当初の構想からインド側との協議を重ねることで、徐々に現実的な案として具体化された。次なるアクションとしては、政府の理解促進、実施場所の選定、事業スキームの具体化、日印共同実施のための体制構築など、多岐にわたる課題が控えている。これらの作業と並行して、エコタウンのコンセプトに整合した個別のリサイクル事業についても検討を進める。

また、単なるハード面の整備にとどまらず、回収された廃棄物が施設内で再生され、立地する製造業において資源として再び有効活用される「資源循環システム」を機能させることが不可欠である。

そのため次年度以降、これらに係る政策立案や仕組みづくりに向けた議論を行う「(仮称)サーキュラー委員会」の立ち上げを支援することとしている。

参考資料

(1) 汚泥固形燃料化システム J-COMBI(1/3)



出典：北九州ジェイコンビシステム株式会社提供資料

汚泥固形燃料化システム J-COMBI(2/3)

Purpose of Project

PROCESS
NEW TECHNOLOGY

By producing fuelized product from a biomass resource, sewage sludge, and using it as an alternative fuel to coal, this project aims at promoting the conversion of sewage sludge into a resource and contributing to the prevention of global warming by reducing emission of global warming gas. And hence, this project also contributes to efforts to create a low-carbon society (with reduced CO2 emission) in City of Kitakyushu which aspires to be a sustainable future city.

Summary of Project

PROCESS
NEW TECHNOLOGY

Project name : Kitakyushu Sewage Sludge Fuelization Project
Project method : DBO (Design, Build, Operate) method*
Project site : In the premises of Hiagari Treatment Plant, Nishiminatomachi 96-3, Kokurakita-ku, Kitakyushu
Total project cost : About 1.8 billion yen for construction and about 2.8 billion yen for maintenance for 20 years

Project period
(1) Design and construction
March 22, 2013 - September 30, 2015
(2) Maintenance and operation
October 1, 2015 - September 30, 2035 (20 years)
*DBO method: Private companies are totally in charge of "design, build and operate" and the public sector has ownership and is in charge of financing.

Characteristics of sludge fuelization system

PROCESS
NEW TECHNOLOGY

This system is composed of the "granulation process" in which granulation is carried out by stirring the mixture of recycling pellet and sewage sludge in twin shaft mixer and the "drying process" in which produced grains are dried with hot wind of about 450 degrees C in a drying drum.

When using drying gas, a negative-pressure circulation method is used and part of extraction gas extracted by the condenser, from which moisture corresponding to its evaporate water is condensed, will be burnt for deodorization and emitted so that foul odor will not spread.

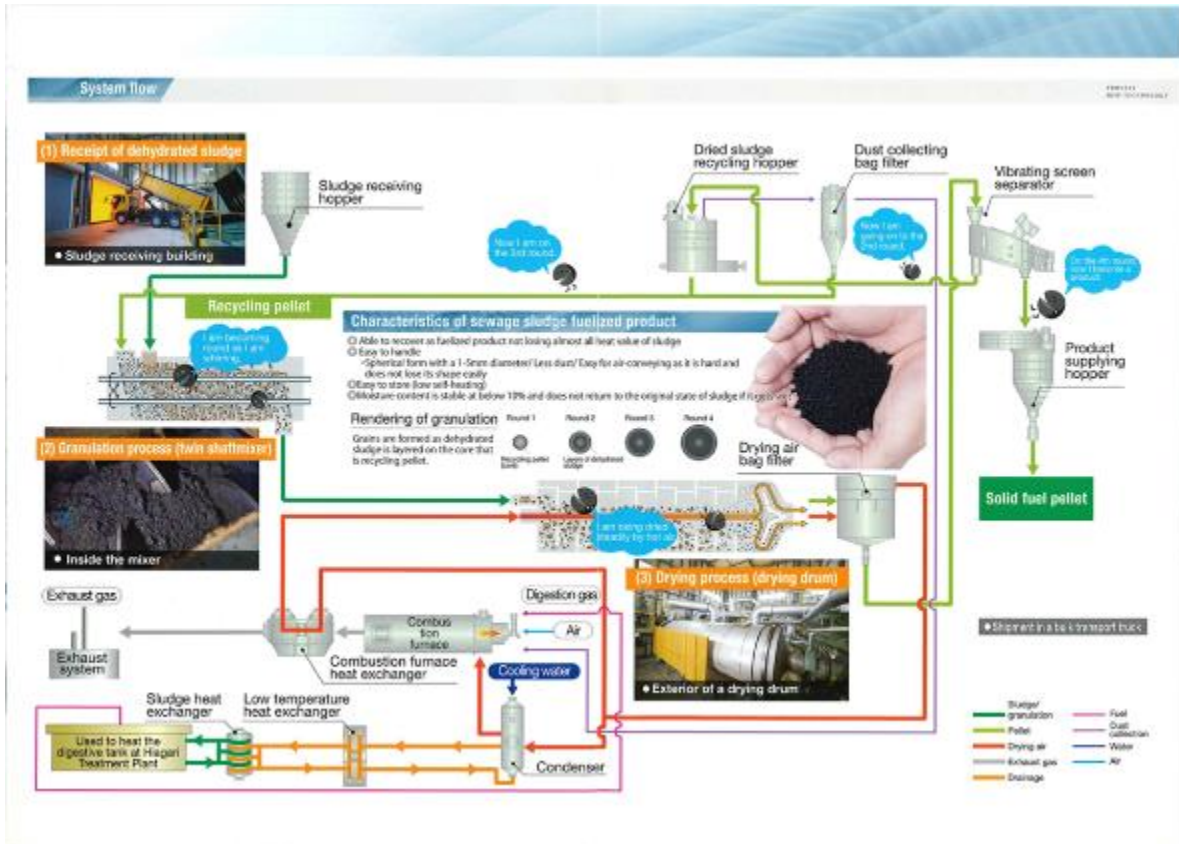
The digestion tank is heated with waste heat obtained from the condenser and, hence, "effective use of energy" at the plant is promoted.

