

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
(富山市-バドゥン県における脱炭素・循環型社会構築のための
都市間連携事業)

報告書

令和8年3月

日本エヌ・ユー・エス株式会社

富山市

目次

1. 本業務の背景、目的及び実施体制.....	1
1.1. 背景および目的.....	1
1.2. 本業務の実施体制と実施内容.....	4
2. パートナー都市概況.....	5
2.1. 基本情報.....	5
2.1.1. 人口・地理.....	5
2.1.2. 財政と開発計画.....	6
2.2. 環境課題.....	8
2.2.1. 課題.....	8
2.2.2. 脱炭素化に向けた取り組み.....	11
3. 調査結果.....	14
3.1. 脱炭素型廃棄物ソリューション.....	14
(1) 廃棄物事業調査.....	14
(2) 事業設計及び体制構築.....	27
3.2. 脱炭素型廃水処理技術の導入に向けた調査.....	31
(1) バドゥン県における廃水汚染の現状とポテンシャル調査.....	31
(2) 対策技術の検討とモデル地区の選定.....	37
3.3. 既存設備リニューアル.....	45
(1) タバナン県小水力.....	45
(2) クルンクン県灌漑用水ポンプ.....	51
4. 脱炭素社会実現のための都市間連携（現地関係者との協議）.....	53
4.1. バドゥン県環境局長富山市訪問受け入れ.....	53
4.2. 廃棄物分別普及活動.....	55
5. 成果のまとめと今後.....	56
参考資料.....	1
参考資料1-第1回現地調査報告メモ.....	2
参考資料2-第1回現地調査報告メモ.....	8
参考資料3-第3回現地調査報告メモ.....	17
参考資料4-第4回現地調査報告メモ.....	26
参考資料5-キックオフミーティング資料.....	32
参考資料6-中間報告会資料.....	40
参考資料7-最終報告会資料.....	53

図目次

図 1-1	富山市の国際協力の歩み.....	2
図 1-2	コンポストプラント及び開所式の様子（2024年10月）.....	3
図 1-3	本業務の実施体制（全体）.....	4
図 2-1	バドゥン県地図.....	5
図 2-2	バドゥン県の人口推移（2010・2020 国勢調査、2022 推計）.....	6
図 2-3	APBD 2025 における自主財源と交付金の比較.....	7
図 2-4	バドゥン県における廃棄物処理フロー.....	9
図 2-5	バドゥン県流域図（左）および衛星画像による海岸の汚濁比較（右）.....	10
図 3-1	バドゥン県における廃棄物フロー.....	14
図 3-2	バドゥン県の焼却炉（左）及びバリ州の最終処分場（右）.....	14
図 3-3	株式会社石橋 JICA 事業概要.....	15
図 3-4	RA-X 外観と処理イメージ.....	16
図 3-5	バドゥン県における焼却炉からの排煙（2023年）.....	16
図 3-6	Deltterra による分別推進による有機性廃棄物量の変化.....	18
図 3-7	有機性廃棄物（左）、破碎後の有機性廃棄物（中）、混合ごみ（右）.....	18
図 3-8	既存の破碎機（左）、現地視察の様子（中）、バドゥン県環境局との協議（右）	19
図 3-9	導入した破碎機と搬送設備・分別作業.....	19
図 3-10	混合ごみの分析.....	20
図 3-11	混合ごみ堆肥化試験の手順.....	20
図 3-12	混合ごみ堆肥化試験の様子.....	20
図 3-13	バドゥン県廃棄物フローと JCM 対象設備による焼却回避.....	21
図 3-14	焼却炉燃料記録の例.....	22
図 3-15	JCM 設備補助ケースの事業モデル（案）.....	28
図 3-16	PT.Abundant Impact Ventures のビジネスモデル案.....	29
図 3-17	PT.Abundant Impact Ventures のファイナンスモデル案.....	29
図 3-18	JICA プロジェクトサイトの位置.....	31
図 3-19	： JICA プロジェクト事業対象地域.....	32
図 3-20	視察した水発生頻度が高い河川の位置.....	33
図 3-21	視察した河川の様子.....	34
図 3-22	チャンゲー地域の位置.....	35
図 3-23	レレナンビーチのリバーマウス周辺の様子.....	35
図 3-24	ラグーン処理の概要図.....	36
図 3-25	IPAL Suwung の曝気池（左）と安定化池（右）.....	37
図 3-26	右)曝気池 左)安定池.....	37
図 3-27	チャンゲー周辺の土地利用状況の変化.....	38
図 3-28	ペレレナン村行政区域図.....	39
図 3-29	排水路等の視察の様子.....	41

図 3-30	Pangi 川周辺の様子.....	41
図 3-31	浄化槽の設置イメージ.....	42
図 3-32	Jatiluwi 村位置図と棚田風景.....	45
図 3-33	バッテリー交換式 EV バイク事業モデル.....	47
図 3-34	タバナン県と富山市の協議および現地調査の様子.....	49
図 3-35	事業構成と事業主体選定に係る課題のイメージ図.....	50
図 3-36	北陸電気工事株式会社による EV 実証事業.....	50
図 3-37	北陸電気工事株式会社による現地調査の様子.....	51
図 3-38	クルンクン県位置図.....	51
図 3-39	灌漑用水ポンプ.....	51
図 3-40	残存する太陽光発電設備.....	52
図 3-42	クルンクン県との協議.....	52
図 3-41	故障状況の調査の様子.....	52
図 4-1	現地関係者の訪日機会と都市間連携事業の協議.....	54
図 4-2	クリーンセンターにおける説明に供した資料.....	54
図 4-3	富山市の分別案内（インドネシア語：在住インドネシア人向け）.....	55
図 4-4	堆肥化による分別教育.....	55
図 5-1	廃棄物性状と新たに導入した破砕機.....	56
図 5-2	村レベルの廃棄物一次置場（左）、現地開発した堆肥化促進剤（乳酸菌）（右）	56
図 5-3	現地調査地点および調査の様子.....	57
図 5-4	Jatiluwi 村（左）、タバナン県政府との協議（中央）、設備現況調査（右）	57
図 5-5	次年度実施体制案.....	58

表目次

表 2-1	バドゥン県および周辺自治体の予算構成	7
表 3-1	バドゥン県中間処理施設（TPST）廃棄物組成	17
表 3-2	ペレレナン村の河川および海水の水質データ	40
表 3-3	ペレレナン村の環境課題に関連するデータ	40
表 3-4	JICA 導入設備と仕様	45
表 3-5	取得した見積書	49
表 4-1	バドゥン県環境局長視察行程	53
表 5-1	調査全体行程	58

略語表

略語	正式名称(英・尼)	和訳
APBD	Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah	地方歳入歳出予算(インドネシア)
BOD	Biochemical Oxygen Demand	生物化学的酸素要求量
BPKAD	Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah	地域財務・資産管理庁
BPS	Badan Pusat Statistik	中央統計庁(インドネシア)
C2P2	Clean City Partnership Program	クリーン・シティ・パートナーシップ・プログラム
CNG	Compressed Natural Gas	圧縮天然ガス
CO2	Carbon Dioxide	二酸化炭素
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
DDF	Dual Diesel Fuel	デュアルディーゼル燃料
DSDP	Denpasar Sewerage Development Project	デンパサル下水道整備事業
EMS	Energy Management System	エネルギー管理システム
EPC	Engineering, Procurement and Construction	設計・調達・建設
ER	Emission Reductions	排出削減量
EV	Electric Vehicle	電気自動車
G7	Group of Seven	主要7か国
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah	下水処理施設
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
JCM	Joint Crediting Mechanism	二国間クレジット制度
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
KPI	Key Performance Indicator	主要業績評価指標
LNG	Liquefied Natural Gas	液化天然ガス
LRA	Laporan Realisasi Anggaran	予算実績報告書
MRF	Material Recovery Facility	資源回収施設
MSW	Municipal Solid Waste	一般廃棄物
N2O	Nitrous Oxide	亜酸化窒素
NGO	Non-Governmental Organization	非政府組織
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
PAD	Pendapatan Asli Daerah	自主財源(インドネシア地方財政)
PE	Project Emissions	プロジェクト排出量
PPP	Public Private Partnership	官民連携
PV	Photovoltaic	太陽光発電
RDF	Refuse Derived Fuel	廃棄物固形燃料
RE	Reference Emissions	リファレンス排出量
RKPD	Rencana Kerja Pemerintah Daerah	地方政府年次計画

略語	正式名称(英・尼)	和訳
RPJMD	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah	地方中期開発計画
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SPKLU	Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum	公共 EV 充電ステーション
TPS3R	Tempat Pengolahan Sampah Reduce Reuse Recycle	廃棄物一次集積・分別施設
TPST	Tempat Pengolahan Sampah Terpadu	廃棄物中間処理施設
TSS	Total Suspended Solids	浮遊物質
WtE	Waste to Energy	廃棄物発電

1. 本業務の背景、目的及び実施体制

1.1. 背景および目的

2022年に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書第3作業部会報告書によると、世界のGHG排出量の約7割が都市由来とされており、パリ協定で定める1.5度目標の達成に向けては、都市における気候行動の加速が必要不可欠である。日本は、国と都市が協働して、ゼロカーボンシティの実現に向けて、2021年6月に策定された地域脱炭素ロードマップの下、脱炭素先行地域を100か所以上創出し、全国に拡大する取組を進めている。

世界全体での脱炭素社会の実現に向けては、特に経済成長が著しく今後GHG排出量の増加が見込まれる途上国において、持続可能な脱炭素社会構築への動きを加速させることが必要であり、社会経済の発展を支える活動の場である都市の脱炭素化に向けて、国際的にも都市の取組を支援する動きが強化されている。

一例として、日本国環境省では世界の都市が直面する今日的課題に多角的に対処するため、本事業を軸として、2023年2月、JICAとともに、クリーン・シティ・パートナーシップ・プログラム（C2P2）を立ち上げた。本プログラムは、日本の自治体や民間企業、金融機関と連携し、技術や資金の更なる動員を図り、パートナー都市における気候変動、環境汚染、循環経済、自然再興（ネイチャーポジティブ）を含む都市課題に対して包括的かつ相乗的な支援を提供するものである。また、G7をはじめとする同志国や国際開発金融機関を含む他の主要なステークホルダーとの連携を推進する。

本事業では、上記目的を踏まえて、インドネシア・バドゥン県と富山市による連携により、脱炭素政策の取り組みを推進するとともに、バドゥン県が有する廃棄物課題、排水処理課題への貢献のため、富山市内企業と一丸となり次世代の都市づくりを実現することを目指すものである。

SDGs未来都市である富山市は、インドネシアの自治体との連携による貢献を目指し、様々な取り組みを推進してきた。具体例としては、2014年にバリ州タバナン県との技術協力協定の下、JICA事業を活用し小水力発電設備を導入したことを契機に、スマラン市、バンドアチェ市、トビンティンギ市、タバナン県、クルンクン県、レボン県等との協力協定を締結し、SDGs達成に寄与するプロジェクトを組成してきたところである。

2018年にはその功績から日本の自治体として初めて、インドネシア内務省より感謝状の贈呈を受けている。富山市は、SDGs未来都市として、この取り組みをSDGs17に掲げられている「グローバル・パートナーシップを活性化」するゴールに位置付け、国際連携の取組を継続して進める方針である。

バリ州については、2018年より「富山市・バリ州による都市間連携を活用した観光未来都市支援事業」を開始、ホテルや交通分野を中心に観光セクターの低炭素化支援を行ったほか、燃料転換に係る政策支援に加え、JCM案件形成活動としてJCM設備補助事業の申請支援、ビジネスマッチング、ワークショップ開催などの活動を実施してきた。

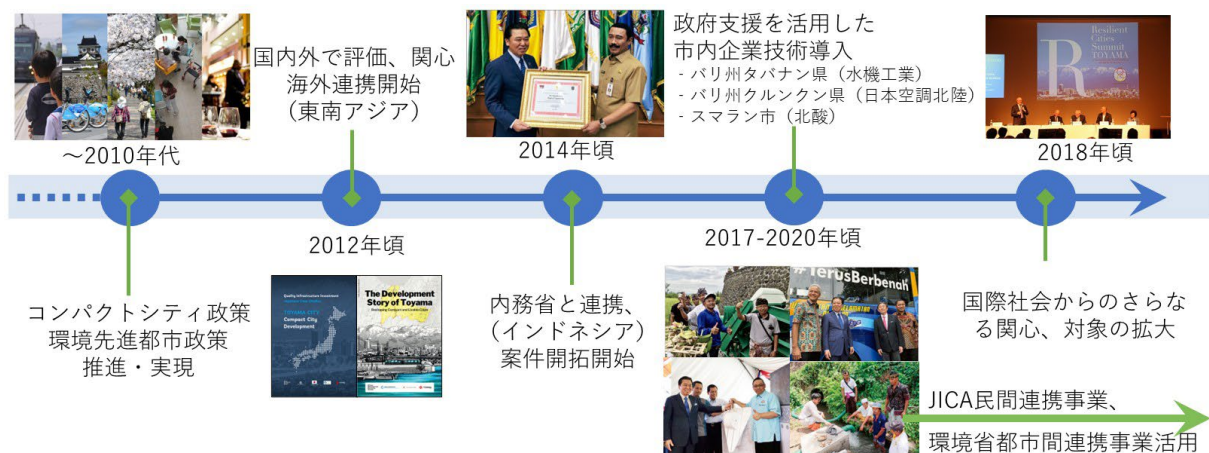


図 1-1 富山市の国際協力の歩み

2019年には、大型ホテルの省エネ・再エネ導入に係る事業が具体化し、2020年の実装に向けた準備を開始した矢先、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、観光事業者における投資が厳しいものとなった。

そこで、2020年度においては、バリ州が抱える最大の環境課題である交通渋滞やそれに伴う排ガスによる大気汚染、CO₂排出に焦点を移し、この対策について検討を行った。

有力な技術として、富山市がスマラン市において実現した平成30年度JCM設備補助事業「スマラン市公共交通バスへの圧縮天然ガス（Compressed Natural Gas: CNG）とディーゼル混焼設備導入プロジェクト」の技術であるガス転換機器（Dual Diesel Fuel: DDF）システムが考えられた。より排出係数の低い化石燃料による削減という視点からは、脱炭素へ向けた通過点に過ぎないものの、交通分野で実現性の高い同技術による低炭素化は一定の排出削減効果を期待できるものであった。

一方で、インドネシアにおいてガスの流通状況は万全とはいええず、石油の減産に伴い埋蔵量の多い天然ガスの利用促進策が進められているものの、産出される天然ガスのほとんどが、輸出か大規模需要家（LNG火力発電所等）への供給に留まっており、都市の潜在的な需要に供給する体制が整っていなかった。

加えて、2022年にバリ島で開催されたG20を受け、バリ州では気候変動対策でもさらなる先進的な取り組みに挑戦する機運となった。こうした中で、化石燃料である天然ガスではなく、豊富なポテンシャルがありつつも、系統課題により十分に普及していない太陽光発電の有効化に資する水素利用や、電気自動車の普及、廃棄物課題の解決といった観点で、富山市への協力要請を得るに至った。昨年度には水素に関するセミナーを開催、約100名の関係者が参加し、高い関心を把握した。

そこで、2023年度、2024年度においては、脱炭素の実装に向けた支援として、太陽光発電等再生可能エネルギーを用いた水素利用、EV利用に加え、現地の課題となっている廃プラスチック由来の水素製造技術の導入可能性も検討した。

バリ州との連携当初より、廃棄物管理は継続した課題であった中、富山市内の廃棄物処理事業者「株式会社石橋」は、富山市および都市間連携事業と連携しつつ、JICA民間連携事業を活用し、バドゥン県にコンポストプラントの導入を進め、2024年に完工に至った。



図 1-2 コンポストプラント及び開所式の様子（2024年10月）

完工式には富山市藤井市長も参加し、廃棄物課題の大部分である有機性廃棄物の課題解消を目指した一方、導入当初には廃棄物性状が適切ではなく、導入容量 50t/日に対して 2t/日程度の処理量に留まっていた。そこで、2025年度より、こうした課題への対応と、バリ州の中でも特に観光地を多く抱え、脱炭素・環境配慮の取組が活発なバドゥン県との都市間連携事業を新たに始動した。

バリ州との6年間にわたる都市間連携の完了と共に、インドネシアにおける自治体間連携における枠組みの調整¹も考慮した。

バドゥン県との都市間連携においては、上述のコンポストプラントを核とした廃棄物処理の最適化に加え、同県で課題となっている排水処理についても富山市内企業の技術を活用し対策を検討することとした。

ところで、バドゥン県は観光地を多く抱えることから、多額の観光税収入を得ているが、これはバリ州全体の観光資源に立脚するものであることから、税収入が低く財政規模の小さい周辺自治体に対しても積極的に支援を提供している。そこで、これまでバリ州との都市間連携により可能性を見出してきた各種案件のフォローアップについても本事業のスコープとし、タバナン県世界遺産 Jatiluwih 村の既設水車回収や、クルンクン県 Nusa Penida 島再生可能エネルギー開発等を中心に引き続き案件化可能性について検討を行った。

¹ インドネシア内務省へのヒアリングにおいて、日本の市との連携はインドネシアの県または市との連携とし、州との連携は県レベルとする必要がある旨の指示があった。

1.2. 本業務の実施体制と実施内容

本プロジェクトの事業構想、実施体制および概要を下記の通り示す。



図 1-3 本業務の実施体制（全体）

出所）JANUS 作成

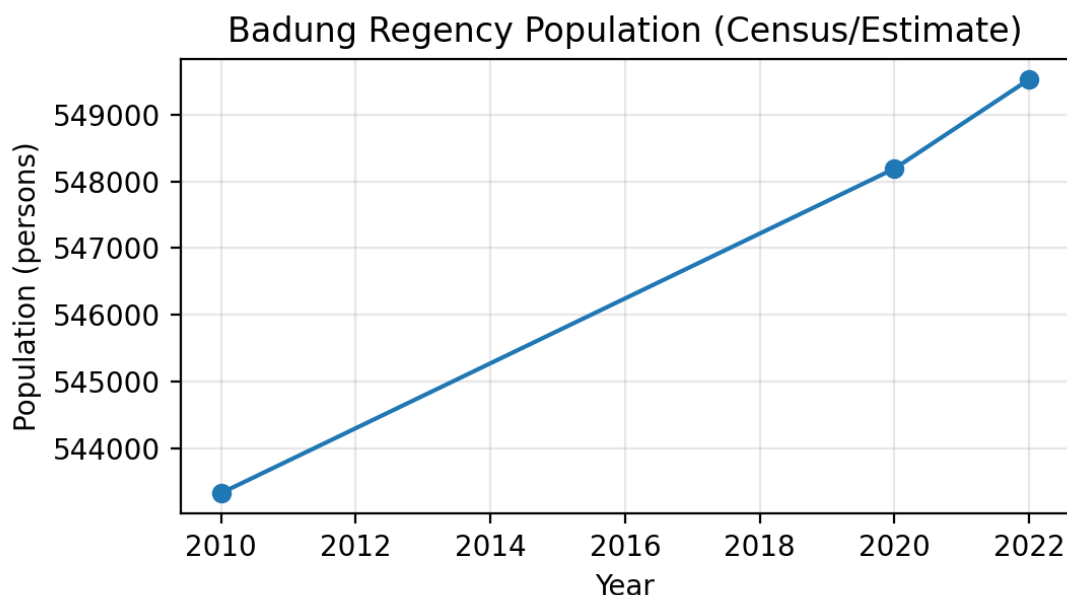


図 2-2 バドゥン県の人口推移（2010・2020 国勢調査、2022 推計）

出典：Wikipedia “Badung Regency”（BPS 推計値・国勢調査値の引用を含む）。

バドゥン県は、デンパサール市を中核とする広域都市圏（Greater Denpasar/Sarbagita）を構成する主要自治体の一つである。Sarbagita は Denpasar-Badung-Gianyar-Tabanan の頭文字からなる名称で、国家レベルでも都市圏として位置付けられている。都市圏全体の面積は約 1,928 km²、人口は 2023 年推計で約 2,301,887 人とされ、バリ島の社会経済活動の中核を形成している。

