

APPENDIX-B

汚泥処理・利用施設計画

ベトナム国
ハノイ市エンサ下水処理場整備事業準備調査

APPENDIX-B

汚泥処理・利用施設計画

目次

B1	下水汚泥処理・利用計画に関する基礎検討.....	B1-1
B1.1	下水汚泥処理の背景・必要性.....	B1-1
B1.2	下水汚泥処理・利用の基本的理念.....	B1-3
B1.2.1	下水汚泥処理施設計画の方法論.....	B1-3
B1.2.2	下水汚泥の価値、下水汚泥利用の要件.....	B1-3
B1.3	下水汚泥処理処分の現状と課題.....	B1-5
B1.3.1	ハノイ市における下水汚泥処理処分の現状.....	B1-5
B1.3.2	セプティックタンク汚泥処理の概要及び下水道への受入れ.....	B1-5
B1.4	下水汚泥利用試験.....	B1-9
B1.4.1	下水汚泥利用試験の目的.....	B1-9
B1.4.2	試験の構成.....	B1-10
B1.4.3	下水汚泥再利用製品製造工程検証.....	B1-11
B1.4.4	下水汚泥性状分析試験.....	B1-13
B1.4.5	下水汚泥を用いた生育試験.....	B1-22
B1.4.6	下水汚泥のニーズ調査.....	B1-30
B2	下水汚泥処理・再利用施設計画、概略設計.....	B2-1
B2.1	計画汚泥量.....	B2-1
B2.1.1	各下水処理場より発生する汚泥量.....	B2-1
B2.1.2	下水汚泥発生量の年次予測.....	B2-2
B2.2	汚泥処理・再利用プロセスの検討.....	B2-3
B2.2.1	汚泥利用方法の絞り込み.....	B2-3
B2.2.2	下水汚泥処理プロセスの選定.....	B2-5
B2.3	下水汚泥処理・再利用施設の用地選定.....	B2-13
B2.3.1	下水汚泥処理・再利用施設用地の候補地.....	B2-13
B2.3.2	用地選定の方法論.....	B2-15
B2.3.3	施設用地に対する法規制.....	B2-15
B2.3.4	下水汚泥処理・再利用施設用地の選定.....	B2-16
B2.4	民間担当事業の範囲の設定.....	B2-18
B2.5	汚泥処理施設の概略設計.....	B2-18
B2.5.1	天日乾燥床の概略設計.....	B2-18

B2.5.2	機械乾燥施設の概略設計	B2-21
B2.5.3	施設の配置計画	B2-23
B2.6	事業費の算定	B2-30
B2.6.1	初期費用	B2-30
B2.6.2	運営・維持管理費	B2-32
B2.7	事業実施スケジュール	B2-35
B2.8	環境評価	B2-36

B1 下水汚泥処理・利用計画に関する基礎検討

B1.1 下水汚泥利用の背景・必要性

ベトナム国の政治、文化の中心都市である首都ハノイ市は、近年めざましい経済発展を実現している一方で、下水・排水を含む都市インフラ整備は遅れている現状である。現況では、市内からの汚水は管渠、カルバート、水路によって集められ、キムニュー川、セツ川、トーリック川、ルー川等の主要河川や湖、主要水路へ未処理のまま放流されている。そのため、特に乾季における未処理汚水が河川、湖、水路の衛生環境に甚大な影響を及ぼしている。また、これら汚水の浸透による地下水水質の悪化も懸念されている。さらに、ハノイ市からの未処理汚水が、红河やヌエ川の水質悪化にも起因している。

このような衛生環境を改善するために、大容量の汚水にも耐え得る下水処理施設の建設が急務となっている。現時点では中小規模のチュックバック、キムリエン及び北タンロンの3下水処理場のみの稼働に留まっているが、今後2012年～2018年の間にエンソ、ホータイ、バイマウ、フドー及びエンサの中大規模の5下水処理場が一気に稼働予定であり、ハノイ市の衛生環境・水環境の大幅な改善が期待されている。

今後、下水処理場が急速に整備されることに伴い、そこから発生する下水汚泥の量も急速に増加することが予測される。図-B1.1.1及び図-B1.1.2に今後の下水汚泥発生量予測を示す。現時点では中小の3下水処理場のみの稼働に留まり、また下水処理場への流入下水SS濃度も低いことから、下水処理場より発生する脱水汚泥量は日平均8t程度であるが、今後5下水処理場が稼働し、さらに流入下水SS濃度が下水処理場の設計値である250mg/L程度まで高くなると、下水処理場より発生する脱水汚泥量は日平均620t程度まで増大する。仮に流入下水SS濃度を現況に合わせた120mg/Lと想定しても、下水処理場より発生する脱水汚泥量は日平均280t程度まで増大することとなる。(汚泥量に関しては、B2.1に詳述する)