At each place where equipment is located and the building to receive sewage sludge, foul odor is absorbed and deodorized with active carbon filter and "self-regenerative photocatalytic deodorization equipment" installed on the rooftop of the sludge receiving building.



*Active carbon filter deodorization equipment (left) *Photocatalytic deodorization equipment is installed on the roof of the sludge receiving building (right)

汚泥固形燃料化システム J-COMBI(3/3)



Summary of Project

Local community (City of Kitakyushu)
 Generation of sewage sludge
 Effective use of waste (sewage sludge) generated in Kitakyushu
 Carbon-neutral fuel reduces CO2 emission by about 11,200t annually
 Biomass recycling / Reduced global warming gas
 Sewage Treatment Plant (Higashi Treatment Plant)
 Fertilization of sewage sludge
 Using as biomass energy
 There is the city (use of fuel) alternative to coal
 Contrasting to local and within for local consumption (biogas, CO2 captured through biomass energy)

Map of Plant

Higashi Industrial Park
 Kitakyushu City
 Kitakyushu City (City of Kitakyushu)
 Kitakyushu City (City of Kitakyushu)
 Kitakyushu City (City of Kitakyushu)

Layout drawing

Design and construction: Sales Division, Headquarters, Nippon Steel Engineering Co., Ltd.
 Maintenance and operation: Kitakyushu J-COMBI Co., Ltd.

Summary of Plant

- § Fertilization method: Granulation and drying method (J-COMBI)
- § Processing capacity: 70t/day, 1 system
- § Sludge processed: Untreated sludge *Collected from four Treatment Plants in the city (Shinmachi Sewage Treatment Plant, Sone Sewage Treatment Plant, Kougasaki Sewage Treatment Plant, Kitaminato Sewage Treatment Plant)
- § Production of fertilized material: About 20t/day
- § Caloric value of fertilized material: About 1694kJ/kg-wet (depending on the material's sludge characteristic) *2/3 of caloric value of coal
- § Main fuel: Digestion gas
- § Waste heat utilization: Digestion gas: Carbon-neutral biogas fuel generated by methane fermentation of sewage sludge; Heating of the digestion tank using waste heat obtained from the Condenser
- § Total land area: 6,400m²
- § Total building area: 1,300m²

Design, construction, operation, maintenance, etc.

(2)NCT エコシステム(1/3)



NCT ECO SYSTEM

This system uses the special microorganism PMB-01 bacteria to convert the waste into resources in 8 hours.



PMB-01 decomposes into compost in 8 hours.



PMB-01 is fed 1/10000 of PMB-01 to the residue for fermentation and decomposition. PMB-01 has a unique property that it can withstand hot air drying at 170° C and work actively even in a high-temperature fermentation dryer used for garbage disposal.

Features of the NCT ECO System

Safe and Clean Decomposition at high temperature in a special equipment kills general bacteria.

PMB01 bacteria decompose residues in a short time. No bad odor is generated during fermentation and decomposition. The dedicated equipment is very easy to operate and safe to use with the latest electronic control system.

Low-cost Power is provided by electricity and gas (kerosene can also be used).

Hot air is delivered for fermentation and drying, and residue treatment takes only about 8 hours per batch. The system is equipped with a heat source that converts waste oil into energy as fuel.

Product Utilization The smooth dried products are the best agricultural and livestock materials.

The compost, which is fermented and decomposed using microorganisms, can be used as soil conditioner and fertilizer for agricultural land. It can also be used as feed for livestock and fisheries.

出典：新ケミカル商事（株）提供資料

NCT エコシステム(2/3)

Examples of Fermentation and Decomposition



The system is designed to process articles by sending food to the entire process, from feeding the residue to taking it out to automated. The specifications of the equipment vary depending on the amount of residue to be treated.



Decompose food residues such as fish, meat, and vegetables, etc. 1/10000 amount of NCT-B and 100 gram for microorganism adjustment are added to the 1 unit residue.



It takes 1 to 2 hours to make in about 2 hours after being put in. (Kani bones, shell, bones, marrow, and so on) can be decomposed. The product is automatically discharged from the equipment.

It is designed to meet the customer's installation site conditions. The following list is a guide to basic specifications.

Model	NCT-100	NCT-250	NCT-500	NCT-1000	NCT-2000
Capacity	100/100kg	250/250kg	500/400kg	1000/800kg	2000/1600kg
Processing time	8h	8h	8h	8h	8h
Maximal power	1500	2250	4450	5000	5500
Maximal dimensions	2100	2255	2400	1900	1800
	1500	2400	2500	2500	2500
Electric power	2-Φ/200V/20kw	2-Φ/200V/25kw	2-Φ/200V/30kw	2-Φ/200V/35kw	2Φ/200V/40kw

About PMB-1 Microorganisms



PMB-01 bacteria is a microorganism developed by (企業名), and joint research with NCT has shown that when food residues are used for composting, PMB-01 bacteria grows and is expected to be effective in improving the soil.