バドゥン県は、クタ、スミニャック、ヌサドゥア等の国際観光地と、ングラ・ライ国際空港（IGusti Ngurah Rai International Airport）を抱えることから、バリ州観光経済の収益拠点として位置付けられる。観光需要の県内集積は、(i) 宿泊・飲食・運輸・娯楽等のサービス産業の厚み、(ii) 都市圏内外からの労働移動、(iii) 沿岸域の土地利用転換（農地から観光・居住用途へ）を通じて、周辺自治体（特にデンパサール、タバナン、ギアニャール）との機能分担を促進してきた。他方で、都市圏の混雑、環境負荷、社会課題の顕在化は、観光主導型成長に内在するトレードオフとして、研究・行政の双方で論点化されている。

2.1.2. 財政と開発計画

インドネシアの地方財政は、年次予算である APBD（Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah）を中心に運用され、年次の開発計画 RKPD（Rencana Kerja Pemerintah Daerah）により政策優先順位と事業群が具体化される。中期（5 年）計画である RPJMD（Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah）は、自治体のビジョン・ミッション、戦略、目標指標、重点プログラムを統合する上位計画として機能する。

バドゥン県における年次予算 APBD の 2025 年度は、APBD の総額を約 10.7 兆ルピア（約 1,070 億円）規模として確定し、歳入の中心を PAD（Pendapatan Asli Daerah：自主財源）約 9.6 兆ルピア（約 960 億円）に置く構造を示している。歳出は約 10.6 兆ルピア（約 1,060 億

円) で、運営的支出 (Belanja Operasi) と資本的支出 (Belanja Modal)、移転支出 (Belanja Transfer) 等で構成される。

表 2-1 バドゥン県および周辺自治体の予算構成

自治体	年	年次予算	自主財源	交付金
バドゥン県	2025	10.60	9.60	0.98
デンパサール市	2025	2.71	1.81	0.91
ギヤニャール県	2025	3.00	1.88	1.12

出典: バドゥン県は ANTARA (APBD 2025 確定記事)。デンパサール市は地方報道 (Ranperda APBD 2025 の説明)。ギヤニャール県は地方報道 (Ranperda APBD 2025 の説明)。

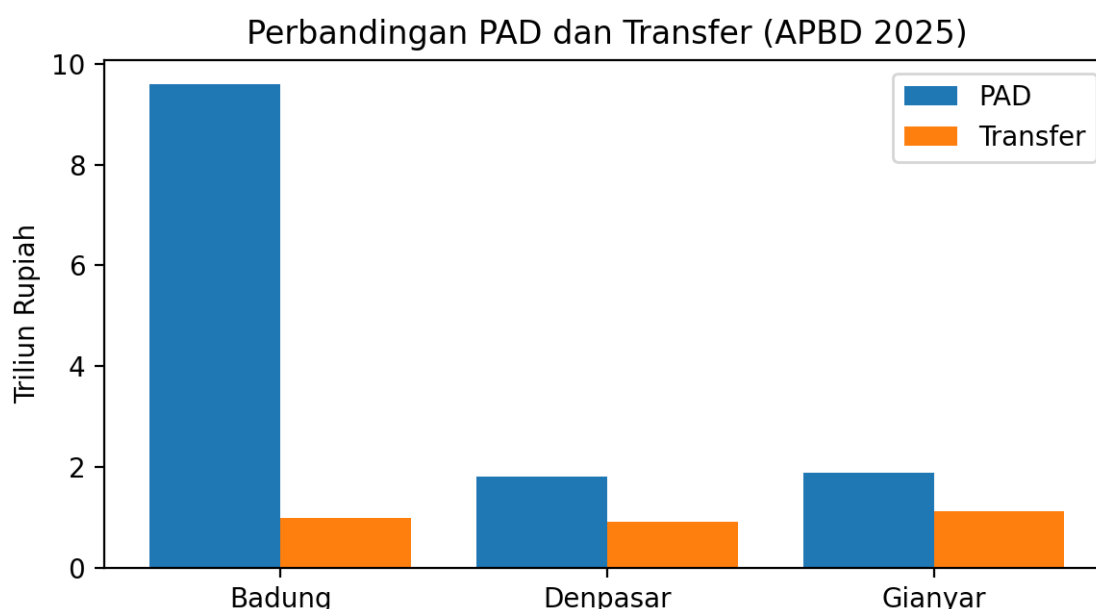


図 2-3 APBD 2025 における自主財源と交付金の比較

歳入構造について、2025 年度版は未公表であることから、2024 年度版を参照する。BPS バドゥン県が公表する「Pendapatan Daerah Kabupaten Badung (2024)」によれば、歳入 (Penerimaan Daerah) は約 8.51 兆ルピア、うち自主財源が約 7.51 兆ルピアを占め、2025 年度より低いですが、構造は同様であることがわかる。内訳として地方税 (Pajak Daerah) が約 6.77 兆ルピアと最大であり、観光関連税収 (宿泊・飲食等を含む地方税) を基盤とする自治体財政の特徴が示唆される。

比較対象のデンパサール市・ギヤニャール県に比して、総歳入規模および PAD 規模が顕著に大きい。バドゥン県では PAD が歳入の大宗を占め、移転財源 (Transfer) への依存が相対的に小さい点が財政自立性の主要な特徴である。

RPJMD 2021-2026 (Perda No.4 Tahun 2021) は、5 年間の開発方針として、地域のビジョン・ミッションを KPI (指標) と重点プログラムに落とし込む枠組みを提供する。Bappeda の Renstra (2021-2026) は、RPJMD を参照しつつ各組織の目的・プログラム・活動

(program/kegiatan) と資金計画を整合させることを規定している。
RKPD 2025 に関して、Musrenbang RKPD 2025 では「Penguatan Transformasi Ekonomi dan Investasi」をテーマとし、教育・保健・人件費・インフラ等の mandatory spending (例：教育 20%等) を踏まえた配分方針が言及されている。

環境関連については、環境清掃局の補正を含めた予算額として 2025 年は 4,489 億 Rp (約 44.89 億円) とされており、2026 年度の当初予算額は 3,742 億 Rp (約 37.42 億円) となっている。なお、廃棄物課題の深刻化を受け、この予算案については見直し (増額) が検討されている。廃棄物関連の予算は、2024 年の実績は 1,730 億 Rp (約 17.3 億円) となっており、この内訳は運営費 (清掃員人件費、車両保守・燃料費、施設・設備費、分別促進・教育費) が主であり、設備導入などについては別計上 (公共事業局経費扱い等) されることもある。

一方、バドゥン県財政当局 BPKAD (Badan Pengelola Keuangan dan Aset Daerah : 地域金融・資産管理庁) が公開する LRA (Laporan Realisasi Anggaran : 実績予算報告書)²によれば、2024 年度の歳入予算 (Anggaran) 約 11.36 兆ルピアに対して実績 (Realisasi) は約 8.62 兆ルピア (約 75.91%) であり、自主財源 (PAD) は歳入見込み約 10.23 兆ルピアに対し実績約 7.51 兆ルピア (約 73.37%) に留まる結果となっている。税収の達成率は約 72.89% であり、歳入の観光・景気変動感応度の高さが示唆される。

よって、バドゥン県の財政は、バリ州内で最大級の地方税収入を背景に、インフラ・公共サービス・社会政策を比較的厚く設計できる点で優位性があるといえる一方で、歳入の税収依存度が高いことは、観光需要・資産取引等の変動による歳入の振れを増幅し得る構造を持つ。

各種開発計画の文脈では、観光を維持しつつ農業・中小産業・投資を通じた経済構造の強靱化 (transformasi ekonomi) が繰り返し言及されており、財政余力を用いた構造転換の成否が今後の発展の鍵とされる。

2.2. 環境課題

2.2.1. 課題

バドゥン県の環境課題は、中期開発計画 2021-2026 年および 2025 年実行計画を踏まえ、

² BPS Kabupaten Badung: Tabel Statistik Pendapatan Daerah Kabupaten Badung (2024) (更新 14 Mar 2025)

Perda Kabupaten Badung Nomor 6 Tahun 2024 tentang APBD TA 2025 (BPKAD Badung, PDF)
ANTARA: Penetapan APBD Badung 2025 (PAD, belanja, defisit) (29 Nov 2024)

BPS Kabupaten Badung: Tabel Statistik Pendapatan Daerah Kabupaten Badung (2024) (更新 14 Mar 2025)

BPKAD Badung: Laporan Realisasi Anggaran (LRA) 2024 SAP (PDF)

Perda Kabupaten Badung Nomor 4 Tahun 2021 tentang RPJMD 2021-2026 (PDF)

Perbup Badung tentang Perubahan RKPD 2025 (PDF) / Musrenbang RKPD 2025 berita (Humas Badung)

計画上の重点として①廃棄物管理、②水質汚染防止、③生物多様性及び環境教育を掲げている。この中でも、特に優先課題とされているのは廃棄物管理である。

各課題に係る取組内容を以下に示す。

① 廃棄物課題

バドゥン県における廃棄物発生量は、534.8t/日となっており、処理された廃棄物量は448.8t/日とされている。このうち、2219.5t/日は各行政区62か所のうち43か所に設置されている廃棄物一次集積所（TPS3R）において分別・リサイクルされ、残渣物を最終処分場に搬入し埋め立て処分または中間処理場（TPST）において焼却後、灰の計上で埋め立て処分されている。各拠点ではペットボトルや金属などの有価物が分別されている他、生ごみなどは各地点でコンポスト化等による減容化が行われている。リサイクラーへの販売は7t/日となっており、これは廃棄物一次集積所からの寄与の他、ごみを有価で買い取るごみ銀行からの流通もある。

減容・リサイクルの合計は154t/日であるが、このほとんどは中間処理場に設置されている焼却による減容が寄与している。

基本的には、中間処理の上で埋立することを目指しているが、廃棄物全体量に対する中間処理容量が不十分であることから、行政回収、廃棄物一次置場、中間処理場それぞれから、処理されないまま最終処分場に搬入されるごみも一定数ある。

発生量と再生・最終処分量との差分である86t/日の廃棄物は不適正処理されており、回収すらされていないが、発生量を十分に把握できていない実態もあることから、不適正処分量はこれよりさらに多いと思われる。

廃棄物の処理フローを以下に示す。

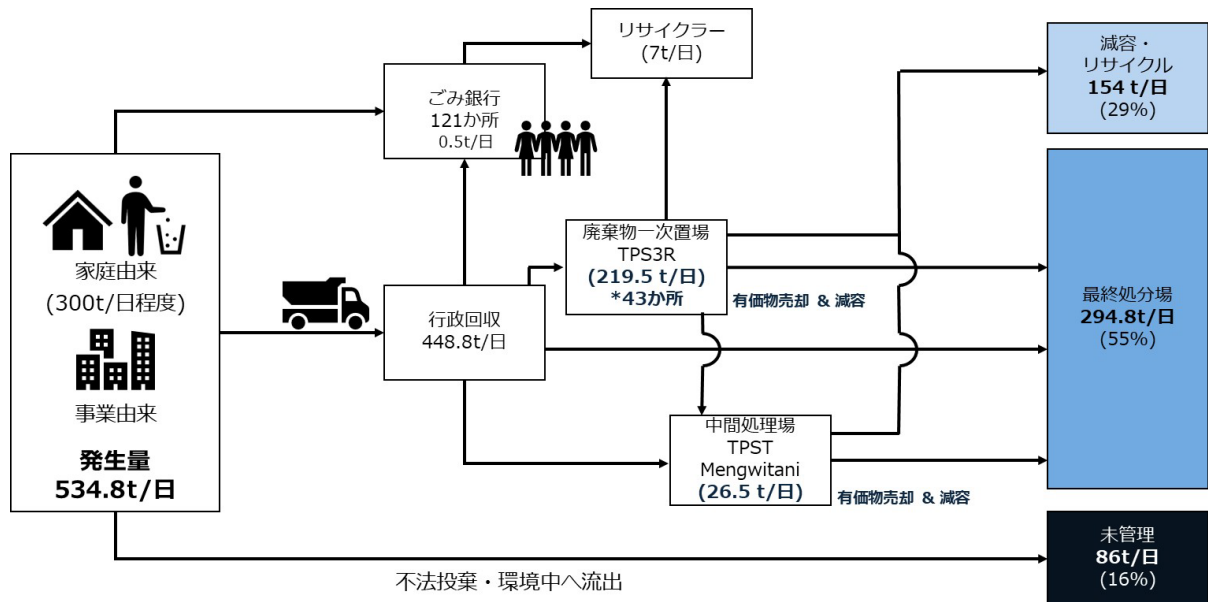


図 2-4 バドゥン県における廃棄物処理フロー

② 水質汚染防止

バドゥン県は、クタ・スミニャック・ジンバラン・ヌサドゥア・ウブドなど、バリ島における主要観光地を抱え、これらの地区には多くのホテル・ヴィラ等の宿泊施設が立地する他、レストランや商業施設、これらのビジネスに従事する従業員の宿舎等が林立

する。インドネシアにおいては、一定規模の商業施設に対し、排水処理設備の導入を義務付けているが、実態としては基準に合わない設備となっている他、従来必要な処理やメンテナンスが十分に行われていない例も多くある。また、家庭からの排水については、雑排水については未処理のまま側溝等を経て河川に排出され、し尿についても同様のケースがある。

人口の増加、観光産業の伸長に伴い、河川水質は悪化の一途をたどっており、これらが観光資源である砂浜等での悪臭や衛生環境の悪化を引き起こし、対策が急務となっている。

また、都市上流域の開発や気候変動の影響から、洪水が頻発しており、都市部での河川氾濫に伴う衛生環境の課題も引き起こす事態となっている。

こうした状況を踏まえ、バドゥン県中期開発計画・年次計画では、水質保全および廃水管理（家庭/産業）、排水基準遵守に向けた取り組みが明記されている。

環境規制・監視については、環境衛生局が担当し、上水も含めた水インフラについては水道公社と役割が分担されている。

バドゥン県は、上流の農村・中流の都市化地域・下流の観光沿岸域（Kuta～Benoa）を一体として抱える流域構造を持ち、水環境の課題は三層に大別できる。

1. 河川（Tukad Badung、Tukad Yeh Poh など）：生活排水・農業排水による有機汚濁
 2. 地下水（特に南部沿岸）：過剰揚水による海水侵入（塩水化）
 3. 沿岸・海域（Kuta 海岸、Benoa 湾）：河川流入・廃棄物起源の濁度・マイクロプラ
- いずれの課題も、起源は人口増加と観光産業の伸長に対してインフラが未整備であることに由来するといえる。

ウダヤナ大学では、Sentinel-2 衛星画像を利用したバドゥン県西部地域の河川沿岸をモニタリングしており、降雨後の河川からの有機物流出の深刻化に言及している。地域の発展の源泉である観光資源の保全のうえでも水環境管理の改善が不可欠な段階となっていることを示唆する。

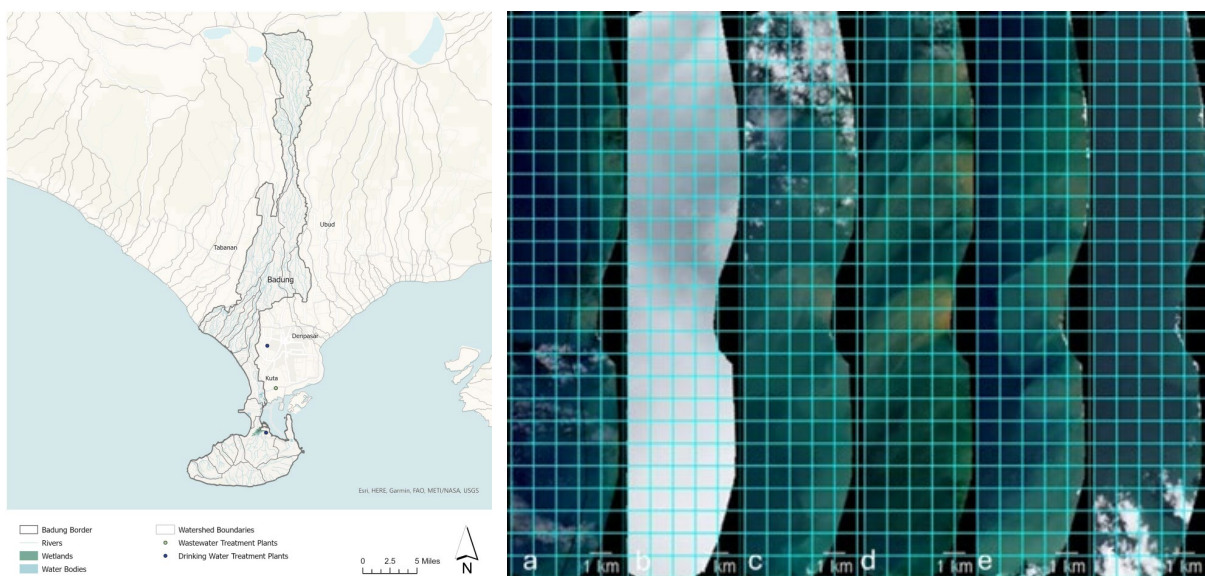


図 2-5 バドゥン県流域図（左）および衛星画像による海岸の汚濁比較（右）

③ 生物多様性および環境教育

バドゥン県は、インドネシア国家生物多様性戦略（IBSAP）、バリ州環境政策に基づき、中期開発計画に整合する形で「環境の保全と持続可能な観光基盤の確保」を方針として、森林・沿岸・都市緑地の生物多様性保全のための政策を有している³。

中期開発計画においては、「生物多様性プログラム」として、生態系の保全、植生回復、生物多様性地区の整備、環境教育・普及を主要活動としている。

森林・陸域生態系の保全は、Sangeh 地区における取組が主である。同地区は伝統的に神聖な地域とされ、樹齢 200-400 年を超えるナツメグが生い茂るが、これらの保全と同時に植林による水源涵養機能回復を実施している。また、同地域にはカニクイザルが群生し、これらの保全についても必要な措置を行い、生物多様性と水源涵養、気候変動対策の同時達成を目指している。

沿岸地域では、マングローブ生態系の保全の取り組みが行われている。バドゥン県南部のクタ・ケドンガナン・ジンバラン・ベノア地域は、マングローブ生態系の重要地域であり、植林と共に生息域の清掃活動や、植樹に係る予算の企業 CSR やコミュニティとの協働プログラムを実施している。また、これらは生物多様性保全と併せ、防災（高潮・浸食）の効果も狙いとされている。

バドゥン県を含め、バリ州では伝統的なバリ・ヒンドゥーの教義に基づき、儀礼や宗教と在来植物が不可分となっているため、バドゥン県では在来植物保全の条例化を議会とも連携して推進し、生物多様性と文化的多様性の保全による相乗効果にも取り組んでいる。

こうした取組や保全キャンペーンを地域社会にも広めるべく、青年団体・学校・宗教組織を巻き込んだ環境教育を 2025 年から開始している。

2.2.2. 脱炭素化に向けた取り組み

バドゥン県開発計画における脱炭素化の位置づけは、他のインドネシアの基礎自治体（県・市）と同様、域内の温室効果ガスの排出量推計や個別の対策検討等には至っておらず、国及び州の目標に整合する形で、横断的分野として位置付けられている。

インドネシアは、2060 年ネットゼロを国家目標としているが、バリ州はこれに先立ち、2045 年にバリ州のネットゼロを目標として掲げており、バドゥン県は州のバリ・クリーンエネルギー方針および Bali Net Zero Emission 2045 initiative に整合する形での地方レベルの脱炭素施策を展開している。

施策は、「持続可能で環境配慮型の地域開発」を原則に、①エネルギー転換、②省エネの推進、③環境負荷の小さい交通・観光、④廃棄物分野での脱炭素化に向けた取り組みを促進している。

それぞれの取り組み概要を以下に示す。

³ バドゥン県中期開発計画 2021-2026
<https://dislkhk.badungkab.go.id/rpjmd-2021-2026-dlhk>

① エネルギー転換

バドゥン県の脱炭素に係る中核的な政策としては、庁舎・学校など県有・県管理の施設への太陽光発電導入である。これは、日本の地球温暖化対策実行計画における事務事業編に該当する。県庁舎群を対象とした県の公式調査では、全施設への太陽光発電導入ポテンシャルは最大約 5MW とされ、初期導入分として 1.856MW が計画されている。これによる脱炭素効果は 2,322t-CO₂ とされ、バドゥン県地域研究イノベーション機関からは、県独自規制の整備についても提言がある⁴。

なお、バドゥン県政府は、政府が利用する再生可能エネルギーの割合を 2022 年の 22% から、2025 年には 30% となるよう目標を定めている⁵。

② 省エネの推進

バドゥン県では、公共施設の LED 化による省エネの他、産業・商業・家庭部門でのエネルギー効率改善を掲げ、再エネ導入と併せて省エネの推進による排出削減を実行している⁶。