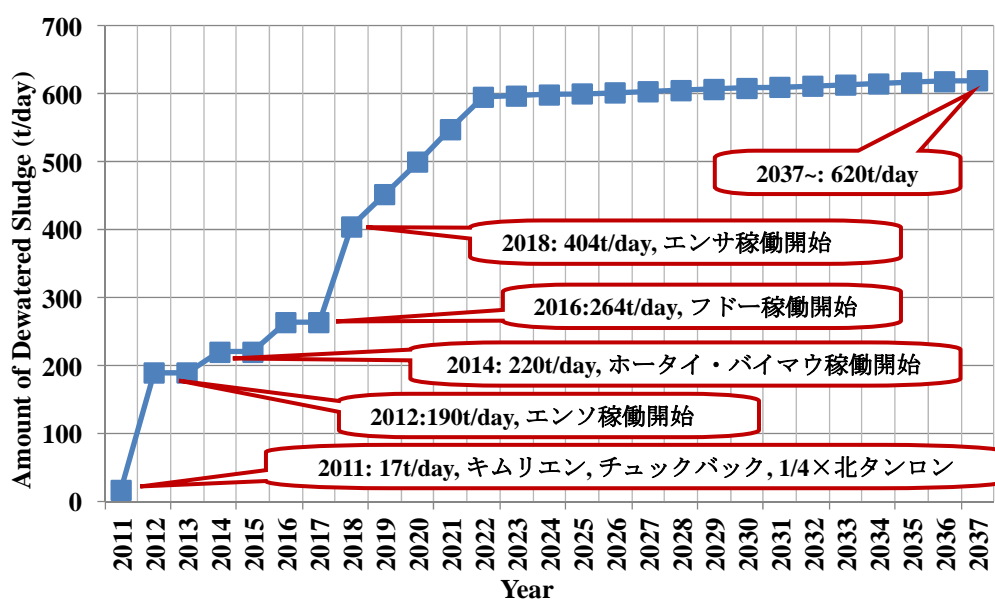


図-B1.1.1 下水汚泥発生量予測（流入下水SS濃度=250mg/Lの場合）

(出典：JICA 調査団)

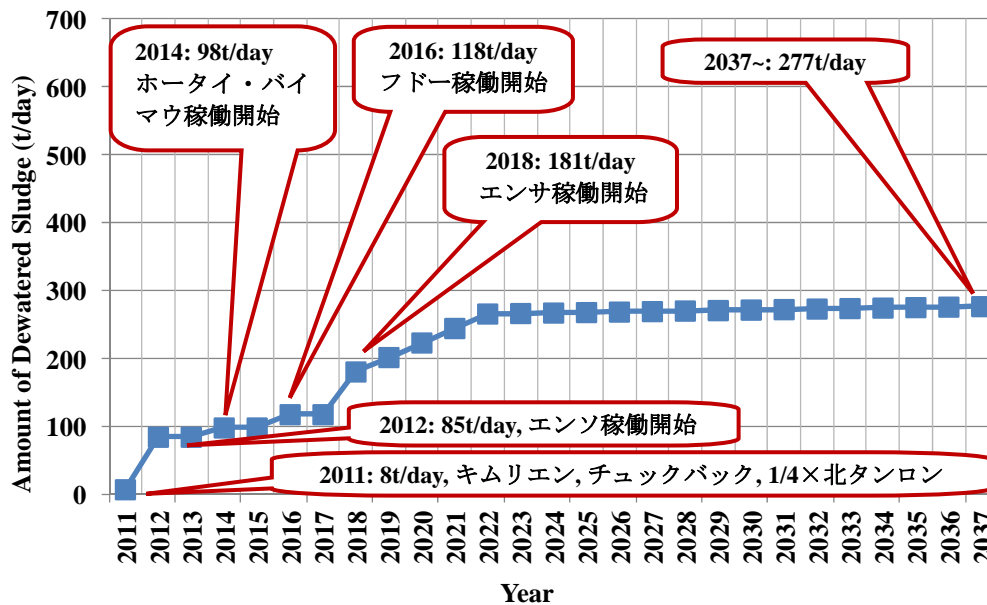


図-B1.1.2 下水汚泥発生量予測（流入下水 SS 濃度=120mg/L の場合）

（出典：JICA 調査団）

現在、ハノイ市内で発生する下水汚泥はゴミ最終処分場である Nam Son 処分場及び Tieu Ky 処分場に運搬され、埋立処分されている。Nam Son 処分場は第2期の増設事業中であるが、現時点と同様に下水汚泥の受け入れは計画されていない。また、HAPA は長期的な汚泥処分場整備を進めようとしているが、未だ結論に至っていない状態である。ハノイ市では一般廃棄物の処分場も非常にひっ迫している状況にあり、市内あるいは近郊に日量 280t の下水汚泥を受け入れる処分場を整備することは非常に困難といえる。