Microbial bacteria count test when composted with PMB-01 bacteria (PMB-01 bacteria in the middle)

test data



18 hours



200 hours



280 hours dock change




500 hours

Inhibition verification test against *Fusarium* spp.

(This data is a test of the suppressive effect of 10¹⁰ 1 are and more, not their full effect on the 1 grade.)

NCT エコシステム(3/3)

PMB-01 Field test



Comparative verification test with PMB-01 sprayed.(Left: Comparison area; Right: PMB-01 area)

Comparative verification test with PMB-01 original fertilizer application.(Left: PMB-01-applied area; Right: Comparison area)

Building a Recycling-Oriented Society with NCT ECO SYSTEM

As global warming accelerates, waste management in Japan is no exception. Organic residues, which can be effectively utilized, are currently incinerated, generating a large amount of Co2. In addition, inorganic raw materials used as fertilizer raw materials also generate a large amount of CO2, and the movement to effectively utilize food residues is accelerating worldwide.

NCT ECO SYSTEM will support the environment and agriculture in Japan with its technology that can solve these problems so as to be effective in agriculture as well.

What can we do now? We are doing what we can do, little by little.

Higashi Izu Town Food Recycling Project

In Higashi Izu Town, food residues generated in the town are converted into fertilizer for effective use. Until then, all food residues were incinerated, and our system was introduced as part of our efforts to strengthen the SDGs from the perspective of environmental friendliness. The commercialized fertilizers are used within the town and purchased by our company for nationwide distribution. Our environmental business offers recycling systems in a wide range of fields, including plastic recycling and waste oil recycling, as well as food recycling. We are expanding our business not only domestically but also overseas.



Town facilities Interview with Mayor of Iwai

(3)PMB-1(微生物資材) (1/5)



Tampa, Florida
08/02/2016

Applications of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 for managing Tomato bacterial wilt and *Fusarium* wilt of cucumber

Hau-Ping Chou, I-Chang Yang, Yi-Hsien Lin, Tze-Chang Huang, and Wen-Ling Deng*



Introduction

- > In order to achieve sustainable agriculture, developed countries currently emphasize the implementation and validation of Good Agricultural Practices.
- > Good Agricultural Practices is a collection of practice principles to apply for agricultural production, resulting in safe agricultural products.
- > Pest control is an important problem during the process of planting crops. Thus, implementation of healthy agriculture is highly related to plant protection work.

2

Biological control

> *Bacillus* spp. (Gram-positive bacteria)

1. Kaohsiung DARES used a local strain of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control the 'Incurable crop diseases' including bacterial wilt and *Fusarium* wilt. This is a new phase in plant protection in Taiwan.
2. *B. amyloliquefaciens* PMB01 can produce many extracellular lytic enzymes (celluloses, proteases, lipases, amylases) and antibiotics (Iturin A, fengycin, surfactin), and has great potential in crop disease management

Bacterial wilt caused by *solanacearum*, has a very wide host range. Among over 200 host species, Solanaceae plants such as tomato, potato, eggplant, and pepper are the most seriously affected.







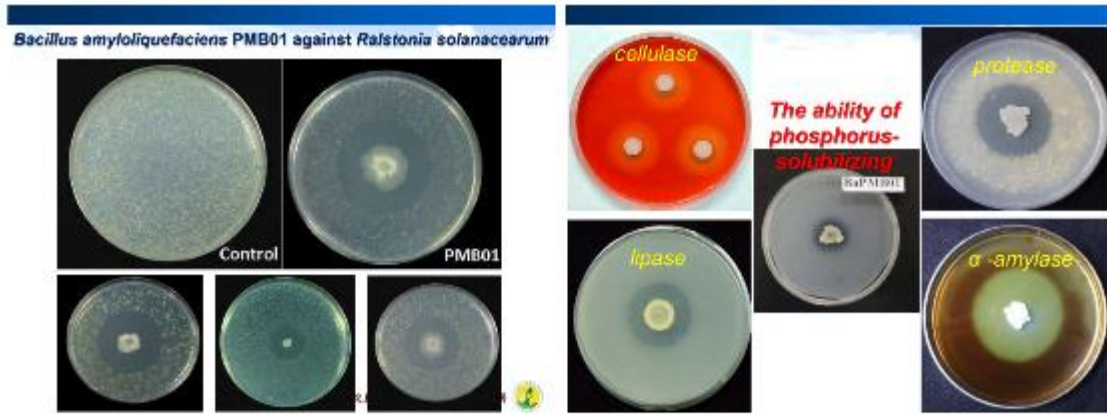

Fusarium wilt is a soil-borne disease caused by different formae specialis (f.sp.) of the fungal pathogen *Fusarium oxysporum*. It is considered a key limiting factor to the cultivation of beans and gourds.