③ 環境負荷の小さい交通・観光の促進

バリ島では総じて、観光需要の拡大に対し公共交通手段が限られるため、観光産業の伸長と共に渋滞や交通由来の大気汚染が課題となってきた。バドゥン県は、脱炭素と併せ、大気汚染対策効果も念頭に、交通の電化による対策を推進、バドゥン県庁舎に公共電気自動車充電ステーション(SPKLU)を公共電力公社 PT.PLN と連携し建設した⁵。

バドゥン県は脱炭素施策と交通のクリーン化の取組として、電化を推進していく方針を有しており、今後公用車や政府車両（廃棄物収集車等）についても電化を積極的に図っていくことが予測される。

④ 廃棄物分野の脱炭素化

バドゥン県を含むバリ州南部の自治体は、デンパサール市に立地するサルバギタ・スウン（Sarbagita Suwung）最終処分場に単純埋立処分されており、生ごみ等が混入した混合廃棄物が主であることから、大量のメタンガスが排出されている。バドゥン県では小型の焼却施設を有し、焼却由来の CO₂ 排出に寄与している一方、埋立を減らす取組

⁴ I Made Ari Artaya “Tanatangan mewujudkan transisi energi di kabupaten badung”, Pusat Pembelajaran dan strategi kebijakan pelayanan publik, 2025.
<https://sajak.lan.go.id/article/view/28/25>

⁵ Erika Dyah “Jurus Pemkab Badung Dukung Transisi Energi Hijau demi Penuhi Target NZE” detik Bali, 2024.
<https://www.detik.com/bali/berita/d-7361456/jurus-pemkab-badung-dukung-transisi-energi-hijau-demi-penuhi-target-nze>

⁶ Elga Nurmutia, “Begini Jurus Pemkab Badung Genjot Penerapan Energi Hijau” CNBC Indonesia
<https://www.cnbcindonesia.com/news/20240528140028-4-541812/begini-jurus-pemkab-badung-genjot-penerapan-energi-hijau>

がメタン削減にも寄与する観点から、廃棄物減容の取組についても脱炭素の一環として位置付けている。

なお、インドネシア政府は、全国的な最重要の環境課題となっている廃棄物について、当面、廃棄物発電（Waste to Energy）による減容化を図る政策を推進しており、優先導入地域にバリ州も含まれている。今後、政府系ファンド **Danantara Indonesia** が事業権入札を行い、各地域の廃棄物発電事業者選定が行われる予定である。

3. 調査結果

3.1. 脱炭素型廃棄物ソリューション

(1) 廃棄物事業調査

1) JCM 事業モデルの検討

① 検討背景

JCM を通じた技術導入の可能性に触れる前に、ここではバドゥン県の廃棄物を巡る現状について説明する。

現在、バドゥン県では、各住宅からの廃棄物を村単位に設置された一次廃棄物置場（TPS3R）に持ち込む仕組みが構築されている。各世帯では、湿りごみ（Wet）と乾きごみ（Dry）に分別することが求められ、十分ではないものの一定の発生源分別が行われるように普及活動も行われている。一次廃棄物置場では、プラスチック、生ごみ、紙、金属、それ以外に分別され、中間処理施設（TPST）に運ばれる。集められたプラスチックはリサイクル業者に販売され、生ごみは現在、株式会社石橋が導入したコンポストプラントにて堆肥化処理されている。

6区域

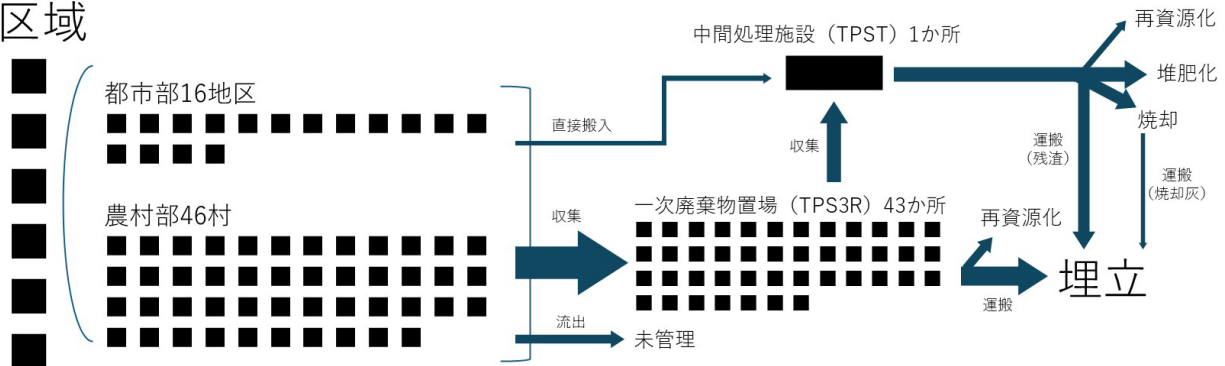


図 3-1 バドゥン県における廃棄物フロー

一方、その他とされるリサイクル不適な混合ごみ量が圧倒的に多く、これらは一次廃棄物置場から埋立に搬出されるか、中間処理場にある焼却炉で焼却処理される。このごみは残渣（Residue）とも呼ばれ、分別しきれないプラスチックと生ごみ等の混合ごみであり、食品の入ったプラスチック袋や容器、リサイクルに適さない包装材が主となっている。現在、この「その他のごみ」量をいかに減容するかが課題であり、これらの分別および処理を本事業で検討した。




図 3-2 バドゥン県の焼却炉（左）及びバリ州の最終処分場（右）

② 廃棄物組成分析

バドゥン県の廃棄物フローから、廃棄物中間処理施設（TPST）の機能向上が有効策である。同中間処理施設は、富山市企業である株式会社石橋が導入した既設のコンポストプラント（RA-X）が導入されている他、焼却炉による減容化が行われている。

株式会社石橋は、2019年より JICA 民間連携事業（中小企業海外展開支援事業）による案件化調査を実施し、2024年4月より同普及・実証ビジネス化事業として、「インドネシア国バリ島における未分別一般ゴミの減量・再資源化普及・実証・ビジネス化事業」を実施、同事業でプラント導入を行った。当該 JICA 事業の概要を以下に示す。



**インドネシア国バリ島における未分別一般ゴミの
減量・再資源化普及・実証・ビジネス化事業**
株式会社石橋（富山県富山市）

5
ジェンダー平等を
実現しよう

11
日本経済の発展を
支えよう

12
つくる責任
つかう責任

対象国廃棄物管理分野における開発ニーズ（課題）


- 開放投棄方式の処分場の閉鎖が遅れ、一般ゴミを積み上げ高さを高くして処理しているため崩壊の恐れがある。地下水の汚染、病原体、蚊、蚊の発生、悪臭といった環境問題、衛生問題が発生している。

提案製品・技術

- コンポストプラントRA-Xは、水分が80重量%前後の高水分の家庭の生ゴミを、大量（1日の最大原料処理量が50t）に、持続的にコンポスト化できる。
- コンポストプラントRA-Xからの排水は無く悪臭も極く僅かで環境影響が少ない。

本事業の内容

- 契約期間：2024年4月～2027年2月
- 対象国・地域：インドネシア国バリ州バドゥン県
- カウンターパート機関：インドネシア国環境林業省、バドゥン県政府
- 案件概要：
バドゥン県の収集された家庭の生ゴミをコンポストプラントRA-Xに投入して、有機性廃棄物を高温好気性発酵させて分解・減量化する。



コンポストプラントRA-X

開発ニーズ（課題）へのアプローチ方法（ビジネスモデル）

石橋は、日本で製造したコンポストプラントRA-X本体の輸出を行う。そして、販売代理店が地方自治体に販売して、組立て・据付工事およびメンテナンスを行う。地方自治体にコンポストプラントRA-Xを販売、普及して、地方自治体の一般ゴミの減容化を行い、ゴミ問題の改善に貢献する。

対象国に対し見込まれる成果（開発効果）

家庭の生ゴミがコンポストの原料として再資源化されるため、バリ州のゴミ処分場に投棄されているゴミが削減され、または、不法投棄されているゴミが削減され、その結果、悪臭、ハエや蚊等の発生が減少して衛生問題が改善され、河川や地下水汚染が軽減する。

図 3-3 株式会社石橋 JICA 事業概要

導入したコンポストプラント RA-X は、スクリュウ型コンポストプラントで、強制攪拌を適時行うことにより、最適な好気性環境を維持することを通じて効率的な堆肥化を実現する。特許技術のスクリュウ形状は、攪拌による温度低下を防ぐため、高温発酵を維持し、安定した水分蒸散をもたらすことから、汚水が発生しない他、均質な好気性環境を形成することで、腐敗を防ぐため、悪臭も少ないメリットがある。

国内で畜産・廃棄物処理向けに 10 件以上の導入実績がある他、海外では中国、マレーシア、スリランカにおいて、援助事業や民間ベースでの取引実績がある。

15



図 3-4 RA-X 外観と処理イメージ

バドゥン県においては、中間処理施設の処理量向上により、受入量拡大が見込まれ、結果として最終処分量の削減に寄与することから、RA-X の導入を歓迎した経緯がある。

中間処理施設には、かつて廃棄物燃料化のための RDF プラントが立地していた。これは、バドゥン県が土地を貸借し、民間企業が同中間処理施設の廃棄物を利用して燃料を製造し販売する官民連携事業であった。しかし、RDF 事業者の業績不振に伴い、2025 年には事業者が撤退、閉鎖となった。RDF は混合ごみを乾燥・固化させ石炭代替燃料として用いられ、インドネシアでは有効な再資源化策としてジャカルタを含め導入されているが、石炭価格との競争となるため、バリなど需要家までの輸送距離がある地域では撤退や事業縮小も余儀なくされている。

RDF プラントの撤退により、バドゥン県中間処理施設での処理は焼却がメインとなった。一方、含水率の高いごみの処理を伴うため、補助燃料の消費が多いことや、焼却炉の構造上（バッチ式）、炉内温度の維持が難しいため、不完全燃焼による大気汚染等の懸念もあった。



図 3-5 バドゥン県における焼却炉からの排煙（2023 年）

RA-X の導入により、水分含有量の高い有機性廃棄物の処理に道が拓けた形となったが、

安定稼働に向けては課題があった。RA-X の導入前後の廃棄物搬入量と内訳を下表に示す。

表 3-1 バドゥン県中間処理施設（TPST）廃棄物組成

	廃棄物搬入量		有機性廃棄物量		非有機性廃棄物量		混合ごみ		焼却量		最終処分量		
	合計[t]	日平均[t]	合計[t]	日平均[t]	合計[t]	日平均[t]	合計[t]	日平均[t]	合計[t]	日平均[t]	合計[t]	日平均[t]	
2024年	1月	622.3	20	0.6	0.02	5.81	0.19	545.66	17.60	545.58	17.60	224.17	7.23
	2月	702.5	24	0.4	0.02	3.60	0.12	686.20	23.66	686.12	23.66	242.60	8.36
	3月	675.4	22	0.4	0.01	5.13	0.17	626.66	20.21	626.58	20.21	263.01	8.48
	4月	713.8	24	0.4	0.01	5.30	0.18	694.43	23.15	692.99	23.10	266.64	8.89
	5月	832.7	27	0.5	0.02	6.33	0.20	819.97	26.45	819.55	26.44	290.93	9.38
	6月	763.7	25	12.7	0.42	5.20	0.17	742.35	24.75	742.17	24.74	264.93	8.83
	7月	648.2	21	8.2	0.26	4.45	0.14	630.63	20.34	629.33	20.30	223.74	7.22
	8月	849.9	27	9.5	0.31	4.54	0.15	831.14	26.81	831.05	26.81	280.98	9.06
	9月	848.7	28	5.0	0.17	3.93	0.13	832.90	27.76	832.30	27.74	275.96	9.20
	10月	709.2	23	12.6	0.41	4.21	0.14	688.25	22.20	688.15	22.20	246.96	7.97
	11月	802.0	27	5.3	0.18	4.43	0.15	786.16	26.21	783.13	26.10	208.97	6.97
	12月	613.4	20	22.0	0.71	3.90	0.13	579.18	18.68	579.95	18.71	182.74	5.90
2025年	1月	789.5	25	9.4	0.30	4.01	0.13	775.28	25.01	775.04	25.00	245.03	7.90
	2月	826.7	30	8.3	0.30	2.88	0.10	813.50	29.05	813.47	29.05	247.17	8.83
	3月	849.5	27	8.9	0.29	2.29	0.07	837.90	27.03	837.34	27.01	250.92	8.09
	4月	926.0	31	91.7	3.06	3.04	0.10	829.08	27.64	828.49	27.62	244.92	8.16
	5月	503.6	16	11.4	0.37	3.30	0.11	488.90	15.77	488.42	15.76	138.03	4.45
	6月	449.0	15	10.3	0.34	2.71	0.01	436.34	14.54	325.55	10.85	96.51	3.22
18か月平均	729.2	24.0	12.1	0.4	4.2	0.1	702.5	23.2	695.8	22.9	233.0	7.7	
割合	100%		2%		1%		96%		95%		32%		

出典) バドゥン県環境局

表 3-1 の通り、バドゥン県中間処理施設（TPST）に搬入される廃棄物は 2024 年 1 月-2025 年 6 月までの 18 か月平均で 24t/日、内訳としては 96%が混合ごみで、95%を焼却処理し、32%が最終処分（埋立地への搬出）となっている。

こうした処理状況の中、富山市企業である株式会社石橋が導入した RA-X での堆肥化は、分別された有機ごみが不足していることから、最大限の利用ができない状況が生じた。コンポストプラントは日量 50t の堆肥化が可能な容量であるが、分別及び堆肥化に必要な破碎処理量が日量 2t 程度であったため、堆肥化可能な容量もこの前処理量に依存し、同様に日量 2t 程度の処理に留まっていた。

こうした状況から、まず既設コンポストプラントの最大化を図る必要があったため、バドゥン県政府と連携し、現地 NGO である delterra の協力を得て、中間処理施設（TPST）への搬入元である一次廃棄物置場（TPS3R）における有機性廃棄物の分別強化を行った。

その結果、分別済みの有機性廃棄物量が 2-7t 程度まで拡大した。一方、分別された有機

性廃棄物は、伝統として頻繁に行われる祭事等に用いられる草木由来の装飾等であり、堆肥化にあたって破碎処理は必要とされるものであった。

中間処理場（TPST）での分別促進による成果

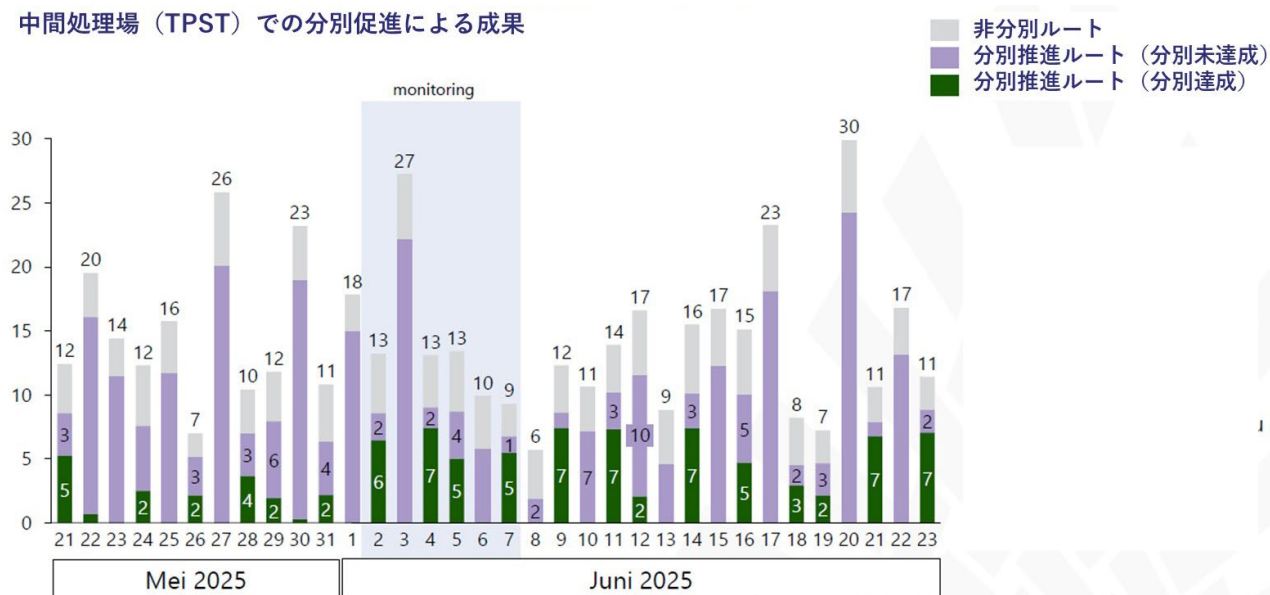


図 3-6 Delterra による分別推進による有機性廃棄物量の変化



図 3-7 有機性廃棄物（左）、破碎後の有機性廃棄物（中）、混合ごみ（右）

加えて、本来堆肥化に適した廃棄物種である食品ごみは、一次廃棄物置場（TPS3R）や家庭の段階で分別・再資源化され、養豚場等に販売されているフローが確認された。また、これは分別のしやすい食品系ごみに限られ、プラスチック等と混合した残渣は混合ごみとして排出されている実態があった。すなわち、有機性廃棄物のなかでも、堆肥化に適したものは別利用または混合状態でコンポストプラントには投入できず、堆肥化が難しい草木等が主な原料となる状況であった。

分別に加え、破碎についても設備容量 50t/日の達成が難しい状況の中、株式会社石橋、株式会社リョーシンならびに富山市の現地調査において、バドゥン県環境局への前処理設備導入検討を要請した。



図 3-8 既存の破砕機（左）、現地視察の様子（中）、バドゥン県環境局との協議（右）

その結果、バドゥン県環境局において必要予算を措置することが叶い、中間処理場での分別のための搬送装置（ベルトコンベア）、破砕機の導入が実現した。



図 3-9 導入した破砕機と搬送設備・分別作業

こうしたバドゥン県環境局による設備導入対策の結果、2025 年末より、日量 50t/日のコンポストプラント向け有機性廃棄物が確保できる見通しとなった。

一方、堆肥化が難しい草木等が主な原料であることには変化がなく、良質な堆肥の製造及び堆肥化速度を維持するための対策を検討する必要があった。

そこで、依然焼却処理に供されている混合ごみに着目した。混合ごみは、その多くが有機物であり、簡易調査の結果 70-80%は有機性廃棄物、中でも堆肥化に適した食品系廃棄物の比率が高いことが判明した。また、これらは水分含油率が高く、70-80%にも及ぶ。焼却や選別工程で課題となるのは水分含有量である。湿ったごみは分別フローに必要な搬送装置（コンベヤ等）や破砕機のベアリング、カッターに付着し容易に破損・故障させる。一方、焼却においては水分蒸発に熱量を奪われるため効率を落とす。よって、混合ごみの乾燥も大きな課題となっていた。



図 3-10 混合ごみの分析

そこで、2025年2月より、混合ごみのRA-Xへの投入による混合状態での発酵試験を実施した。発酵熱により水分除去を行い、有機分を堆肥化することができれば、分別は堆肥化後に比重分別等で容易に分離できる。分離したプラスチック等非有機分は、洗浄などの工程を付加することでマテリアルリサイクル等再資源化が可能になると考えられた。



図 3-11 混合ごみ堆肥化試験の手順

試験の結果、混合ごみの性状においても、発酵温度が70℃に達することが確認され、堆肥化に必要な有機分の確保と混合ごみの処理促進が可能であることを確認するに至っている。また、水分含有率も30%程度まで下がる結果を得た。今後、中間処理施設内での最適オペレーションの検討を行い、本処理方法を中心とした廃棄物処理手順の策定を行う計画である。堆肥化後の分別装置等、新たな設備導入と併せ、焼却回避によるJCM事業化の可能性を検討した。次項にその内容を示す