Bacillus amyloliquefaciens PMB01 against *Fusarium oxysporum*




出典：新ケミカル商事（株）提供資料

PMB-1(微生物資材) (2/5)



PMB-1(微生物資材) (3/5)

Application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control **Fusarium wilt of cucumber** (Pingtung, Taiwan, 2014) (21 days after 5th spray)

Treatment with PMB01 11.6%
CHECK 47.7%

行政院農業委員會高雄區農業改良場

Table 1. Application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control **Fusarium wilt** caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *tracheophyllum*.^a

Treatments	Disease severity (%)						
	7 days after 1 st spray	7 days after 2 nd spray	7 days after 3 rd spray	7 days after 4 th spray	7 days after 5 th spray	14 days after 5 th spray	21 days after 5 th spray
B _g PMB01 (10 ⁷ CFU/ml)	0a	0a	0.5a	1.6a	2.6a	2.4a	3.2a
Blank ^b	0a	0.2a	2.7b	4.5b	12.6b	17.6b	24.7b
CK	0a	0.4a	2.8b	5.2b	15.7c	23.5c	29.4c

^a Experiments was performed with randomized complete block design (RCBD), 3 replications as described in Table 7. The numbers in the same column followed by the same letters were not significantly different according to LSD ($\alpha = 0.05$) analyzing.

^b The treatment " Blank" was culture medium only.

行政院農業委員會高雄區農業改良場

Fusarium Wilt of Asparagus beans

15

行政院農業委員會高雄區農業改良場

Application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control **Fusarium wilt of Asparagus beans** (Pingtung, Taiwan, 2014) (21 days after 5th spray)

Treatment with PMB01 3.2%
CHECK 29.4%

行政院農業委員會高雄區農業改良場

Bacteria Wilt Control of Tomato and Eggplant

17

行政院農業委員會高雄區農業改良場

Use of complex strains (Including *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01) to control bacterial wilt of eggplant

CK : 2.0%
Treatment with biological agents : 21.6%

行政院農業委員會高雄區農業改良場

PMB-1(微生物資材) (4/5)

Table 2. Application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*.

Treatments	Disease severity (%)						
	7 days after 1 st spray	7 days after 2 nd spray	7 days after 3 rd spray	7 days after 4 th spray	7 days after 5 th spray	14 days after 5 th spray	21 days after 5 th spray
BaPMB01 (10 ⁷ CFU/ml)	2.4a	3.2a	4.5a	5.4a	6.3a	7.2a	8.2a
Blank ^a	4.1b	7.7b	13.4b	19.0b	26.4b	32.6b	39.5b
CK	5.0b	10.1c	15.6c	22.7c	29.4c	37.5c	43.2c

^a Experiment was conducted with RCBD, each treatment was 120 plants with 3 replicates. BaPMB01 broth with 200 - 300ml of 10⁷ cfu / ml was drenched around the base of each tested plant. The disease severity is 2% - 3% before treatment. The same letters in the same column followed by the same letters were not significantly different according to LSD (p = 0.05) analysis.

The treatment " Blank" was culture medium only.

行政院農業委員會高雄區農業改良場

Application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control bacterial wilt (Kaohsiung, Taiwan, 2012)



行政院農業委員會高雄區農業改良場

Table 3. Application of *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 to control *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum*.

Treatments	Disease severity (%)						
	7 days after 1 st spray	7 days after 2 nd spray	7 days after 3 rd spray	7 days after 4 th spray	7 days after 5 th spray	14 days after 5 th spray	21 days after 5 th spray
BaPMB01 (10 ⁷ CFU/ml)	5.1a	6.7a	7.2a	1.8a	9.4a	10.2a	11.6a
Blank ^a	8.3b	18.3b	22.6b	29.8b	36.7b	40.7b	43.7b
CK	12.5c	20.6b	25.5c	32.8b	38.5b	43.0c	47.7c

^a Experiment was conducted with RCBD with 3 replicates as described in Table 7. The numbers in the same column followed by the same letters were not significantly different according to LSD (p = 0.05) analysis.

The treatment " Blank" was culture medium only.

行政院農業委員會高雄區農業改良場

B. amyloliquefaciens PMB01防治番茄青枯病(101年美濃-美女番茄)



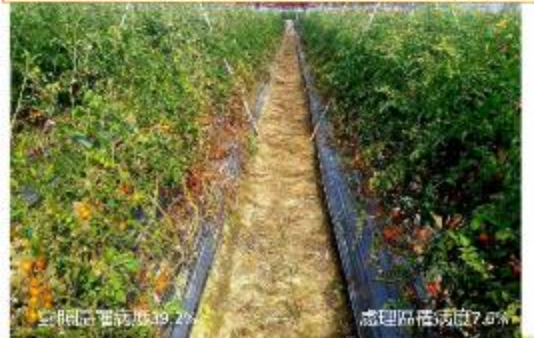
行政院農業委員會高雄區農業改良場

B. amyloliquefaciens PMB01防治番茄青枯病(101年美濃-美女番茄)



行政院農業委員會高雄區農業改良場

B. amyloliquefaciens PMB01防治番茄青枯病(102年美濃-橙蜜香番茄)



行政院農業委員會高雄區農業改良場

***B.amyloliquefaciens* PMB01防治茄科青枯病**

灌注5次液體粉芽孢桿菌，處理區青枯病罹病度僅0.8%，對照區罹病度達41%。

行政院農業委員會高齡化農業推廣

Conclusions—*Fusarium Wilt*

- ◆ The biocontrol agent *B. amyloliquefaciens* PMB01 has great potential for managing soil-borne diseases such as BWT and FWC, and it can reduce the severity of bacterial wilt by 70% or greater .
- ◆ In 2016, the biopesticide *Saviour*® containing *B. amyloliquefaciens* PMB01 as the active ingredient was developed and commercialized in **Taiwan** for integrated management of BWT and FWC.