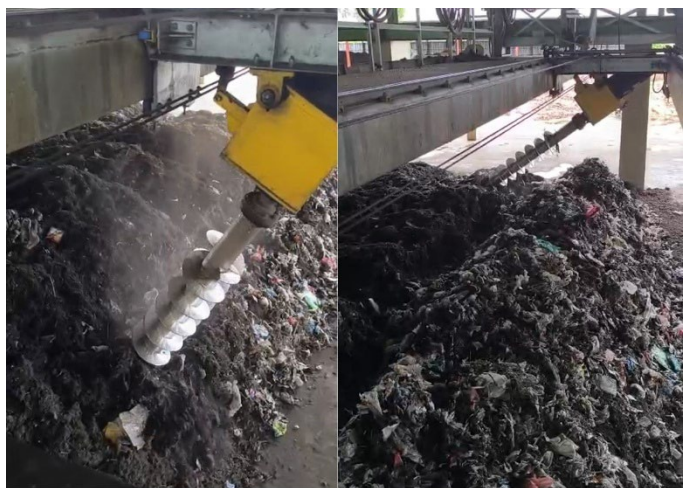


図 3-12 混合ごみ堆肥化試験の様子

2) 分別による脱炭素化の検討

① 脱炭素化のメカニズム

堆肥化装置 RA-X による混合ごみの発酵効果を踏まえ、JCM を視野に、混合ごみの焼却回避による脱炭素化可能性を検討する。導入技術としては、破碎、分別装置を想定する。

混合状態での発酵により生じる発酵熱を利用し乾燥させ、その後破碎したうえで、比重及び振動選別を行うことで、プラスチックの焼却回避に繋げる。発酵熱は 70-80°C に至り、80% の含水率が 30% 程度まで下がることが確認できたことから、当該含水率では設備に支障を与えない。候補となる装置は我が国製品を優先するが、現地及び世界中にラインナップがあるため、機能と価格のバランスを以って提案を検討する。

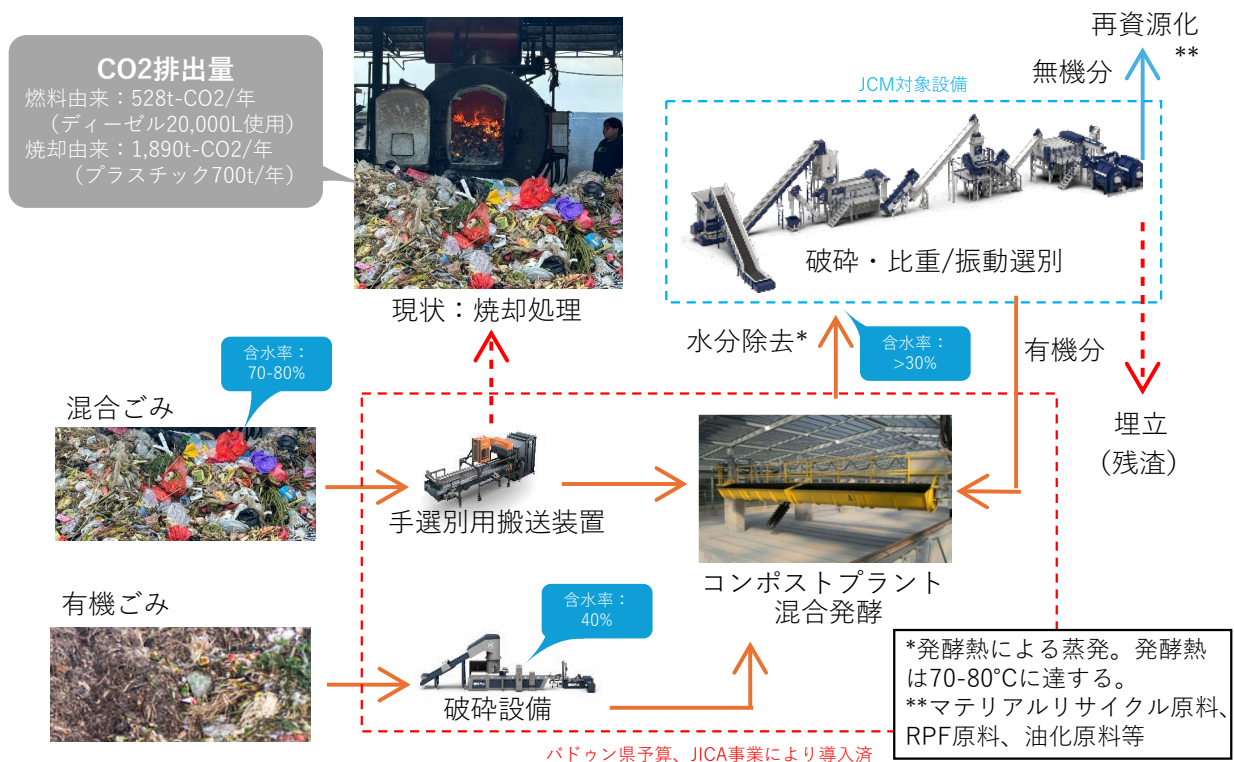


図 3-13 バドゥン県廃棄物フローと JCM 対象設備による焼却回避

② 導入効果の試算

現在、バドゥン県中間処理場にはエネルギー回収をしない 6 基の単純焼却炉があり、焼却に要したディーゼル燃料使用量は 2025 年の 1 年間の実績で約 200,000 リットルとなっている。ディーゼル燃料の排出係数は 2.6 kg-CO2/L であるため、排出量は約 528t-CO2/年である。

加えて、焼却した混合ごみの量は日平均 10t であるため、年間 3,650t が焼却されている。プラスチックの割合は少なく見積もって約 2 割程度であるため、約 700t 程度であると仮定する。プラスチックの焼却に伴う排出係数は 2.7 kg-CO2/kg であるため、1,890t-CO2/年程度の排出がある。これらを合算すると、リファレンス排出量（ベースライン）として 2,418t-CO2/年程度の規模となる。

プロジェクト排出量としては、分別や破碎設備の電力に加え、有機物の堆肥化が処理方

法に含まれることから、堆肥化の過程で生じる N2O をカウントする必要がある。堆肥から発生する N2O は、おもに窒素含有量の多い家畜排泄物を利用するものが主であるが、一定条件下で同様に発生が見込まれるため、これを抑制するための好氣的条件の維持、CN 比の管理等を体系化したうえで実測し抑制策を取る。施設規模・機器と併せ、N2O の発生量に検討課題が残るが、プロジェクト排出量として 400t-CO2/年程度の規模に収めることを目指し、ここではこの値を採用する。

上記より、排出削減量は 2,000 t -CO2/年、設備の耐用年数を「廃棄物処理業用設備（主として金属製のもの）」を適用し、17 年とすると 34,000 t -CO2 となる。費用対効果の目安である 4,000 円/t-CO2 から、補助率上限は 1.36 億円となることから、本事業では 1.3 億円程度での申請額を目指し案件組成を進める。

なお、リファレンスの設定およびモニタリングに必要となる焼却炉での燃料消費量については、バドゥン県環境局により日毎のデータが定常記録されており、必要なデータの蓄積と収集体制の確立の点で良好である。

一方、一定量の混合廃棄物を焼却回避に繋がたととして、なおも大量の廃棄物処理が必要なバドゥン県においては、これまで埋め立てに供していた廃棄物を、本取組により余力が生じた焼却炉において処理する対応をとることが想定される。この場合、これまで焼却されていなかった混合廃棄物による新たな排出に繋がることから、JCM 上の排出削減が成立しない。また、本取組により分別した廃プラスチックの行方についても留意が必要である。雑プラや容器包装系のプラスチックは、一部はマテリアルリサイクル原料として用いられるが、複層素材やアルミ蒸着処理が施されているものが混在しており、リサイクルには不適であるため、燃料化等の用途に供される可能性が残る。

この場合、熱回収や石炭代替等による効果は考慮される一方、プロジェクト排出量としての寄与を加味する必要が生じる。上述した堆肥化由来の N2O 等と併せ、JCM としての適性や、方法論についてはより熟慮が必要であるが、JCMA 等へのヒアリングを通じて、専門家の見解を仰ぎつつ、JCM としての成立可能性を引き続き検討する。

方法論の試案を以下に示す。

A. 方法論タイトル

Avoided Incineration CO2 Emissions through Source/Facility Waste Segregation in Indonesia
 廃棄物分別による焼却回避による CO2 排出削減（インドネシア）

B. 用語と提議

PEMAKAIAN BBM PDU MENGWITANI
 INCINERATOR 1
 BULAN JUNI

HARI, TANGGAL	BBM MASUK (LITER)	PENGISIAN TANGKI (JAM)	KETERANGAN	NAMA & TTD KOORDINATOR
Selasa, 06.06.2023	215 liter	16:23	Boropansi	A. Arsyana
Rabu, 07.06.2023	215 liter	16:37	Boropansi	Samud Wicari
Kamis, 08.06.2023	215 liter	23:22	Boropansi	A. Hana
Jumat, 09.06.2023	215 liter	01:18	Boropansi	Edi Saputra
Sabtu, 10.06.2023	215 liter	08:04	Boropansi	Sulaksana usha
Minggu, 11.06.2023	215 liter	10:07	Boropansi	IMP. G. H. H.
Senin, 12.06.2023	215 liter	15:33	Boropansi	Samud Wicari
Tuesday, 13.06.2023	215 liter	19:06	Boropansi	Edi Saputra
Wednesday, 14.06.2023	215 liter	20:27	Boropansi	Edi Saputra
Thursday, 15.06.2023	215 liter	01:06	Boropansi	Edi Saputra
Friday, 16.06.2023	215 liter	10:37	Boropansi	Edi Saputra
Saturday, 17.06.2023	215 liter	10:38	Boropansi	Edi Saputra
Sunday, 18.06.2023	215 liter	15:40	Boropansi	Edi Saputra
Monday, 19.06.2023	215 liter	20:16	Boropansi	Edi Saputra
Tuesday, 20.06.2023	215 liter	08:59	Boropansi	Edi Saputra
Wednesday, 21.06.2023	215 liter	12:43	Boropansi	Edi Saputra

図 3-14 焼却炉燃料記録の例

Terms	Definitions
MSW	Municipal Solid Waste (一般廃棄物)
Incineration facility	焼却施設 (既存焼却炉／熱回収を含まないこと)
Sorting facility	分別施設 (MRF、TPS3R、TPST 内の選別工程等)
Plastics	本方法論の「化石炭素由来 CO ₂ 削減」の対象となるプラスチック (例：PE, PP, PS, PET 等。バイオベースは除外)
Auxiliary fuel	焼却炉の立上げ・安定燃焼等に使用する補助燃料 (軽油、重油、LPG 等)
Reference emissions (RE)	プロジェクトが無い場合の排出量
Project emissions (PE)	プロジェクト導入に伴い発生する排出量
Emission reductions (ER)	排出削減量 RE - PE

C. 方法論概要

Items	Summary
GHG排出削減	本プロジェクトは、発生源または中間処理段階で分別 (有機性廃棄物、プラスチック廃棄物、その他廃棄物) を実施し、焼却されるプラスチック廃棄物量を減らすことで、焼却施設での補助燃料消費を削減し (燃料起源CO ₂ を削減)、焼却されるプラスチック (化石炭素) 燃焼由来CO ₂ を回避する。

D. 適格性要件

要件 1	<p><u>焼却回避の因果関係の明確性</u></p> <p>対象廃棄物はプロジェクト実施区域内で発生する MSW 等であり、プロジェクトにより焼却施設へ投入される量が実質的に減少すること。</p> <p>(分別導入により、対象焼却施設に投入される対象廃棄物 (t, wet) が減少することを計量で示せること。)</p>
要件 2	<p><u>リファレンス条件の確実性</u></p> <p>リファレンスでは、対象廃棄物が特定の焼却施設 (または同等の焼却処理) へ搬入されている (又は搬入されることが合理的に裏付けられる) こと。</p> <p>(過去の搬入記録、契約、自治体処理フロー等により、プロジェク</p>

	ト開始前に当該廃棄物が焼却に回っていたことを証明できること。)
要件 3	<p><u>プラスチック量の測定正確性</u></p> <p>分別により回避される対象は、少なくとも以下のいずれかを含むこと：</p> <ul style="list-style-type: none"> -プラスチック廃棄物の焼却回避（化石 CO₂の削減） -焼却量減に伴う補助燃料削減（燃料 CO₂の削減） <p>（分別で回避されるプラスチック量（t, wet or dry）が、サンプリング+組成分析（又は受入計量）で保守的に推定可能であること。）</p>
要件 4	<p><u>リーケージの管理</u></p> <p>プロジェクト導入による分別物（プラスチック等）の行先（リサイクル、SRF/RDF 化、マテリアルリサイクル等）が追跡可能で、単なる投棄・野焼き等が起きない管理があること。</p> <p>（分別物の行先がトレーサブルで、不適正処理が起きない管理手順（契約、受領票、処理証明など）があること。）</p>
要件 5	<p><u>データ計測・校正・保管</u></p> <p>モニタリングに必要な計量（質量、含水等）・エネルギー計測（電力、燃料）を、JCM ガイドラインに従い実施できること。</p> <p>（質量計、電力量計、燃料計測等が、モニタリングガイドラインに沿って校正・記録・保存されること。）</p>

E. 排出源・対象 GHG

リファレンス排出量	
排出源	GHG の種類
CO ₂ _REF,aux (焼却施設燃料由来排出ガス)	CO ₂
CO ₂ _REF,plastic (焼却プラスチック由来排出ガス)	CO ₂
プロジェクト排出量	
排出源	GHG の種類
CO ₂ _PE,electricity (分別施設の追加電力消費に伴う排出)	CO ₂
N ₂ O_PE,compost (堆肥化に伴う排出)	N ₂ O

F. リファレンスの設定と排出量の計算

F.1. リファレンス排出量の設定

リファレンスは「分別が無い場合、対象廃棄物が既存焼却施設で焼却される」状況。

F.2. リファレンス排出量の計算

モニタリング期間 y におけるリファレンス排出量：

$$RE_y = RE_{y,aux} + RE_{y,plastic}$$

(1) 燃料由来排出量

$$RE_{y,aux} = FC_{aux,y}^{REF} \times EF_{fuel} \times NCV_{fuel}$$

ここで、

- $FC_{aux,y}^{REF}$: リファレンスの補助燃料消費量 (単位 : L)
- EF_{fuel} : 燃料 CO2 排出係数 (tCO2/GJ)
- NCV_{fuel} : 低位発熱量 (GJ/L)

$FC_{aux,y}^{REF}$ は、「焼却量 (投入量)」と「補助燃料原単位 (燃料/投入量)」で推定するベースライン推計とし、次のように設定する :

$$FC_{aux,y}^{REF} = \left(\frac{FC_{aux,BL}}{W_{inc,BL}} \right) \times W_{inc,y}^{REF}$$

ここで、

- $FC_{aux,BL}$: ベースライン期間 y の実測燃料投入量
- $W_{inc,BL}$: ベースライン期間 y の実測焼却投入量
- $W_{inc,y}^{REF}$: プロジェクトが無いと仮定した焼却投入量 (プロジェクトで回避した量を含む総量)

(2) プラスチック燃焼由来排出量

$$RE_{y,plastic} = W_{plastic,y}^{REF} \times FC_{plastic} \times OF \times \frac{44}{12}$$

ここで、

- $W_{plastic,y}^{REF}$: リファレンスで焼却されるプラスチック量 (dry-t)
- $FC_{plastic}$: プラスチックの化石炭素含有量 (t-C/dry-t)
- OF : 酸化率
- 44/12 : C→CO2 換算

G. プロジェクト排出量の計算

プロジェクト排出量は、以下により計算する。

$$PE_y = PE_{y,electricity} + PE_{y,compost}$$

(1) 分別設備の追加電力

$$PE_{y,electricity} = EC_{sort,y} \times EF_{grid,y}$$

ここで、

- $EC_{sort,y}$: 分別工程（新規導入）の電力使用量（MWh）
- $EF_{grid,y}$: 系統電力排出係数（tCO₂/MWh）

(2) コンポスト由来の N₂O 排出量

以下のデフォルト値を用いる（案）。

$$FF_{N_2O,comp} = 0.003 \text{ kg-N}_2\text{O/kg-dry waste}$$

CO₂ 換算式：

$$PE_{,compost} = PE_{N_2O,y} \times GWP_{N_2O}$$

H. 排出削減量の計算

排出削減量は以下により求める。

$$ER_y = RE_y - PE_y$$

ここで、

- ER_y: 排出削減量
- RE_y: リファレンス排出量
- PE_y: プロジェクト排出量

I. 規定値および固定パラメーター

パラメーター	データの説明	規定値
EF_{fuel}, NCV_{fuel}	焼却燃料排出係数およびその低位発熱量	IPCC/国別指針またはインドネシア国家標準
$FC_{plastic}$	プラスチックの化石燃料含有量	主要樹脂の代表値（例：0.75～0.86 t-C/t）を保守的に設定し、混合プラは下限採用

<i>OF</i>	酸化率	1.0
<i>W_{inc(t/wet)}</i>	焼却投入量	過去3か年分の月別焼却炉運用記録または過去6か月分の日別焼却炉運用記録
<i>W_{plastic}</i>	焼却されるプラスチック量	過去3か月分の月別または過去6か月分のサンプリングにより実測した焼却炉投入プラスチック量
<i>EC_{sort}</i>	分別施設の使用電力	各設備での計測・記録値
<i>EF_{grid}</i>	電力排出係数	インドネシアにおける当該地域のグリッド排出係数
<i>EF_{N2O,comp}</i>	堆肥化由来のN2O発生量	CDM Methodological Tool 13 (UNFCCC) “Project and leakage emissions from composting” (Tool 13, v02.0)

(2) 事業設計及び体制構築

1) 事業設計

導入技術は、単一設備ではなく廃棄物処理施設に該当し、技術提供者としてはエンジニアリング会社になる。本事業に参画する株式会社リョーシンは廃棄物処理設備のEPC事業者として日本各地に実績を有しており、本提案と類似のプラントについても設計、導入の経験があるため、廃棄物性状の分析と理想的な処理施設のイメージを基に最適なプラントの提案が可能である。

代表事業者としては、同社が担う場合、補助側の利益排除の対象となるため、同社が代表事業者として参画する経営的インセンティブがない。そこで、こうした活動によるサーキュラーエコノミーの実装の実績を獲得したいリサイクル事業者等、代表事業者を担うインセンティブがある事業主体を選定する必要がある。

一方、代表事業者はあくまでJCM制度上のMRVの責務を負うに留まり、実質的には当該設備をバドゥン県政府が管理・運営することが現実的である。バドゥン県は2026年の廃棄物予算として約35億円(3,742億IDR)を計上し、廃棄物処理施設の強化および最適化の予算としている。提案する設備のスペック・規模に依存するが、JCM設備補助による上限が20億円であることから、裏負担を十分に賄い得る予算規模があると言ってよい。本事業のモデルを以下に示す。

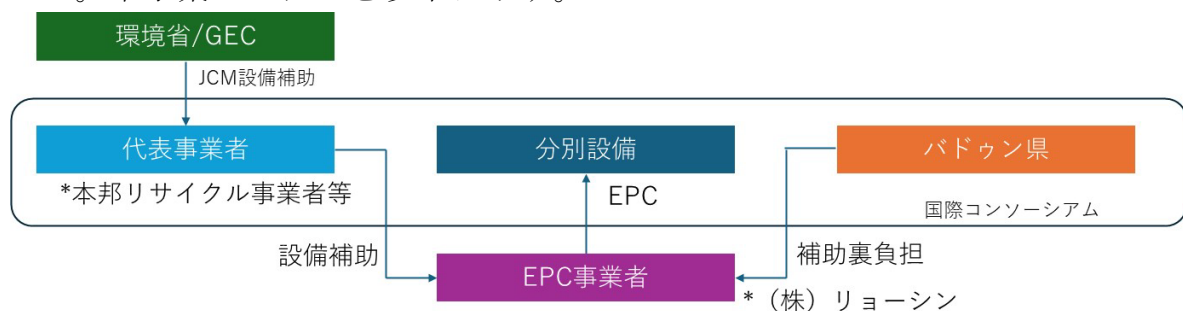


図 3-15 JCM 設備補助ケースの事業モデル（案）

2) JCM 以外の事業化モデル

方法論を含め、JCM を活用した事業化を検討した一方、上述の通り、本取組においては、JCM への適性に不確かな側面がある。

例えば、分別により焼却回避が実現した場合、焼却容量に余力が発生するため、これまで埋め立てに供していた廃棄物を、新たに焼却処理することが可能となる。これまで焼却されていなかった混合廃棄物の焼却由来の新たな排出は、焼却回避との相殺となるため、JCM 上排出削減が成立しない。また、本取組により分別した廃プラスチックが燃料化等の用途に供される場合、熱回収や石炭代替等による効果は考慮される一方、プロジェクト排出量としての寄与を加味する必要が生じる。

こうした点の整理の結果、JCM の適用が叶わない場合、JCM 以外のファイナンス手当を考慮する必要がある。

まず検討できるのは、豊富な財政基盤を有するバドゥン県予算の活用である。ただし、この場合、日本企業の技術を採用する予算的インセンティブが無い中での競争を想定しなければならない。当然、株式会社石橋や富山市とのこれまでの経緯から、優先検討を得られるだけの関係性を有するが、インドネシア自治体の調達に係る運用規制上、競争入札が不可避となる。

そのため、何らかの日本のファイナンス支援を得る形で、優位性を有しておくことが確実である。候補となるスキームとして、グローバルサウス未来志向型共創等事業費補助金がある。当該補助金は、今後成長が見込まれる未来産業に関し、グローバルサウス諸国において、日本企業が現地企業と互いの強みを活かしながら、強靱なサプライチェーンの構築、カーボンニュートラルの実現等を共に実現する事業等を支援するものとなっており、大企業 1/2、中小企業 2/3 の補助率で、実証事業の位置づけとなる。大型実証は上限 40 億円、小規模実証は上限 5 億円であり、事業規模とも整合する。R8 年度以降の予算措置状況を確認し、同プログラムの適用可能性についても並行して進める。

加えて、分別により得られたプラスチックを再資源化し、販売することによる民間ベースのプロジェクトも想定できる。バドゥン県は民間との連携を重視しており、撤退に至ったものの、RDF 製造事業者を受入れた事例もあり、廃棄物の再資源化に関心を有する民間投資を歓迎している。

こうした中、バリ州に所在するインパクトファンドである PT.Abundant Impact Ventures がバドゥン県との MoU を有し、廃棄物ビジネスの組成を検討していた。

そこで、同社との戦略的 MoU を締結し、本都市間連携事業の中で、廃棄物ビジネス実施に向けた事業会社の設立及びビジネス化検討を共同で実施した。

同社による事業モデルおよびファイナンスプランを以下に示す。

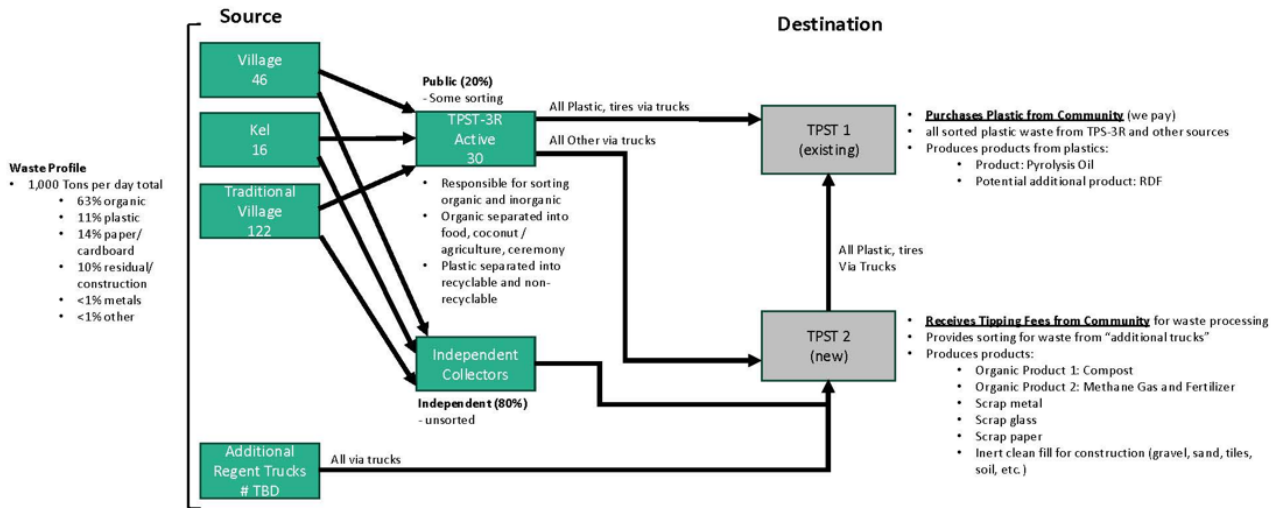


図 3-16 PT.Abundant Impact Ventures のビジネスモデル案

Financial Projections - Total Project

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
Revenue										
Organic	\$0	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977	\$4,835,977
Plastic	\$0	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000	\$25,920,000
	\$0	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977	\$30,755,977
Operating Expenses										
Organic	\$996,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200	\$1,196,200
Plastic	\$3,595,000	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993	\$15,191,993
	\$4,591,200	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193	\$16,388,193
EBITDA	(\$4,591,200)	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784	\$14,367,784
Depreciation	\$0	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898	\$3,019,898
EBIT	(\$4,591,200)	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086	\$11,348,086
Tax	\$0	\$1,486,515	\$2,496,579	\$2,496,579	\$2,496,579	\$2,496,579	\$2,496,579	\$2,496,579	\$2,496,579	\$2,496,579
Profit	\$0	\$9,861,571	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507
Capital										
Organic	\$13,075,483									
Plastic	\$17,121,500									
	\$30,196,983									
Cash	(\$34,788,183)	\$9,861,571	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507	\$8,851,507
NPV	\$15,560,997									
IRR	22%									
Payback	3.53 years									
Risk Free Rate of Return	7.15%									
Equity Premium	7.81%									
Currency Risk	2.00%									
Country Risk	2.78%									
	19.74%									
Implied Venture Premium	1.83%									

Cap Table - Regensys Resources	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Totals
Goals by Phase	Market analysis, technical feasibility, financial feasibility, and environmental impact assessments			Design, land acquisition, site preparations, technology selection, permitting			Build and operate first plants.			
Funding Rounds:	ROUND 1	Share Issue Price	Share Count	ROUND 2	Share Issue Price	Share Count	ROUND 3	Share Issue Price	Share Count	Final USD Value
Capital Invested	\$500,000			\$5,000,000			\$29,500,000			\$35,000,000
Effective Round Dilution to Regensys Resources Shareholders				17%			22%			
Total Dilution to Founder Shareholders	12.5%			16%			15%			
Post Money Valuation	\$4,000,000			\$30,000,000			\$136,800,000			\$136,800,000
Shareholders										
Founder Team	87.5%	\$0.10	35,000,000	71.1%	\$0.10	34,117,647	55.8%	\$0.10	34,117,647	\$76,267,157
Investor 1 - SAFE (Valuation Cap of \$18 mil, discount of 15%)	12.5%	\$0.10	5,000,000	12.3%	\$0.085	5,882,353	9.6%	\$0.085	5,882,353	\$13,149,510
Investor 2				16.7%	\$0.63	8,000,000	13.1%	\$0.63	8,000,000	\$17,883,333
Investor 3							21.6%	\$2.24	13,196,645	\$29,500,000
Total Ownership	100%			100%			100%			\$136,800,000
Total Share Float			40,000,000			48,000,000			61,196,645	
Share Value			\$0.10			\$0.63			\$2.24	

Notes

Value	Source
EBITDA Multiple for Waste to Energy Companies	9.5 Link
Average EBITDA for Ball project (\$ millions)	14.4 Regensys Business Case - April 22, 2024 v2
Post Money Valuation Round 3 (\$ millions)	136.8

図 3-17 PT.Abundant Impact Ventures のファイナンスモデル案

同社では、混合廃棄物すべての処理を事業会社が担い、有機性廃棄物とプラスチックの双方を価値化する事業モデルを想定した。有機性廃棄物を利用したバイオガス利用も含まれ、その構想は壮大である一方、RA-Xとの競合や、採用技術の選定には課題を残した。

同社との連携可能性は残しつつ、本都市間連携事業においては、バドゥン県政府の政策方針を重視しつつ、協業可能な範囲で民間投資によるビジネス化を目論む整理とした。

3.2. 脱炭素型廃水処理技術の導入に向けた調査

(1) バドゥン県における廃水汚染の現状とポテンシャル調査

1) 生活排水汚染地域の特定と汚染状況把握

① 検討背景

バドゥン県は、バリ島における観光開発の進展に伴い人口や宿泊施設が急増しているが、公共下水道の整備が追い付いていないエリアが多い。多くの地域では依然として個別のセプティックタンク等による処理に頼っており、処理が不十分な排水や未処理水の放流が、河川や沿岸域の水質悪化、さらには地下水汚染を引き起こす要因となっている。

また、これら既存の廃水処理プロセス、とりわけ嫌気的な環境下においては温室効果ガスの一種であるメタンが発生しており、環境負荷の低減とあわせて気候変動対策への対応も求められている。脱炭素社会の実現に向けた取り組みにおいて、エネルギー分野のみならず、廃水処理インフラの改善による排出削減は極めて有効な手法に位置付けられる。

インドネシア・バリ島南部の都市部では、日本の政府開発援助（ODA）の一環として、下図に示す場所にて JICA によるデンパサール下水道整備事業が段階的に実施されている。

1994 年には、円借款による第 1 期事業が実施された。本事業では、デンパサール周辺の整備の緊急性が高い地域を対象として、下水管渠の敷設、ポンプ場の建設、下水処理場の建設など、都市下水道システムの基盤となる施設整備が進められた。その後、都市化の進展や未整備地域からの需要増加を背景として、2008 年には第 2 期事業が実施された。この段階では、第 1 期で対象とならなかった商業施設集積地域や下水道整備ニーズの高い地域に対して下水管網の拡張が行われた。

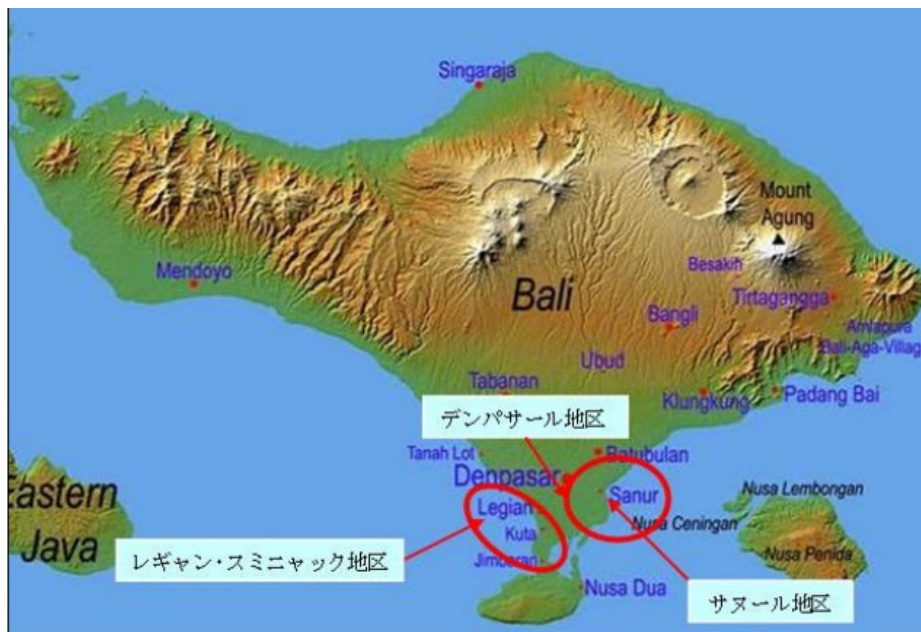


図 3-18 JICA プロジェクトサイトの位置

出典：JICA デンパサール下水道整備事業 外部事後評価報告書

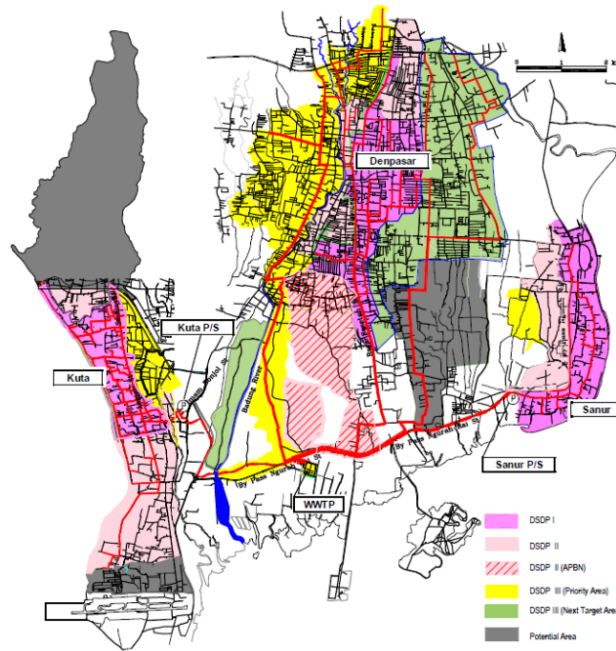


図 3-19 : JICA プロジェクト事業対象地域

出典：JICA デンパサール下水道整備事業（2） 外部事後評価報告書

第 1 期事業は 1994 年に円借款契約が締結され、承諾額は 54 億円、実行額は約 52 億円であった。本事業では、デンパサール、サヌール、クタ地区を対象として下水管渠、ポンプ施設、下水処理場が建設された。

下水処理場はデンパサール南部に建設され、処理場への流入を目的として幹線管渠および支線管渠が敷設され、ポンプ場が設置された。

第 2 期事業は 2008 年に円借款契約が締結され、既存の下水道システムを前提として、管渠延伸および接続拡大が実施された。主に第 1 期で対象外となっていた地域や、下水道接続需要が高い地域を対象として管渠整備が行われ、下水道接続数の増加が図られた。また、地方政府による下水道事業の運営および維持管理を実施するための体制整備も実施された。なお、プロジェクト対象地域の位置関係は上図に示すとおりである。上図では、黒点線内がフェーズ II 事業の対象エリアを示しており、濃いピンクはフェーズ I 事業で整備されたエリア、黄色および緑色はフェーズ III 事業で整備が想定されているエリアを示している。

② 汚染深刻地点の特定

(a) バドゥン県環境局へのヒアリングと河川調査

バドゥン県環境局との協議において、排水事業の検討地点として、県内で洪水発生頻度が高い地域を優先的に検討対象とする方針が共有された。洪水発生時には未処理排水の流出に伴う公衆衛生リスクの増大および汚染拡散が生じることから、当該課題は地域における環境インフラ整備上の重要課題として認識されている。特に、バドゥン県中部に位置する北クタ地区の河川周辺では、降雨時の河川水位上昇に伴い生活排水が周辺地域へ拡散する状況が確認されており、生活環境および水質への影響が懸念される。また、北クタ地区の河川では、排水を直接海域へ放流せず、河川上流側へ一時的に戻す運用が行われている。

これは、排水の滞留時間を確保することで自然浄化を促す目的であると考えられる。このため、当該河川流域を含む洪水常襲地域を本調査で視察した。



図 3-20 視察した水発生頻度が高い河川の位置

出典：mapcarta map Web サイト

現地調査において、河川状況および河川管理施設の設置状況を確認した。その中で、下図に示すように、流出ゴミ撤去を目的とした大型スクリーンが設置されていることを確認した。このスクリーンは、上流から流下する漂流ゴミを捕捉することを目的として設置された施設と考えられる。平常時には大きな通水障害は確認されなかったが、降雨時に増水した際は、灌木、家庭系廃棄物、ペットボトル等の流出物がスクリーン部に滞留する可能性がある。

また、この河川は周辺の標高差が小さいことから、縦断勾配が小さいと考えられ、降雨時に流下能力が制約され、水位が上昇しやすい条件にある可能性がある。これらの状況から、降雨時には河川水位の上昇および周辺地域の浸水発生との関連が生じている可能性がある。

スクリーン下流部では、洪水時に流出したとみられる土砂の堆積が確認され、堆積土砂上には多量の漂流ゴミが残置されている状況が確認された。河川水の透明度は低く、水質の悪化が示唆される状況が確認された。さらに、河床部に堆積した汚泥からガスの発生とみられる気泡の発生および腐敗臭が確認された。

この堆積した土砂の対策のため、スクリーン下流域では、河川断面の確保を目的とした河川敷掘削工事が実施されており、河川幅および通水断面を拡大する対策が進められている状況が確認された。



図 3-21 視察した河川の様子

(b) チャングー（Canggu）地域における河川視察と排水状況

チャングー地域は、下図に示すクタおよびスミニャックの北側に位置する沿岸地域であり、近年、観光開発の進展により宿泊施設、飲食店、商業施設が急速に集積しているエリアである。海岸部には、世界的にサーファーに知られるペレナンビーチのリバーマウス周辺を中心に複数のサーフポイントが広がっており、潮位や時間帯によって波質が変化することから、初心者から中級者まで多くのサーファーが訪れる人気のエリアとなっている。

一方で、既存の下水道整備区域から距離があるため、生活排水が個別に処理されず河川へ直接流入している状況が確認されており、大雨後には河川水の汚濁が海岸域まで影響し、サーファーや利用者に衛生上の懸念が生じることも報告されている。

現地確認では、河川沿いの宿泊施設および飲食施設周辺において、生活排水が河川へ直接流入しているとみられる排水経路が複数確認された。また、河川内には生活排水由来と考えられる汚濁の進行が目視で確認された。



図 3-22 チャングー地域の位置



図 3-23 レレナンビーチのリバーマウス周辺の様子

(c) IPAL Suwung（下水処理場）の稼働実態と技術的課題

IPAL Suwung はデンパサール市にあるバリ島最大規模の下水処理場である。本施設は観光地化に伴う人口増加や生活排水による水質汚染に対応するため、日本の JICA が実施したデンパサール下水道整備計画（DSDP）の一環として建設された。

現在、下水道の接続件数は 16,650 カ所に達しており、接続元は家庭、企業、飲食店、ホテル、公共施設など 13 のカテゴリーに分類されている。しかし、計画全体の接続率は約 30

%で、残りの約 70%の区域では接続が行われていない。

施設の処理方式は曝気ラグーン法で、2004年に運転を開始した。設計上の最大処理能力は1日あたり51,000m³で、施設周辺のマングローブ林の環境への影響にも配慮して配置されている。

曝気式ラグーン法は、浅い池等に曝気装置で酸素を供給し、微生物の働きによって有機物を分解する処理法である。ラグーン内では、下図のとおり、上層で好気性処理、下層で嫌気性処理が同時に進行する。この方式は初期投資や運転コストが比較的安く、エネルギー消費も少ないことが特徴である。汚水の滞留時間が数日から数週間と長いため、負荷の変動に強く、余剰汚泥の発生も少なく、メンテナンスも簡単である。一方で、処理速度が遅く、広い敷地を必要とする点が制約となる。しかしながら、土地が広く気温の高い環境では安定して処理でき、運転コストを抑えられることから、東南アジアのような地域では有効な方式といえる。

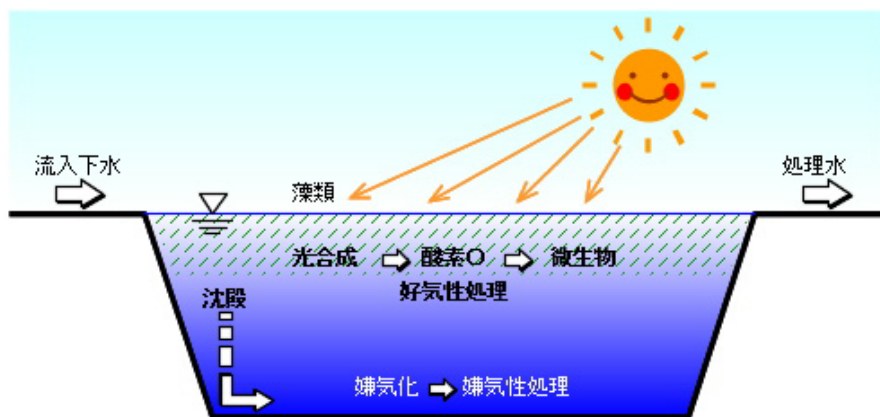


図 3-24 ラグーン処理の概要図

出典：株式会社ソーエン Web サイト

IPAL Suwung では、下水はスクリーンで大きな固形物を排除した後に、まず2つの曝気槽を通り、次に2つの安定化池で処理され、最後に消毒処理を経て放流される。曝気池では、1池につき6か所の水中配管から酸素が供給され、攪拌が行われている。