行政院農業委員會高齡化農業推廣

Conclusions—*Bacteria Wilt*

- ◆ *Bacillus amyloliquefaciens* PMB01 is a Gram-positive bacterium which shares similar morphological and functional characteristics with *B. subtilis*, and it can produce many extracellular lytic enzymes (such as celluloses, proteases, lipases, and amylases) and antibiotics (such as Iturin A, fengycin, and surfactin).
- ◆ The biocontrol agent *B. amyloliquefaciens* PMB01 has great potential in crop disease management, and it can reduce the severity of **bacterial wilt** by over 70%, respectively.
- ◆ Based on toxicity and pathogenicity studies, *B. amyloliquefaciens* PMB01 is non-toxic to mammals.

行政院農業委員會高齡化農業推廣

The technology consists of *B. amyloliquefaciens* PMB01 strain and its large-scale fermentation conditions transferred to **Jia-Non Enterprise Co., Ltd., (Taiwan)** in 2014.

行政院農業委員會
BOARD OF AGRICULTURE, DOORING TSMU

行政院農業委員會高齡化農業推廣

**Thank you
for your attention**

行政院農業委員會高齡化農業推廣

(4) (仮称)サーキュラーセンターの機能・役割

1

PROPOSAL

Cooperation to Create New Environmental Industry in Telangana

1

2

The Need for a Recycling Industry

Why do we need a recycling industry?
Securing resources and avoiding risks (economic security)
Demand for raw materials in the manufacturing industry is increasing, but resources are being depleted. Prices are expected to rise and procurement will become more difficult in the future. Establishing a domestic resource recycling system will control these risks as much as possible and lead to self-sustaining and robust economic growth.

The diagram illustrates the transition from a linear economy to a circular economy. On the left, 'Current Situation' shows a linear flow: 'Resource' (Huge Quantity) → 'Manufacturing' → 'Use' → 'Disposal' (Huge Quantity). This leads to 'Harmful' waste and 'environmental destruction'. On the right, 'Future Situation' shows a circular flow: 'Resource' (Small Quantity) → 'Manufacturing' → 'Use' → 'Collection' → 'Disposal' (Small Quantity) → 'Re-material' → 'Resource' (Small Quantity). This forms a 'Circular Economy' that is 'Eco-Friendly'.

2

1

Businesses that Environmental Industry is aiming for.

3

Continue to use resources repeatedly

- Repeatedly use waste as a resource to prevent depletion of virgin resources.
- Preventing the outflow of funds from domestic companies in importing resources by replacing waste with resources.
- Prevent environmental pollution caused by waste and improve.

Create new industry and expand employment

- Create opportunities for entrepreneurship and employment in a new industry, not waste management.
- Advanced companies around the world are demanding the recycling materials for "Sustainable manufacturing" Increase the supply of recycled material volume in order to increase the competitiveness of domestic companies.

3

Difficulties for the establishment of an Environmental Industry "Eco-complex"

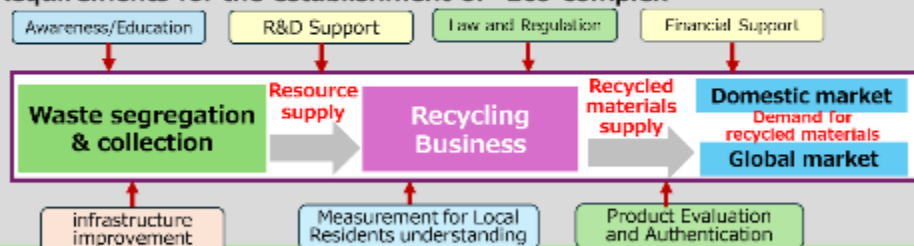
4

1.Laws and Regulation: Waste management regulations and EPRs need to be strengthened and a system to promote the separate collection of Municipal waste and ensure that waste is collected separately.

2.Support for Business :This is not simply waste treatment business. It is necessary to support business creation and stable management as a new industry.

3.Effort to residents' agreement :Waste treatment facilities are perceived as annoyance facilities, and in many cases, there are against movements. Measures to promote understanding among residents are necessary.

Requirements for the establishment of "Eco-complex"