曝気池には汚泥が堆積しており、水深4メートルのうち約2メートルが埋まっていることが確認された。今後さらに汚泥の堆積が増大されると沈殿池以降に汚泥が流出したり、処理水質が保てなくなる可能性も考えられるが、汚泥を取り除く際に、曝気池底部に設置されたメンブレンに影響する可能性があるため、現状では堆積したまま管理せざるを得ない。今後の汚泥処理方法や廃棄方法の選定には慎重な検討がなされているとのことであった。

曝気装置の改修によっては排水処理の機能を回復できる可能性があるが、槽が大きいためメンテナンスは容易ではないと考えられる。そのため、既存の構造を活用しつつ、処理システムや流れを見直す改修が望ましいと考えられる。



図 3-25 IPAL Suwung の曝気池（左）と安定化池（右）

出典：八千代エンジニアリング Web サイト



図 3-26 右)曝気池 左)安定池

(2) 対策技術の検討とモデル地区の選定

1) モデル地区の検討

前章に示した現地視察結果より、本地域では、河川環境の改善に向けた取組が求められている。一方で、河川そのものに対して直接的な浄化対策を実施することは、流量変動や希釈の影響を受けやすく、効率性および持続性の観点から課題が多い。そのため、河川水質の改善に向けては、河川へ流入する前段階において汚濁負荷を低減することが重要である。特に、生活排水や固形廃棄物といった発生源において、適切な処理および管理を行うことが、結果として河川環境の改善に直結すると考えられる。

このことから、本地域における河川環境対策は、河川そのものに対する直接的な改善ではなく、生活排水処理の適正化や廃棄物管理の強化といった発生源対策を中心に検討することが望ましい。

チャンダー地区の西側に位置するペレナン村において、村長との面談を実施し、河川および排水汚染に関するヒアリングを行った。当該地域は、住宅地、ヴィラ、ホテル等の宿泊施設が密集し、急速な都市化が進行している沿岸地域である一方、下水インフラ整備は限定的である。ペレナン村の定住人口は 3,000 人程度、世帯数は約 600 世帯である。一方、ホテル、ヴィラ、短期滞在型宿泊施設の利用に伴う季節的観光客の流入により、水

需要および汚水発生量は平常時の数倍規模に増加していると考えられる。

バドゥン県に登録されている宿泊ユニット数は、2015年の1,798ユニットから2024年には3,582ユニットへ増加しており、下図のとおりその多くがチャンゲーからペレレナンにかけての沿岸地域に集中している。

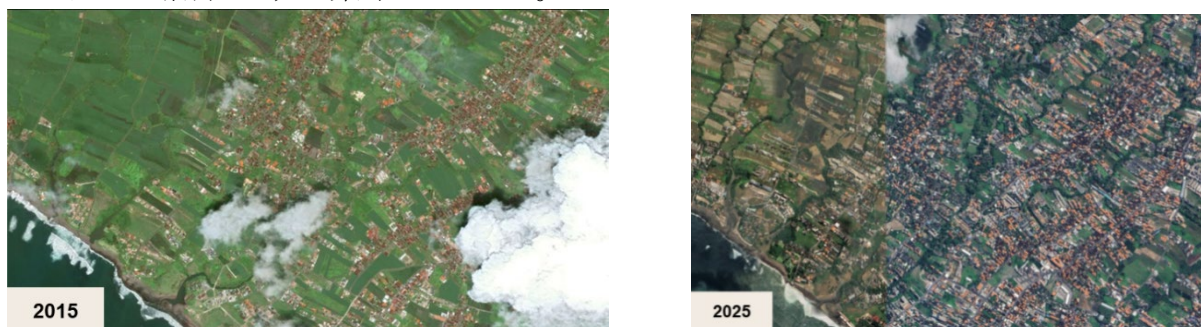


図 3-27 チャンゲー周辺の土地利用状況の変化

出典：Google Earth, imagery © Google

村内には3本の河川が流れているが、生活排水および固形廃棄物の流入により水質が悪化している状況にある。汚染源については、上流域に位置する他村からの流入負荷の影響も受けている可能性があるとのコメントがあった。また、当該河川は複数の小支流とともに、いずれもペレレナン沿岸の河口へ流入している。

下水インフラの整備状況としては、集中型下水処理システムは整備されておらず、JICA第3フェーズ整備計画の対象区域にも含まれていない。多くの建物では浄化槽または浸透槽を用いた個別処理に依存しており、一部の排水は未処理または不十分な処理のまま河川へ直接放流されている。このような状況を踏まえ、本地域はモデル地区の検討対象となり得ると考えられる。



図 3-28 ペレレナン村行政区域図

出典：ペレレナン村提供

ペレレナン村周辺の河川水質データによると、特に河川水中の大腸菌（E. coli）は最大 2,500 MPN/100 mL を示し、環境基準値を大きく上回る値となっている。主な要因としては、未処理の生活排水の流入や浄化槽からの漏出が考えられる。また、地下水からも大腸菌群が検出されている。加えて、BOD（生物化学的酸素要求量）および COD（化学的酸素要求量）が高い値を示しており、有機物による汚濁が継続的に発生していることが示唆される。この状況は水生生物への影響に加え、地表水と地下水のつながりを通じて、周辺環境への影響が広がる可能性がある。水質項目のうち、浮遊物質や重金属については市街地周辺において浮遊物質（TSS）の基準超過が確認されたほか、カドミウムや鉛といった重金属についても、断続的に基準値を超過する結果が確認されている。これらは、建設活動、車両交通、小規模な事業活動等に由来すると考えられる。油脂類や洗剤成分（界面活性剤）については、現時点では基準値内、または軽微な超過にとどまっているが、観光開発の進展に伴い負荷が増加する可能性がある。

また、プラスチックごみの流出および海水侵入も課題となっている。河口部では、1日あたり約 377kg のプラスチックごみが回収されており、分解によって発生するマイクロプラスチックが生態系に影響を与える可能性が指摘されている。さらに、地下水の過剰な取水により、海水侵入が年間 35～56 m の速度で内陸側へ進行していると推定されており、2029 年頃までに淡水資源の利用可能性が低下する可能性がある。

表 3-2 ペレレナン村の河川および海水の水質データ

項目	単位	観測値 (河川・地下水等)	基準値
E. coli (河川)	MPN/100mL	1,000 ~ 2,500	100 ~ 1,000
E. coli (海水)	MPN/100mL	1,100 超	-
BOD	mg/L	20 ~ 25	2 ~ 12
COD	mg/L	35 ~ 45	25 ~ 50
亜硝酸	mg/L	0.2 ~ 0.6	0.06
リン酸	mg/L	0.2 ~ 0.5	0.2
TSS (浮遊物質)	mg/L	50 超	50
カドミウム (Cd)	mg/L	0.015 ~ 0.025	0.01
鉛 (Pb)	mg/L	最大 0.03	0.03
銅 (Cu)	mg/L	0.01 ~ 0.02	0.02
界面活性剤	mg/L	< 0.05	0.2
油脂類	mg/L	0.1 超 (一部)	-

表 3-3 ペレレナン村の環境課題に関連するデータ

項目	指標	現状・予測	備考
プラスチック類	回収量	約 377 kg/日	・河口部・ペレレナン橋が集積が確認されている地点 ・家庭ごみ、市場の包装材、観光由来の廃棄物が含まれる
マイクロプラスチック	水中濃度	48.5~105.4 粒子/L	
	堆積物中濃度	225~589 粒子/kg	バドゥン川の堆積物
汽水化 地下水塩分 (TDS)	mg/L	700 ~ 1,000	汽水化：海水侵入の進行
海水侵入速度	m/年	35 ~ 56	2029年までに内陸部へ拡大の予測

実地調査

ペレレナン村において、村長の同行のもと、村内河川および排水路の現地視察を実施した。視察では、下図に示すように、建物の壁面から複数の排水管が外部に突出し、そのまま下方の水路へ排水が放流されている状況が確認された。また、排水路内にはごみの放置が多く見られ、水路構造上の流速の低下する箇所において、廃棄物や堆積物が滞留している状況が確認された。村長へのヒアリングでは、排水路の清掃は定期的に行っているも

のの、短期間で再びごみが堆積してしまうとの説明があった。



図 3-29 排水路等の視察の様子

ペレレナン沿岸の Pangi 川上流の河川区間では、水は全体的に濁りが見られた。強い悪臭は確認されなかったものの、生活排水の流入による水質への影響がうかがえた。また、ヴィラ等の宿泊施設からの排水が河川へ流入している状況も視認された。加えて、河川の屈曲部や構造物周辺では、下図に示すように、廃棄物や有機性の堆積物が滞留している状況が確認された。降雨時や増水時には、流量の増加に伴い、これらの堆積物が下流側へ移動し、最終的に沿岸海域へ流出する可能性がある。



図 3-30 Pangi 川周辺の様子

2) 対策技術の検討と脱炭素効果の整理

ペレレナン村において排水処理システムの導入を提案する理由として、以下が挙げられる。

- ・地域関係者の環境改善に対する関心が高く、排水処理事業の導入・運用に向けた協力体制を構築しやすいと考えられること
- ・現状のまま環境対策を講じない場合、観光資源であるクタ湾の水質悪化につながる可能性があること
- ・本地域における排水処理整備による温室効果ガス削減効果を試算することで、将来的に他地区へ展開する際の脱炭素効果を検討するための指標となることが期待されること

生活排水を処理する手段としては、以下の方式が考えられる。

①個別浄化槽

各家庭または複数建物単位で合併処理浄化槽を設置し、生活排水およびし尿を処理する方式である。観光地やヴィラ集積地区においては、複数戸（住宅、ヴィラ、宿泊施設等）を1基の浄化槽に接続する共同処理方式とすることで、設備数の削減や維持管理の効率化を図ることが可能である。発生した汚泥は、汚泥処理施設へ搬出処理する、または地域内に汚泥処理施設を整備することが想定される。

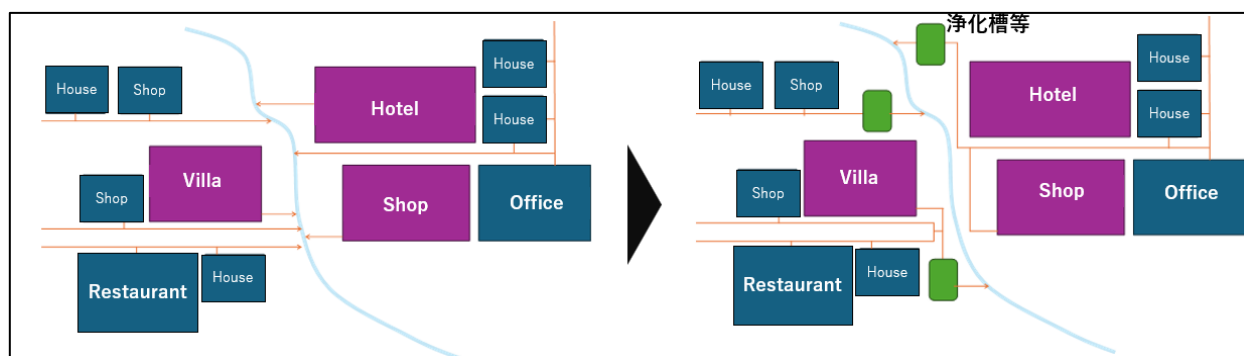


図 3-31 浄化槽の設置イメージ

②小規模下水道システム

概ね 100～500 人規模の範囲を対象として、小規模な管路ネットワークを形成し、末端に処理施設を設置する方式である。維持管理性を考慮し、整備の進展に合わせてネットワークを段階的に接続し、最終的に 1 箇所の処理施設へ統合することも可能である。

限られた予算の中で効果を確認しながら整備を進め、必要に応じて施設統合を図ることができる。

脱炭素の観点では、集中管理により処理効率を確保しやすく、未処理排水由来のメタン発生を抑制できる可能性がある。一方、複数施設を個別に運用する場合は、設備数の増加に伴い電力消費が増加する可能性があるため、将来的な施設統合や運用最適化が重要となる。

小規模排水処理施設を複数導入することは技術的に対応可能であるが、各施設ごとに運転管理および維持管理を実施する必要があり、結果として運用負担が大きくなることが想定される。そのため、管理体制や維持管理手法を適切に設計する必要がある。

また、維持管理性や運用効率の観点からは、複数の小規模処理施設を一定規模に集約して運用するという考え方も有効な選択肢の一つとなり得る。このような集約型の考え方の

参考事例として、富山市における農業集落排水処理施設が挙げられる。

同市の農業集落排水では、小規模集落単位で管路ネットワークを整備し、集約型の処理施設により安定した水質管理および効率的な維持管理を実現している。本地域においても、同様の考え方を応用し、段階的に管路接続範囲を拡張しながら、最終的に一定規模の処理施設へ集約する方式について検討する余地がある。

3) 温暖化への寄与の評価

本事業においては、個別浄化槽の導入または小規模下水道システムの導入を検討しているが、ここでは、各家庭または複数建物単位で合併処理浄化槽を設置し、生活排水およびし尿を処理する場合について、GHG 排出削減量の試算を実施した。浄化槽については、株式会社ダイキアクシス製浄化槽の導入を想定した。同社はインドネシアに現地法人を有し、インドネシアの法令に即した浄化槽導入事業をバリ州においても展開し、現地課題に対応した浄化槽導入に関し、技術的優位性が高い。また、当地での浄化槽保守・運用は、同社が連携する PT. Earth Creative Indonesia（アースクリエイティブ株式会社の現地法人）が担う体制が構築されていることから、導入の実現可能性が高い。

なお、同社は、日本国内の山間地域等で太陽光発電設備による浄化槽の設計・施工に実績を有していることから、浄化槽稼働に係る電力は、太陽光発電で供給するモデルを検討し、GHG 排出削減効果を試算した。

① メタン発生推計モデルを用いた GHG 排出量

複数世帯及び小規模のヴィラからの排水を 1 台の浄化槽により処理する方式を仮定し、排水量は 100 人分、設備規模として 1 日当たり 30 m³ の処理が可能な大型の浄化槽 (BJ-30) の導入を想定した。同設備の消費電力は、約 1,000 W であり、24 時間 365 日稼働させることを想定した場合の年間消費電力量は 8,760 kWh/年であり、この電力を太陽光発電で供給するモデルを検討する。インドネシアにおける電力 CO₂ 排出係数は、「2019 年度から 2021 年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（二国間クレジット制度資金支援事業のうち設備補助事業）公募要領 別添 4」によれば、0.533 tCO₂/MWh とされているため、上述の推計により得た 6,570 kWh の発電量から、年間約 4.67 t の CO₂ 排出削減が可能となる。

また、浄化槽導入により、従来であれば河川等に放出され、自然分解により発生していた温室効果ガスの削減効果が見込まれる。この削減量算定方法は、環境省がとりまとめた温室効果ガス排出・吸収量算定方法のうち、「5.D.1 生活排水の自然界における分解」⁷が参考になる。当該方法論では、2006 年 IPCC ガイドライン「Chapter6 Wastewater treatment and discharge」⁸を参照しており、生活排水の自然界における分解に伴うメタン排出量を以下の計算式で算出できる。

⁷ 環境省「5.D.1 生活排水の自然界における分解」(https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/methodology/material/methodology_5D1_4_2020.pdf)

⁸ 2006 IPCC Guidelines Vol6 Wastewater treatment (https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf)

$$E = EF \times \sum(A_i)$$

- E : 生活排水の自然界における分解に伴う CH₄ or N₂O 排出量 [kg-CH₄] or [kg-N₂O]
 EF : 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト排出係数 [kg-CH₄/kg-BOD] or [kg-N₂O/Kg-N]
 A_i : 公共用水域に未処理で排出される生活雑排水・汚泥（種類 i ）中の有機物量もしくは窒素量 [kg-BOD] or [kg-N]

同ガイドラインに従い、生活排水のデフォルト値として 0.6 [kgCH₄/kg-BOD] を用いる。メタン変換係数は、同ガイドライン Table 6.3 の「Untreated system」の「Sea, river and lake discharge」のデフォルト値 0.1 を用いる。その結果、CH₄ 排出係数は 0.06 [kg-CH₄/kg-BOD] と算定される。また、我が国における生活排水の BOD (生物化学的酸素要求量) 負荷量は、し尿 13 g/人・日、生活雑排水 27 g/人・日の計 40 g/人・日となっている。仮にこの数値を適用すると、浄化槽の設備導入による CH₄ 排出削減量は 87.6 kg-CH₄/年となり、CO₂ 排出削減量に換算すると (CH₄ の温暖化係数 : 25)、2.19 t-CO₂/年となる。

上述のリファレンス CO₂ 排出量に対し、プロジェクト CO₂ 排出量としては、発生する浄化槽汚泥を浄化槽から汚泥処理施設へ運搬する際の輸送由来排出量などが想定されるが、現状は想定が難しいことから、無視できるものと仮定する。すなわち、年間合計 6.86 t-CO₂ が削減可能と試算される。

② 費用対効果

上述のエリアを限定した実証事業については、JCM 設備補助事業ではなく、環境省の「アジア水環境改善モデル事業」などの実証予算を活用し、浄化槽導入、それに伴う効果検証、太陽光発電とパッケージ化したシステムの検討等を実施する考えである。一方、将来的に、例えばペレレナン村全域に浄化槽を導入する際には、CO₂ 削減に係る太陽光発電設備について、JCM 設備補助事業の活用を検討する予定であり、今回はその際の費用対効果について試算した。

ペレレナン村の定住人口はおよそ 2,000 人であるが、定常的に同規模の観光客が滞在すると仮定し、定住人口を 4,000 人とする。上述の 1 日当たり 30 m³ の処理が可能な大型の浄化槽 (BJ-30) の導入を想定すると、約 40 台の設置が見込まれる。40 台分の浄化槽の年間消費電力量は、350,400 kWh となることから、これらの電力を得るためには、太陽光発電設備の稼働率がおおよそ 20% 程度であることを踏まえると、約 200 kW の設備容量が必要となる。コストは、日本のパネル調達の想定で kW 当たり 15 万円であるため、総額は 3,000 万円となる。太陽光発電事業は、既に複数の JCM 設備補助事業実績があるため、補助率は 30% となることから、この場合、補助金額は約 900 万円となる。

上述の合計 100 人分の排水処理における CO₂ 排出削減量の試算結果を用い、かつ、財務省の減価償却資産の耐用年数等に関する省令別表を参照し、太陽光パネルについては「機械・装置以外のその他の設備の主として金属製のもの」の法定耐用年数 17 年を、浄化槽については「上水道又は下水道業用設備」の法定耐用年数 12 年を適用し、自然分解により発生する温室効果ガスの削減効果を含め、償却期間排出削減量の合計を試算した結果、4,751 t-CO₂ の削減が見込まれる。以上より、浄化槽の設備導入による トン当たりの削減コストは 1,894 円となる。

3.3. 既存設備リニューアル

(1) タバナン県小水力

富山市が全面的に事業協力を行ったバドゥン県 Jatiluwih 村の小水力発電設備は、現在使用を停止しており、バッテリー交換式 EV バイクの導入を想定し、リニューアルを行うモデルを検討した。

同事業は、JICA 中小企業海外展開支援事業「インドネシア国用水路対応型小水力発電システムによる農村地域の電力不足解消に向けた普及・実証事業」として 2019 年に実施された事業である。

Jatiluwih 村は、バリ州タバナン県 Penebel 地区管理下の 18 ある村の中のひとつで、バリの伝統的な水稲稲作慣習や棚田の文化的景観の価値が認められ、2011 年に世界遺産として認定された地域のひとつである。

世界遺産登録以降、観光客は増加しており、世界遺産登録前の 2010 年は 36,342 名であったものの、2013 年には 10 万人の大台を超え、2016 年には 179,890 人に増加している。新型コロナウイルス感染により、一気に観光客は減少したものの、2023 年の観光客数は 316,703 人と、コロナ以前を上回る水準となっている⁹。

世界遺産登録以降、観光税などの収入が向上した一方で、電力インフラ等の不足が課題となっていた。そこで、富山市内企業で水車発電機メーカーである水機工業により、JICA の支援を得て特にニーズの高かった夜間照明用途の小水力発電設備導入に至っている。