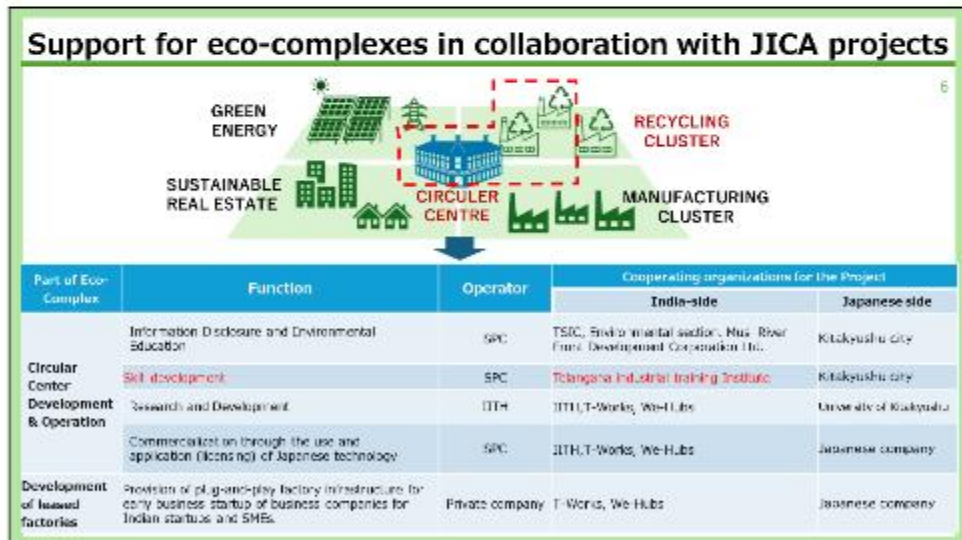


4

2



5



6

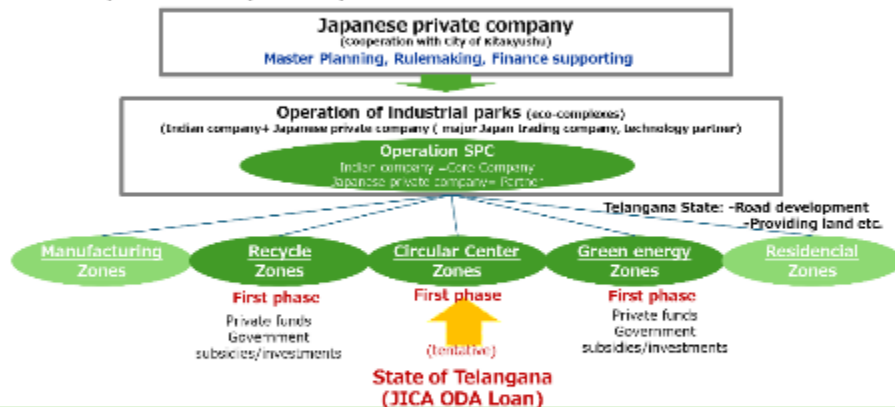
Support for eco-complexes in collaboration with JICA projects

- This proposals to Indian state governments are followings;
 - 1) Development and operation a Circular Centre by a State government
 - It is a Centre of Excellence with functions such as R&D, environmental demonstration research facilities, **skill development**, incubation, and public relation.
 - This Centre will be a source of industrial clusters, but will not generate revenue. Development by the public sector is strongly expected.
 - Kitakyushu City will provide necessary technical support.
 - 2) Development of leased factories
 - Expects to support initial investment by Indian start-up companies and SMEs.

7

(Ref) Proposed Cooperation for the New Environmental Industry Creation by Indian company and Japanese private company (Cooperation with Kitakyushu city)

Eco Complex Structure(tentative)



8

4

(Ref) The Role of Government in Japan's Recycling Industry 9

Objection

Zero emissions: The recycling of all waste back into raw materials, ultimately resulting in zero waste.

Creation of new industries: Create new recycling industries using waste as raw material

Regional development: Improving the local environment for recycling industry, supporting small and medium-sized entrepreneurs, etc.

Role of Government

	Central Government	Local Government
Support for facility development	Facility development subsidies (Recycling facilities, R&D centers, etc.)	Facility development subsidies
Waste collection <i>input of waste</i>	Development of various recycling laws	Separate collection of Municipal waste
Market for Recycling products <i>output of waste as resource</i>	Green Purchasing Act (Law of recycle products purchasing)	Certification system for recycling products (promote Green Purchasing)
Infrastructure development	Receipt of waste and development of storage facilities	Development of waste receiving and storage facilities, development of disposal sites for recycled residuals
Support for R&D	Support for model projects and assistance with FS	Research support system funded by tax, Support for collaboration with research institutions
Administrative structures	-	Centralization of contact points, Establishment and operation of industry-academia-government collaboration organizations
Strategy for neighborhood residents	-	Awareness, information disclosure

9

Key functions of Circular Centre

ODA Loan Scope

1. Visitor Centre Function

◆ Facilities

administrative office, VIP room, seminar room, exhibition room

◆ Activities

Environmental awareness and information disclosure through study visits

2. Incubation Function1 (R&D)

◆ Facilities

demonstration facilities, analytical laboratories

◆ Activities

facility management

3. Incubation Function 2 (Business Development Support)

◆ Facilities

meeting rooms, co-working spaces

◆ Activities

Support by experts in management, finance, legal affairs, business model development, funding, and marketing

4. Skill Development Function

◆ Facilities

skill training facilities

◆ Activities

Providing the employable training and to cultivate & nurture a technical & industrial attitude in the minds.

5. Industrial Park Management Function

◆ Facilities

Visitor Centre Function+ data management system

◆ Activities

Service provision to tenants
-Basic infrastructure provision, data collection and certification for traceability and emissions trading

10

5

CapEx and OpEx (Case of Eco-Town Centre in Kitakyushu City)

11

	1. Visitor Centre	2. R&D Facility for waste treatment
Site Area	1 ha	0.35 ha
Building Area	2,700 m ²	1,500 m ²
Facilities	Administrative office, VIP room, seminar room, exhibition hall	<ul style="list-style-type: none"> Test tanks (7 m x 5 m x 4 m) Wastewater Treatment Facility (Coagulation and Sedimentation, Sand -1 filtration, Chelation Adsorption)
Activities	Environmental awareness and information disclosure through study visits (approx. 100,000 visitors annually)	facility management
Development Cost	Approx. 1 billion yen	Approx. 300 million yen
Operation & Maintenance Cost (outsourced to private sector)	Approx. 100 million yen/year (10 Operational Staffs)	Included in Item 1 (Visitor Centre Function)



Source: Modified based on an image from the Kitakyushu Eco-town Centre website <https://www.dipg.or.jp/eco-town/>

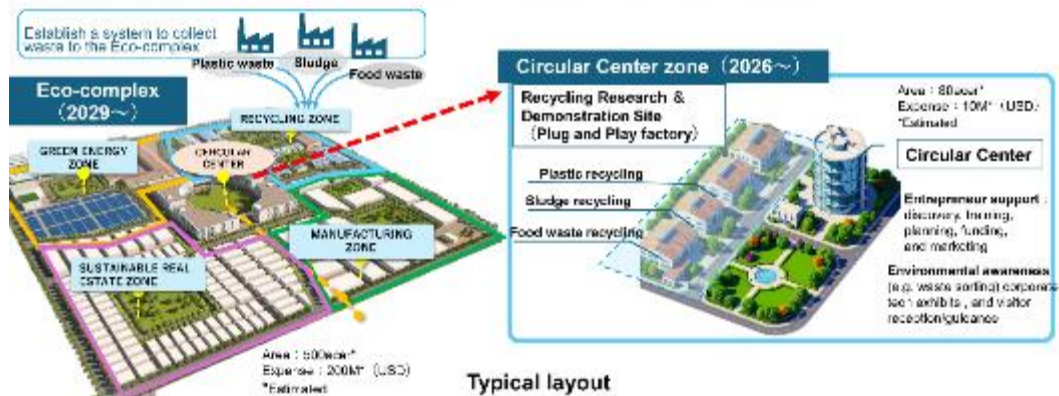
11

The Eco Complex is also equipped with a Circular Center, a core facility for environmental learning, human resource development, and technology development.

Point for recycling business ...

It is important to collect waste to the base to promote resource recycling and to establish a recycling business, and the following system is necessary

- Industrial parks where the state government provides lands must discharge and their wastes into Eco-Complex for appropriate treatment or recycling.
- New recycling company licensed by the state government must operate their recycling activities into the eco-complex.



6

JICA Loan* Project for Promotion of Entrepreneurship and Innovation in Telangana State* and the core facility of India's eco-town initiative, the "Eco-Complex": the "Circular Center".

[Objective]

To foster the environmental industry as a new core sector in Telangana State with the aim of generating employment opportunities and promoting sustainable economic development in the region.

[Project Overview]

As part of JICA's "Project for Promotion of Entrepreneurship and Innovation in Telangana State," a base facility called the "Circular Center" will be established to position Telangana as the hub of India's environmental industry.

[Functions of the Eco-Complex "Circular Center"]

- ◆ **Human Resource Development for the Environmental Industry** : Collaboration with vocational training schools (including training for instructors)
 - ◆ **Research and Development** : Matching of needs and needs; provision of a field site (in a suburban area) for pilot research
 - ◆ **Business Support** : Identification and development of entrepreneurs; business planning; fundraising; marketing assistance
 - ◆ **Environmental Education** : Collaboration with educational institutions and companies; awareness-raising through waste segregation guidance, etc.
 - ◆ **Information Dissemination** : Promotion of Telangana's environmental improvement efforts and advanced initiatives within the Eco-Complex
- } Collaboration with T-Hub, etc.

1

Circular Center Overview

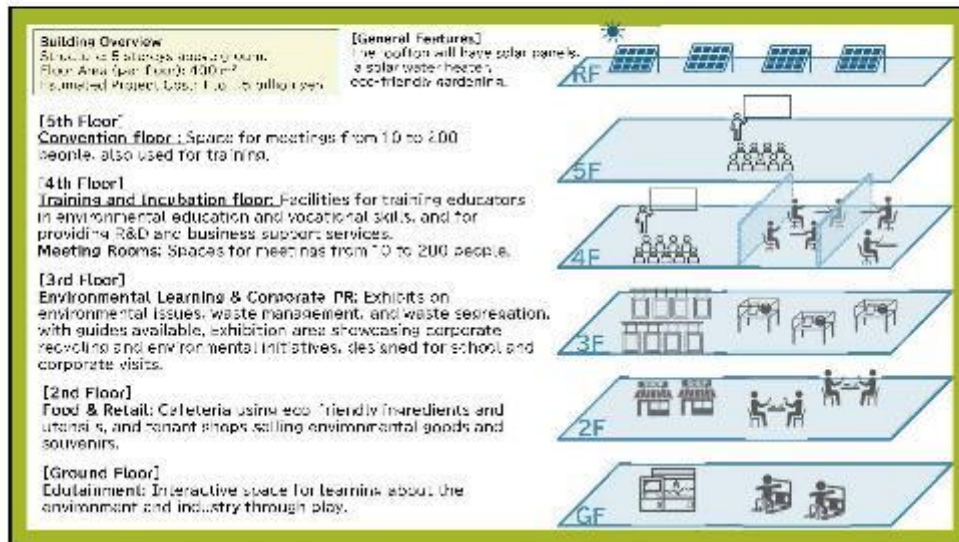
Concept of the Circular Center

- ① **Environmentally Friendly Architecture**
The building will use eco-conscious materials, construction methods, and design, allowing the structure itself to serve as a platform for environmental learning.
- ② **Showcasing World-Advanced Environmental Technologies**
The facility will showcase world-advanced quality and innovation in environmental technologies.
- ③ **Edutainment and Business**
In addition to environmental education, the Center will offer leisure features and business functions such as conference rooms, making it a space where citizens can gather regularly. A central urban location is preferred.
- ④ **Human Resource Development**
The Center will share environmental knowledge and train leaders in waste management, aiming to become a national hub for outreach and capacity building.