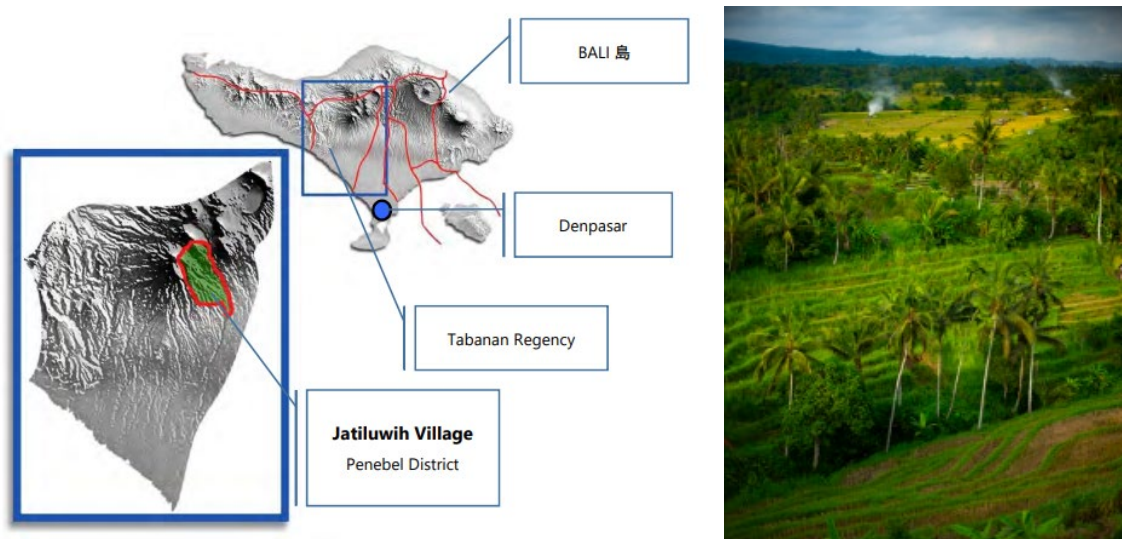


図 3-32 Jatiluwih 村位置図と棚田風景

出典) 国際協力機構「インドネシア国 用水路対応型小水力発電システムによる農村地域の電力不足解消に向けた普及・実証事業 業務完了報告書」より引用 (左図)¹⁰

表 3-4 JICA 導入設備と仕様

⁹ Bisnis Bali, 19/Dec/2023 <https://bisnisbali.com/dtw-jatiluwih-dikunjungi-316-ribu-wisatawan/>

¹⁰ <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12325122.pdf>

サイト名	Site 2-1	Site 2-3	Site 5	Site 7
具体的な場所	ジャティルウィ村 ウマデュイ地内	ジャティルウィ村 ウマデュイ地内	ジャティルウィ村 ウマカユ地内	ジャティルウィ村 タラバゲデ地内
集落世帯数	40	40	37	110
使用水源/施設	パンダワ湖伏流水 用水路落差工			
適用水車	らせん水車	開放周流形水車	プロペラ水車	開放周流形水車
設置場所 所有者/合意	スパック管理地であり、スパックと合意済			
許認可	水車はタバナン県、電灯はジャティルウィ村に申請			
現地写真				
スペック	Q=0.03m ³ /s H=2.5m Pt=0.40kW	Q=0.03m ³ /s H=1.0m Pt=0.16kW	Q=0.07m ³ /s H=12.0m Pt=4.90kW	Q=0.014m ³ /s H=2.1m Pt=0.16kW
街灯設置数	街灯 81 灯		街灯 58 灯	街灯 61 灯
設置工事	スパック組合員との協働			
維持管理・運営	スパックによる運営組織			

出典) 国際協力機構「インドネシア国 用水路対応型小水力発電システムによる農村地域の電力不足解消に向けた普及・実証事業 業務完了報告書」より引用 (左図)¹⁰

JICA 事業により導入された水車は 4 台で、すべて街灯用電源として運用されてきた。上述の通り、新型コロナウイルス感染拡大により、オペレーション/メンテナンスコストの財源としていた観光税が減少したため、設備保全のため稼働停止となっており、現在もその状況は続いている。設備所有者のタバナン県では、再稼働に際して、街灯以外のより効果的な利用先についても検討する意向がある。

バッテリー交換式 EV バイク用バッテリーステーションの導入可能性の検討候補としては、4 機の発電機のうち、設備規模の最も大きい 4.90 kW の発電機を対象とする。

現在の発電機の状況について、水力発電を含むバリ州の再生可能エネルギー EPC 事業者である PT Cahaya Mentari Berkah 社に設備診断を依頼したところ、当該発電機は、タービンについては十分機能するものの、各パネルボックスのバッテリー (ACCU) やインバーターなどの機器類については交換等が必要であることがわかった。

事業化に際しては、これらの改修とバッテリー交換式 EV 二輪車用のステーション等整備のコスト回収を含むビジネスモデル検討が必要となる。

ビジネスモデルとしては、30 万人を超える観光客を対象に、棚田観光に用いる移動手段として貸出サービスを提供し、収益を得るモデルとする。

水車発電機の改修と共に、バッテリー交換式 EV バイクの導入量 (需要予測に基づき検討) に応じて電力不足分を太陽光発電によって補う場合、PV パネルの導入コストを検討する。想定される事業モデルを以下に示す。

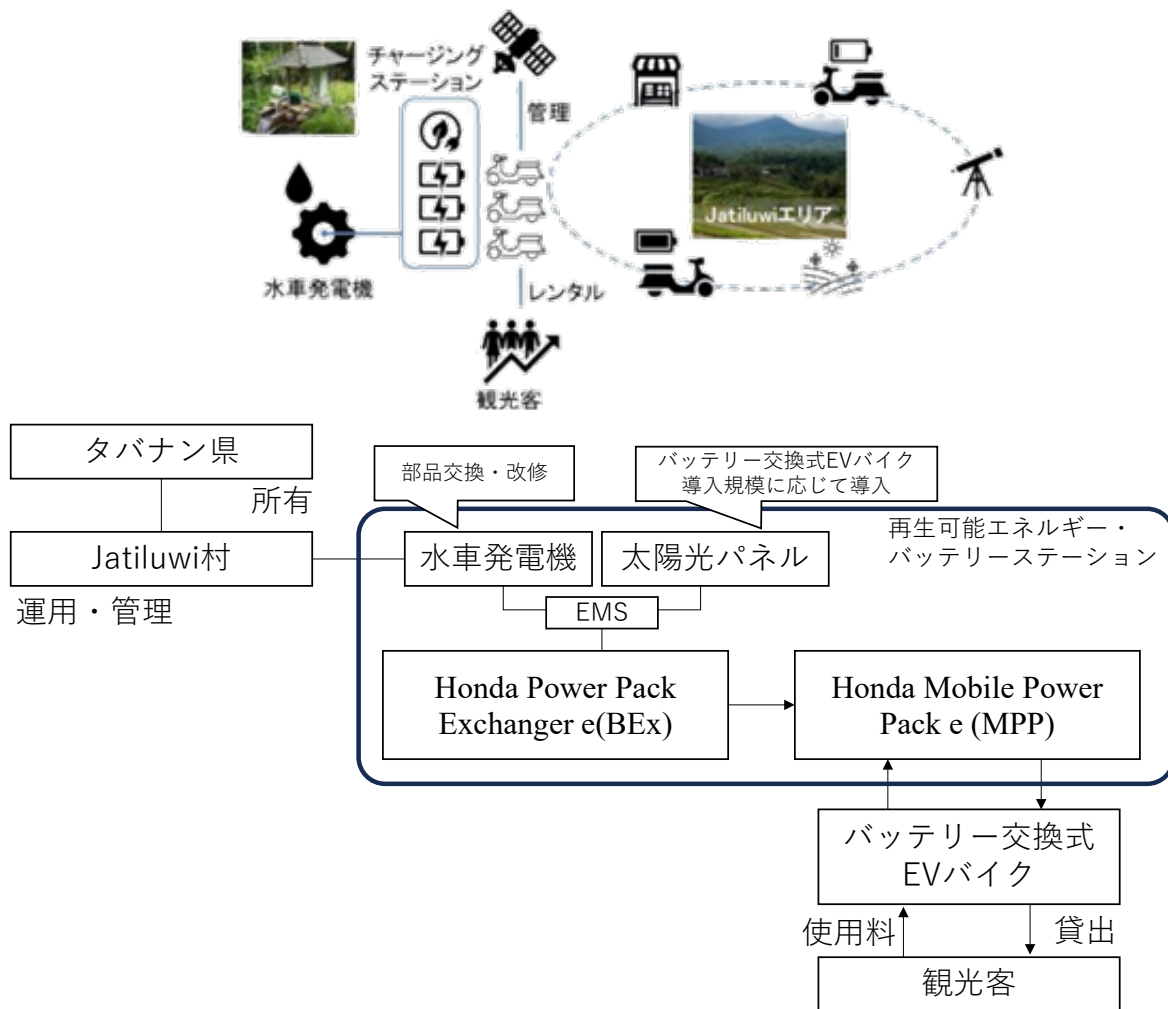


図 3-33 バッテリー交換式 EV バイク 事業モデル

初期投資としては、水車発電機改修費、PV 導入・設置費、これらの電力制御を行う EMS 導入費、Honda Power Pack Exchanger e:(BEx)、Honda Mobile Power Pack e:(MPP)導入費、EV バイク導入費となる。

売上規模については、所与条件として仮に 15 台の二輪車を 1 日あたり 3 回レンタル (計 45 台回/日) するモデルを想定する。1 回あたりのレンタル費用を 1,500 円 (約 150,000 ルピア) と設定した場合、365 日の稼働として年間収益は 24,637,500 円と単純計算できる。蓄電池/EV バイクの耐用年数を 6 年とした場合、147,825,000 円の売り上げ規模となる。

上記概算を初期想定として、今後の調査においては、蓄電時間等を考慮した条件の下での稼働可能回数を検証するとともに、正確な需要予測による感度解析を行い、初期投資費の積算、運用費等を加味しつつ経済性検討を進める。

特に、採算性の焦点は稼働率であり、観光客の志向や需要について正確な予測が必要となる。Jatiluwi 村観光担当者、観光ツアー会社等へのヒアリングの他、観光客へのアンケート等も視野に、需要予測を行う必要がある。

脱炭素効果の面では、Honda の電動バイクの導入を想定し検討を行った。同社の電動バイクのうち、ビジネスバイクシリーズとして国内でラインナップされている EM1 e を参照する。同電動バイクは、カタログ燃費として、バッテリー 1 台 (定格容量/定格電力量

:26.11Ah/1,314Wh) あたり 53km の走行が可能となっている。

ガソリンエンジンの二輪車では 50cc 相当と考えられるが、カタログ値では Honda スーパーカブの 105km/L を代表に超低燃費を誇っている。ただしこれは日本の石油品質にも関係しており、インドネシアにおける実態からは現実と乖離した数値であると推定される。今後、現地のバイク燃費データを収集することとして、ここでは計算の簡易化のため、電動バイクと同程度の 53km/L をガソリンバイクの燃費と仮定して試算する。

所与条件として、15 台の二輪車を 1 日あたり 3 回レンタル (計 45 台回/日) するモデルを想定する。カタログ燃費から、1 回あたりの走行で 53km (ガソリン 1L 相当) 程度の消費となると仮定した場合、リファレンス排出量は以下の通りとなる。

燃料消費量 15 台 × 3 回/日 × 1 L = 45L/日
CO2 排出量 (日) 45L/日 × 2.322 kg-CO2/L = 104.49 kg-CO2/日
CO2 排出量 (年) 104.49 kg-CO2/日 × 365 日 = 38,138 kg-CO2 ≒ 38 t-CO2/年

耐用年数は、二輪車の場合 3 年、蓄電池の場合 6 年となっており、本事業の検討に際してどちらの耐用年数を対象とするか考慮が必要である。仮に 6 年を想定すると、耐用年数期間の排出削減量は下記の通りとなる。

CO2 排出量 (耐用年数期間) 38 t-CO2 × 6 年 = 228 t-CO2

JCM 設備補助事業の規模としては非常に小さいものとなるが、バッテリーの二次利用を行い、さらに 6 年間電力供給を加算するモデルを検討する。

15 台のバッテリーによる電力量は、1.314kWh×15=19.71 kWh である。電源である水力発電機が半数の 7 台ずつ交代に常時これを充電できるとした場合、9.855 kWh の電力供給を行うシステムに相当すると考えることができる。この場合、年間発電量および 6 年間の総発電量、CO2 排出削減量は以下の通りとなる。

9.855 kWh × 8,760 時間 = 86,329.8 kWh
86,329.8 kWh × 6 年間 = 517,978.8 kWh
517,978.8 kWh × (0.613 tCO2/MWh/1000) = 317.5 t-CO2

上記、二輪利用とバッテリー二次利用を合わせると、545.5t-CO2 の排出削減効果を得ることができる試算結果となったが、なおも JCM 設備補助事業としては小規模であるため、同補助の利活用は困難を伴うと想定された。

今年度、同設備を富山市内企業から譲渡され、管理を担うタバナン県と富山市での政策対話と方針協議を複数回実施し、今後の対応策について検討を行った。



図 3-34 タバナン県と富山市の協議および現地調査の様子

その結果、タバナン県としては十分な予算が無く、ファイナンス面での対応は難しいものの、改修した水力発電設備で得た電力を EV バイクレンタル等を行う観光事業者に供給する許可や、営業許可の観点で支援することは可能であるとの見解を得るとともに、土地等の県及び村が管理する資産の無償提供についても検討できるとのコメントを得ている。

改修コストについては、本事業が JICA 事業に基づくものであったことから、日本の規格基準に基づいているため、現地の規格基準に合致した設備変更も含め地元エンジニアリング会社に設計及び見積依頼を行った。

表 3-5 取得した見積書

NO	Category	Description	Estimated Cost (IDR)	Manpower Required	Manpower Cost (IDR)
1	System Repairs				
	Turbine Overhaul & Maintenance	Cleaning, lubrication, part replacements	50,000,000	2 technicians (2 weeks)	6,400,000
	Generator Repair & Optimization	Electrical rewiring, voltage regulation check	30,000,000	2 electricians (1 weeks)	3,200,000
	Penstock & Pipeline Repair	Fixing leaks, replacing damaged sections	30,000,000	2 technicians (2 weeks)	6,400,000
	Subtotal (System Repairs)		110,000,000		16,000,000
2	Inverter & Battery Replacement				
	New Inverter installation	High-efficiency inverter	70,000,000	1 engineer + 1 electrician (2 weeks)	14,200,000
	Battery Replacement	Lead Acid Battery (5kWh)	80,000,000	2 engineers + 1 technicians (2 weeks)	28,400,000
	Electrical System Optimization	Circuit protection, wiring upgrades	30,000,000	2 electricians (1 weeks)	3,200,000
	Subtotal (Inverter & Battery)		180,000,000		45,800,000
3	Dam & Water Flow Restoration				
	Dam Structural Repair	Reinforcement, sealing cracks	40,000,000	3 construction workers (3 weeks)	15,000,000
	Sediment Removal & Cleaning	Clearing debris to improve water flow	10,000,000	3 laborers (2 weeks)	10,000,000
	Water Channel Optimization	Improving intake and outlet system	25,000,000	3 engineers + 2 laborers (2 weeks)	15,000,000
	Subtotal (Dam & Flow)		75,000,000		40,000,000
	4	Monitoring & Sustainability			
Smart Monitoring System		Sensors, remote tracking for performance	30,000,000	2 IT specialists (2 weeks)	11,000,000
Staff Training & Maintenance Plan		Operator training & preventive maintenance tools	10,000,000	1 trainer + 5 operators (3 weeks)	15,000,000
Reserve Fund		Emergency repairs & future sustainability	50,000,000	N/A	N/A
Subtotal (Monitoring & Sustainability)			90,000,000		26,000,000
	Total Budget		455,000,000		127,800,000

出典) PT.Cahaya Mentari Berkah 社

その結果、設備コストとして 455,000,000 ルピア (約 455 万円)、エンジニアリングコストとして、127,800,000 ルピア (約 127 万円)、合計 582 万円程度のコストとなることが分かった。

この初期投資額及び運用コスト (メンテナンス・管理・マーケティングの人的費を含み約 400 万円程度を見込む) をカバーする収益モデルの構築が必要となる。当該事業主体の選定と投資意思決定を促すための情報収集とアプローチが今後の課題となる。

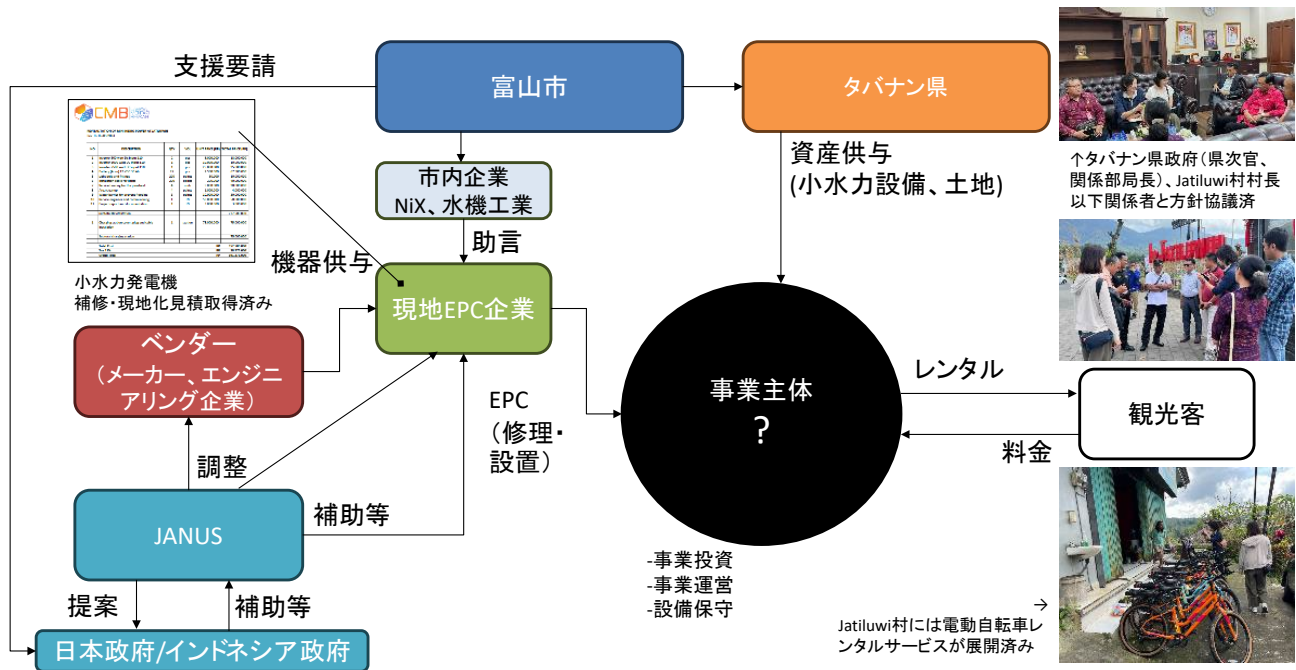


図 3-35 事業構成と事業主体選定に係る課題のイメージ図

こうした活動の一方、バリ州ウダヤナ大学において、富山市内企業である北陸電気工事株式会社では、「フレキシブル太陽光パネルを用いたバッテリー交換型オフグリッドEVステーションの可能性調査」の実証試験を開始し、横展開に向けた事業展開を見据えている。



バッテリー交換型オフグリッドEVステーション



ひさしに設置したフレキシブル太陽光パネル



4月5日 施設竣工式

図 3-36 北陸電気工事株式会社による EV 実証事業

出典) 北陸電気工事株式会社

本事業では、同社の協力を得て、小水力発電設備の改修に係る情報収集と、EV バイクおよびバッテリーチャージングステーションの候補設備の調査を行った。

EV バイクベンダーとしては、バリ州にも EV バイクの展開を果たしている HONDA が候補であったことから、ディーラーへの訪問を行い、販売状況等のヒアリングを実施するとともに、小水力発電設備からの電力供給に際しての制約、基準等を確認した。



図 3-37 北陸電気工事株式会社による現地調査の様子

(2) クルンクン県灌漑用水ポンプ

クルンクン県は、離島部の Nusa Penida 島を抱えるバリ州南東部に位置する自治体である。本島部は観光地から離れ、農村地帯が広がり、水田稲作が盛んな地域である。

富山市は、クルンクン県からの要請を受け、国立ウダヤナ大学および市内企業と連携し、太陽光発電を利用した揚水ポンプで農業用水を汲み上げるプロジェクトを実施し、令和2年1月に設備の運転を開始した。なお、本事業は現地日本国大使館の支援を受けて実施に至っている。