To ensure the continued implementation of Concepts ① to ④, the following projects will also be carried out:

- ⑤ **Retail and Food Services**
To stay financially sustainable, the Center will rent space to eco-themed shops and restaurants for visitors.
- ⑥ **Convention and Shared Offices**
The Center will host events and offer shared offices and meeting rooms, serving as a hub for exchange and collaboration.

2

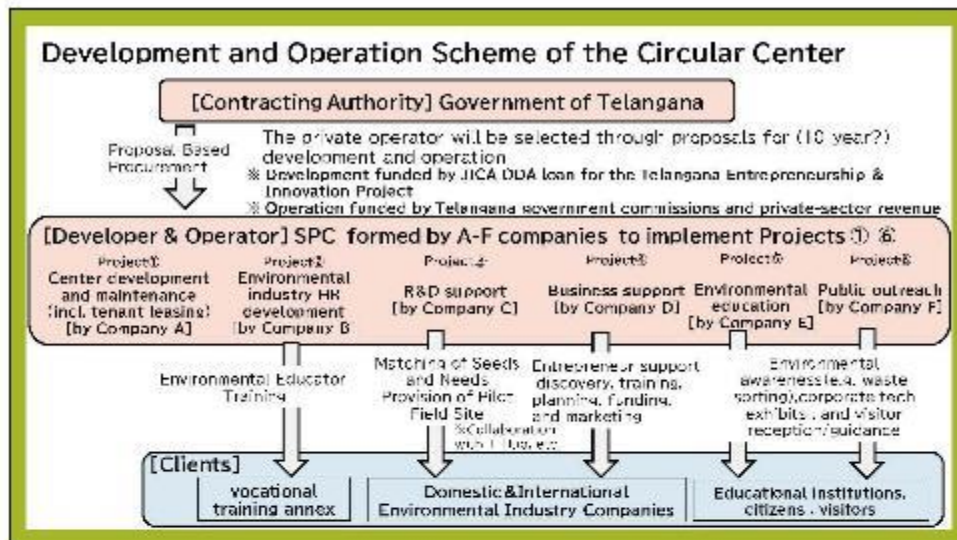


3

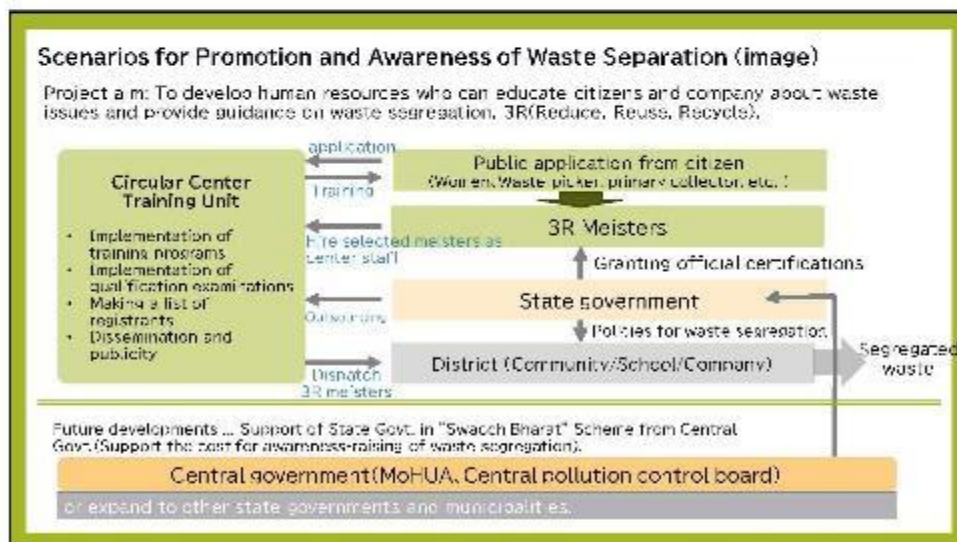
Breakdown of Circular Center Project Costs

Main-category	Sub-category
Hardware(facility)	Design and construction of the Circular Center (including energy-saving systems)
	Development of a vocational training annex and program design (utilizing existing buildings, equipping with training machinery)
	Development of waste research/demonstration facilities (including hazardous waste) ※To be developed separately
Software (Content and Training Program Development)	Design and production of environmental education content (physical/virtual materials)
	Design of human resource development program (waste sorting, school/corporate environmental education)
	Implementation of human resource development program (3 years; instructor costs, material development, study tours, etc.)
	Design of business support program (entrepreneur discovery, training, business planning, fundraising, marketing)
	Implementation of business support program (same as above)
[Investment Recovery Scheme]	
<ul style="list-style-type: none"> • Usage fees from the edutainment facilities and meeting rooms • Rental income from businesses operating cafeterias and retail shops within the Center 	

4



5



6