一方、本事業においても、運用体制の課題を抱えており、現在稼働が停止している状況となっている。

本システムは、灌漑用水が不足する農地への用水供給を企図し、低地の河川水をポンプにより用水路まで汲み上げる構造を有し、電力には再生可能エネルギー（太陽光）を活用し、補助電源としてディーゼル発電機が組み込まれている。

設備導入後、電源系統の配線が農機具の接触により断線し、その修理ができていないことから、稼働停止が継続している。本事業では、この対策に向けて協議と現地確認を実施した。

クルンクン県政府との協議では、本灌漑施設の有用性に言及があった一方、稼働停止に伴う受益者からの対応要請までには至っておらず、本設備の必要性について再検討する余地があることを認識した。

一方、電源供給に用いた太陽光パネルは、インバーター等に不具合があるとみられるものの、パネルの故障は見られず、再エネ電源としての利用価値が残存している。このため、灌漑用水ポンプ以外の用途を検討する余地があることを確認した。

援助事業においては、得てして想定した受益がもたらされないことは生じ得るが、設備の導入援助と移転だけではなく、その後の維持や想定外の事象への対応についても可能な限り協力を図ることがドナー側のあるべき姿である。富山市では、その姿勢の下で、引き続きクルンクン県との協議により、同設備の有効利用に向けた検討を進めていく方針であり、その認識をクルンクン県とも共有した。



図 3-38 クルンクン県位置図



図 3-39 灌漑用水ポンプ



図 3-40 残存する太陽光発電設備



図 3-42 故障状況の調査の様子



図 3-41 クルンクン県との協議

4. 脱炭素社会実現のための都市間連携（現地関係者との協議）

4.1. バドゥン県環境局長富山市訪問受け入れ

今年度の都市間連携事業では、4回の現地調査とバドゥン県環境局長の訪日受け入れが実現した。バドゥン県環境局長の訪日は、都市間連携セミナーにより実現し、同機会を活用し富山市廃棄物・廃水処理関係先視察ならびに市長表敬が含まれた。行程および視察の様子を以下に示す。

表 4-1 バドゥン県環境局長視察行程

日付	時間	活動	訪問先
2/2 (月)	10.15-11.15	移動	東京-富山
	13.30-15.00	視察	株式会社リョーシン
	15.00-17.00	視察	株式会社石橋
	18.00-20.00	会食	市長、石橋様、JC、富山市
2/3 (火)	10.00-12.00	視察	富山市ガラス美術館
	13.45-14.45	視察	富山広域クリーンセンター
	15.00-16.00	視察	集落排水浄化施設
	16.45-17.15	表敬	富山市長表敬
	18.00-20.00	会食	富山市
2/4 (水)	10.00-11.00	移動	ホテル-富山空港
	11.55-13.00	移動	富山-東京
	14.20-15.55	移動	東京-松山
	16.00-17.00	移動	松山空港-ホテル
2/5 (木)	-	都市間連携セミナー	
2/6 (金)	-	都市間連携セミナー	
	16.45-18.15	移動	松山-羽田
	19.00-21.00	移動	羽田-成田
2/7 (土)	11.00-17.25	移動	成田-デンパサール

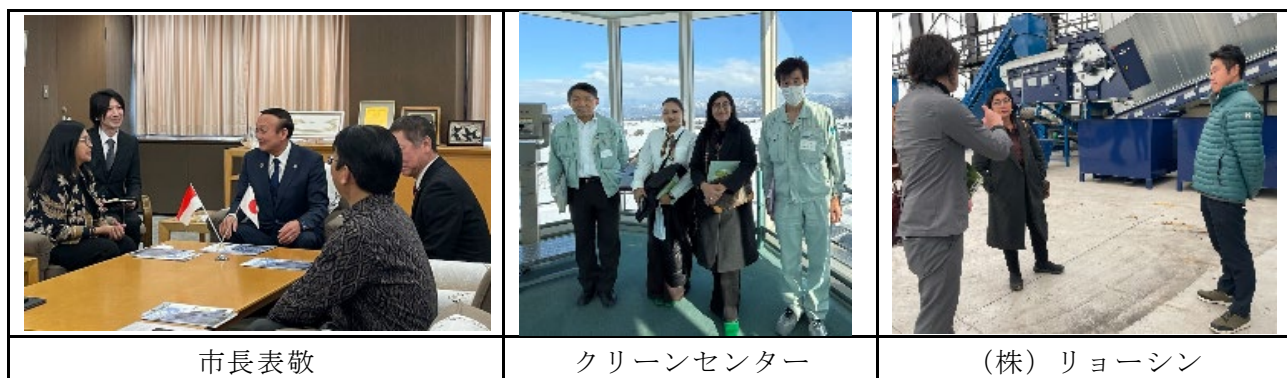




図 4-1 現地関係者の訪日機会と都市間連携事業の協議

富山市訪問を通じて、バドゥン県環境局長は富山市の環境分野への取組や、その経験等の有用性を十分に把握するに至ったとコメントしている。中でも、クリーンセンター（廃棄物発電施設）の視察は大いに参考になったようである。

富山市クリーンセンターは、富山市を含む周辺 4 自治体の広域組合で、立地は立山町である。周辺自治体との連携による立地・運用について、バンドゥン県は隣接するデンパサール市、タバナン県、ギャニャール県と最終処分場を共用している事情から、親和性が高い仕組みであるとのことであった。

また、廃棄物処理施設の規模が、おおよそ 400t/日であり、バドゥン県の 534t には及ばないものの、規模感のイメージが近似していた点も好印象であった。

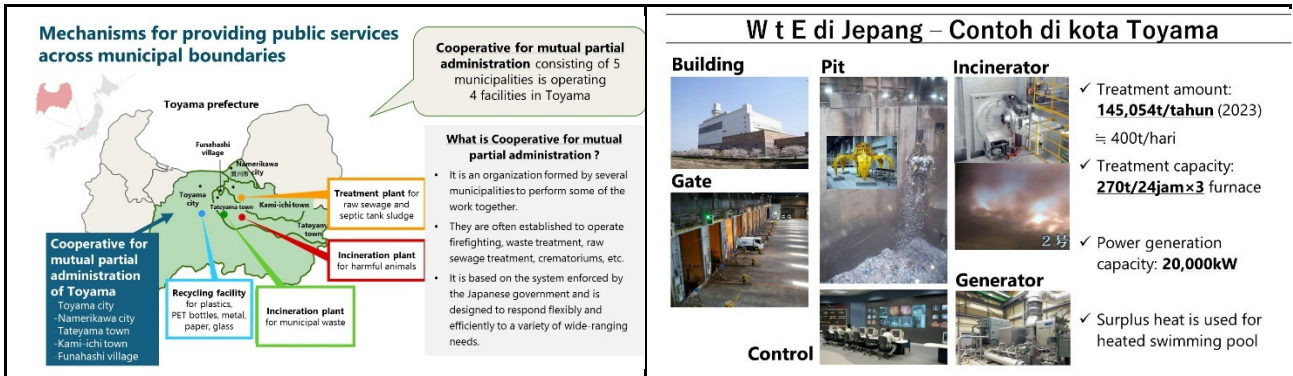


図 4-2 クリーンセンターにおける説明に供した資料

一方、クリーンセンターの初期投資と運営コスト、発電による収益のバランスから、廃棄物発電での民間ベースの投資回収の難しさ及び廃棄物処理費の重要性についても理解を得ることができた。

加えて、こうした焼却処理設備を有していても、焼却炉の容量や受け入れ可能物の制約から、家庭での分別は必要であり、徹底した分別の普及・啓発の取組についても共有することができた。

インドネシアでは、現在、廃棄物対策として WtE（廃棄物発電）が解決策として注目されているが、廃棄物課題のすべてを解決する策ではないことや、売電収益での回収を目指す位置づけであることから、尚更分別の教育が不可欠であることの認識を共有することが

できた。こうした視察と相互学習を経て、バドゥン県議員団の富山訪問の計画や、政策移転を念頭にした MoU 締結について検討する等、さらなる協力関係の深化を進めることで合意に至っている。

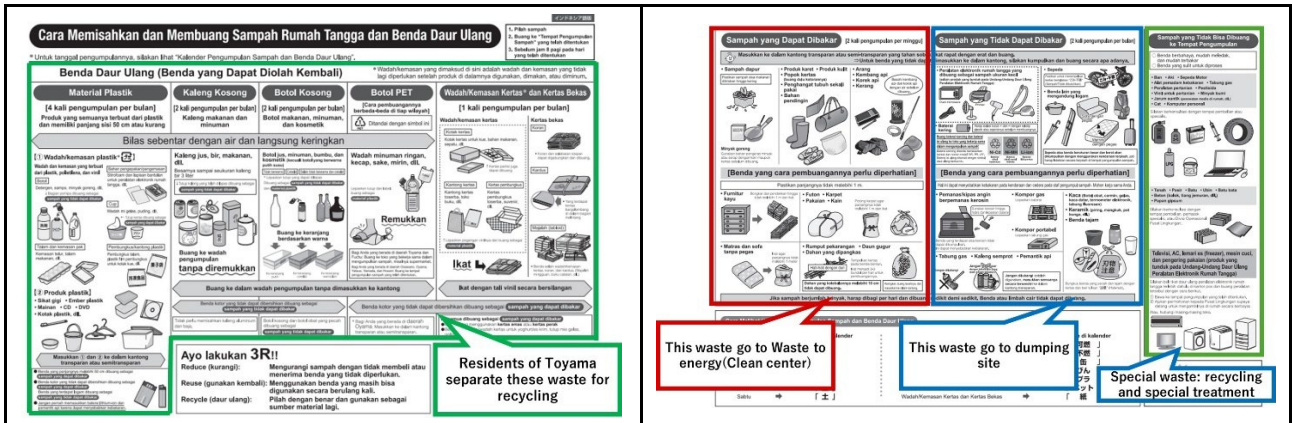


図 4-3 富山市の分別案内（インドネシア語：在住インドネシア人向け）

4.2. 廃棄物分別普及活動

バドゥン県は、観光を基幹産業に発展を遂げてきた中で、その陰の側面として、渋滞の増加、水質の悪化、増大する廃棄物といった課題を抱え続けてきた。富山市は、こうした課題の中で、特に廃棄物の分別に係る市民への普及啓発に関連し、次世代向けの分別教育の実施に向け、バドゥン県の小学校2校を対象としたパイロットプロジェクトに関与している。本取組では、市内企業株式会社石橋の乳酸菌を用いた堆肥化技術を活用し、小学生から家庭の生ごみを持ち込ませ、堆肥化を行い、廃棄物の再生利用を学ぶ機会としている。



図 4-4 堆肥化による分別教育

（左上：小学生に配布した賛同企業のロゴ入りバケツ、右上：堆肥化施設、左下：実証中のペレレナン村第2小学校5年生の生徒、右下：小学生向け分別マニュアル）

この取り組みをさらに拡大するため、富山市は現在、JICA 草の根技術協力事業を活用した取組を提案中である。

5. 成果のまとめと今後

今年度の都市間連携事業の調査結果を踏まえて、以下に今後の計画を示す。

A. 脱炭素型廃棄物対策技術パッケージ

今年度、バドゥン県中間処分場における廃棄物の搬入量および焼却量等のデータを入手するとともに、コンポストプラントの稼働を最大化するためのオペレーション計画を検討した。加えて、バドゥン県政府との協議を通じ、必要な設備導入計画の検討を実施した。

その結果、2点の成果を得るに至った。

・バドゥン県中間処理場の設備増強

コンポストプラントの稼働最大化のためには、発酵に適した有機ごみ形状で投入を行う必要があり、前処理として破砕が不可欠であった。バドゥン県予算により破砕機および搬送装置を導入し、最大稼働可能となる前処理体制を構築した。

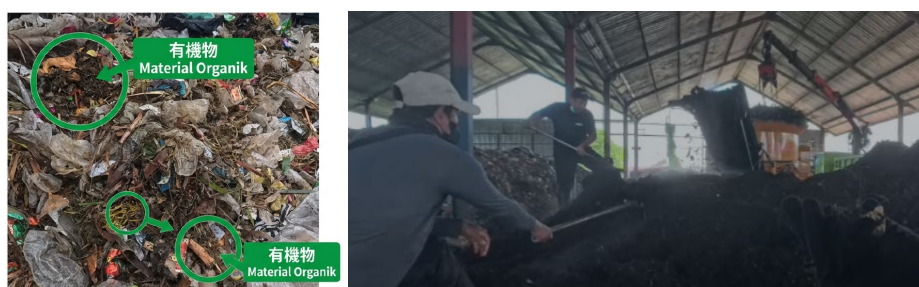


図 5-1 廃棄物性状と新たに導入した破砕機

・村落レベルの廃棄物一次置場の運用改善

バドゥン県の各村には、村落ごとに廃棄物一次置場があり、効果的な減容のため、これらの一次置場での分別・再利用が推奨されている。一方、収集直後の廃棄物は水分が多く、搬送装置や分別装置の回転部に故障をきたすため、水分の除去が必要となる。そこで、株式会社石橋が現地にて開発した発酵技術（乳酸菌）を用い、発酵熱による水分除去の実証を行うこととした。発酵促進に必要なブロー等の機器は、日本青年会議所（JC）の支援を得て導入することが決まっており、一時置場で再資源化した堆肥は対象村に立地するホテルの農園で利用する計画である。



図 5-2 村レベルの廃棄物一次置場（左）、現地開発した堆肥化促進剤（乳酸菌）（右）

これらの成果を踏まえ、次年度は、他の一時置場への普及展開を図るとともに、廃棄物中間処理場においても発酵熱による水分除去を行い、分別の効率化に向けた設備検討を行う。

B.脱炭素型廃水ソリューション

今年度、市内企業の株式会社中部設計と現地調査を行い、特に排水による汚染影響が顕著な河川を踏査し、排水排出源の特徴を捉えるとともに、対策案の検討を行った。河川汚染が生じている村政府は高い関心を示し、予算の確保についても前向きに検討可能である旨の反応を得ることができている他、広域の下水対策を短期的に実行することは困難であるため、分散型（浄化槽～集落排水処理レベル）排水処理施設の実証的設置が第1段階の取組方針として導出された。これらの結果をバドゥン県環境局長の富山訪問時に報告するとともに、富山市内の農村排水処理場の視察を実施し理解を深めた。

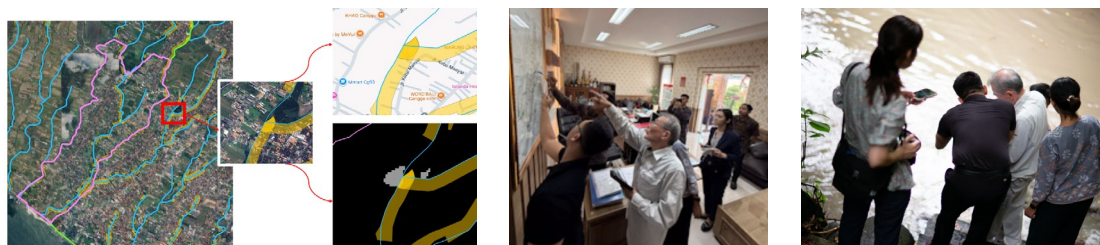


図 5-3 現地調査地点および調査の様子

C.再生可能エネルギー普及・周辺自治体フォローアップ

今年度、現地の電動バイク製造事業者や小水力発電機の修理を見据えた現地 EPC 事業者等との意見交換を通じ連携可能性について検討するとともに、現地調査による実態把握と課題の特定を実施した。その結果、2点の成果を得るに至った。



図 5-4 Jatiluwih 村（左）、タバナン県政府との協議（中央）、設備現況調査（右）

・事業化に向けた体制構築に関する見通しの獲得

本テーマの事業化にあたっては、持続可能なビジネスモデルの検討と新たな体制構築が不可欠である。小水力発電機の修理・維持管理においては現地 EPC 事業者との連携が必須であるが、過年度調査にて、バリ島内で観光客向け EV バスの需要調査および導入実証に実績を有する事業者を特定し、EPC 業務に加えて事業化全体に係る支援について合意を得た。

また、複数の電動バイク製造事業者とも意見交換を実施し、連携可能性の高い候補企業を特定した。また、過年度からの継続的な協働により、立地自治体であるタバナン県およびジャティルウィ村の関係者からも引き続き協力を得られる体制が維持されている。

・小水力発電機の実態把握と追加調査項目の特定

ジャティルウィ村での現地調査では、水力発電機設置時に関わった技術者および現地 EPC 事業者との協働により、水車・発電機・電気系統の状況を詳細に確認した。現時点では故障原因の完全特定には至らなかったものの、設備構造の理解を深めることができ、今後必要となる追加調査項目を明確化する段階まで情報整理が完了している。

これらの成果を踏まえ、次年度は2か年目として、さらなる事業の具体化と実現に向けた体制構築を図る。実施体制案および今年度も含めた全体調査計画を以下に示す。

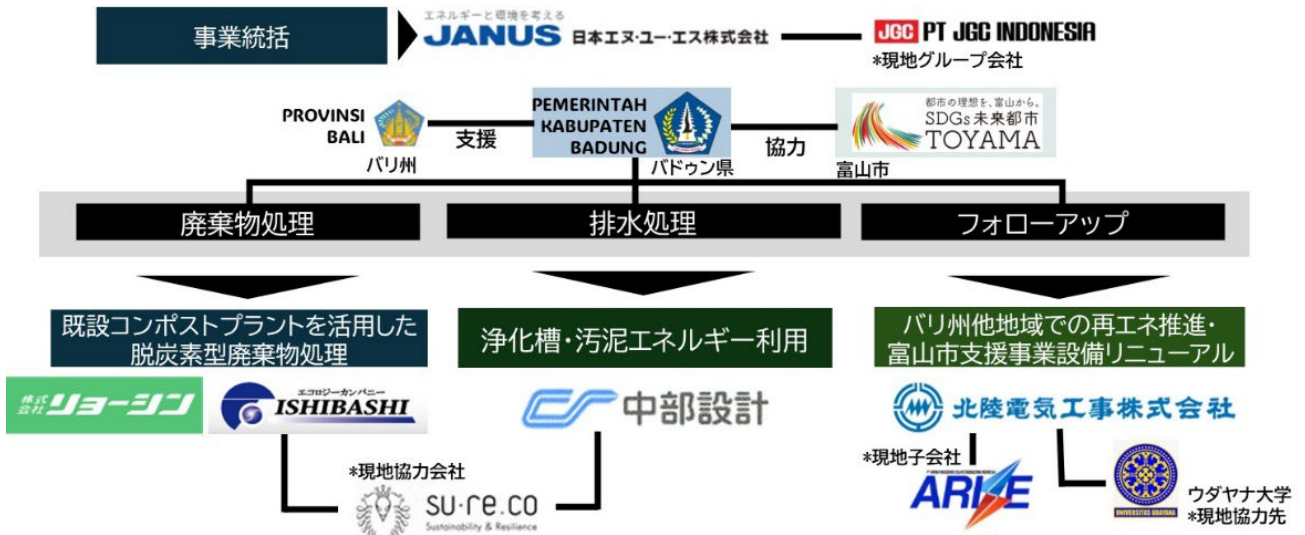


図 5-5 次年度実施体制案

表 5-1 調査全体行程

調査項目	FY2025				FY2026				FY2027			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1. 応募事業の事業化に向けた取り組み												
A. 脱炭素型廃棄物対策技術パッケージ												
1) 分別設備導入のための基礎データ収集	●	●										
2) 分別対象廃棄物量の算定		●	●									
3) 分別設備の概略案策定			●	●								
4) 導入効果の評価				●	●							
5) 概略設計及びコスト積算		●	●	●	●	●						
6) 導入のための予算検討及び資金調達			●	●	●	●	●					
7) 方法論開発					●	●	●	●	●	●		
B. 脱炭素型廃水処理ソリューション												
1) バドゥン県における排水状況調査			●	●								
2) モデル事業サイト選定と対策案検討				●	●							
3) 導入効果の評価					●	●						
4) 導入のための予算検討及び資金調達				●	●	●	●	●	●			
5) モデル事業等の提案と方法論開発									●	●		
C. 過年度都市間連携事業等フォローアップ												
1) タバナン県小水力事業における資金調達	●	●	●	●	●	●	●	●				
2) タバナン県小水力事業における体制構築		●	●	●	●	●	●	●	●			
2. 都市間連携活動												
A. 政策対話		▲	▲		▲		▲		▲		▲	
B. 都市間連携セミナー				▲			▲				▲	
3. 現地調査		▲	▲		▲		▲		▲		▲	
4. 報告会・報告書提出				▲			▲					▲

以上