このような状況より、ハノイ市では下水汚泥を減量化し、汚泥利用・リサイクルを促進することが、今後必要不可欠といえる。これにより最終処分場の延命化や適切な汚泥管理、ひいては新たな下水処理場の円滑な整備につながると考えられる。

B1.2 下水汚泥処理・利用の基本的理念

B1.2.1 下水汚泥処理施設計画の方法論

汚泥処理施設計画は、埋立て処分地における下水汚泥の受け入れの可能性や下水汚泥利用方法によって、汚泥の最終形態と処理プロセスを選定する。

ハノイ都市環境公社 URENCO (Urban Resource and Environment Company) が管理する廃棄物処分場 (Nam Son Solid Waste Management Complex) は、現在、第2期の増設事業中で、市内で発生する廃棄物の処理・処分ニーズに対する余力を有していないことから、下水汚泥の受け入れには慎重である。このため、下水汚泥の有効利用による処分量の減量化やリサイクル利用による持続可能な汚泥処理処分計画の立案は、ハノイ市にとって今後必要不可欠になる。

本調査では、以下の事項に留意し、下水汚泥処理施設を計画した。

(1) 広域汚泥処理

本調査では、ハノイ市下水道の中長期計画と整合を図り、現在計画されている8処理場で発生する汚泥を広域的に処理する観点で、汚泥利用・処理計画を検討する。

(2) 下水汚泥有効利用

下水汚泥処理計画は、汚泥の利用・最終処分方法に適した処理プロセスを選定する。また、ハノイ市の下水汚泥の特性やハノイ市の気候風土を勘案した上で、最適な処理プロセスを選定する。

下水汚泥は日常的に発生し、下水道整備の進捗および水環境改善に伴って、水処理から分離される汚濁物として発生汚泥量が増加する。したがって、下水汚泥管理として下水汚泥を有効利用し、循環利用の体系に組み入れることが重要である。

(3) 下水汚泥処理計画策定の手順

ハノイ市下水道における下水汚泥の処理処分については、汚泥の利用可能性を調査し、利用先のニーズに合致した汚泥性状に処理することを目的として、①発生汚泥量の推計、②潜在的な利用方法の選定とニーズ調査・汚泥試験による需要量・汚泥性状について確認し、③下水汚泥処理計画を策定（汚泥利用形態の選定、汚泥処理プロセスの検討・選定、概算事業費算定、事業実施計画策定）、する。

B1.2.2 下水汚泥の価値、下水汚泥利用の要件

(1) 下水汚泥の資源的価値

下水汚泥は、一般的に有機物および無機物で構成され、また低品費石炭の約60%のカロリーを有することから、肥料・土壌改良材としての利用や、燃料としての価値が期待されている。その他、無機物はセメント原料と類似した成分であるので、下水汚泥のセメント利用は、有力な用途である。

(2) 下水汚泥の環境価値

下水汚泥は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC；Intergovernmental Panel on Climate Change）により、バイオマスエネルギーとして、太陽光、地熱、水力、風力、その他の再生可能エネルギーと同様に、再生可能エネルギーに位置付けられている。

また、下水道における温室効果ガス対策における主要なガスは、CO₂、CH₄およびN₂Oであるが、下水汚泥が埋立て処分されると嫌気性分解が進行し、CO₂の21倍の地球温暖化ポテンシャルを有するCH₄を大気中へ放出する。下水汚泥を石炭の代替燃料として利用することで、化石燃料の削減およびCH₄放出を抑制し、地球温暖化対策に貢献することが可能である（表-B1.1.1 参照）。

表-B1.1.1 下水道より発生する地球温暖化ガス

温室効果ガス	温暖化ポテンシャル	温室効果ガス軽減策
CO ₂	1	汚泥の燃料利用
CH ₄	21	代替化石燃料の利用
N ₂ O	310	埋立地からのCO ₂ 及びCH ₄ 放出量軽減

（出典：JICA 調査団）

(3) 下水道におけるCO₂サイクル

下水道におけるCO₂サイクルを、図-B1.2.1に示す。

汚水中の汚濁物は、太陽エネルギーの光合成作用で作られられた食物に由来し、下水道を介して、CO₂として環境へ排出される。下水汚泥のエネルギー価値を利用することによって、自然環境における持続的なCO₂サイクルを構築することが可能である。

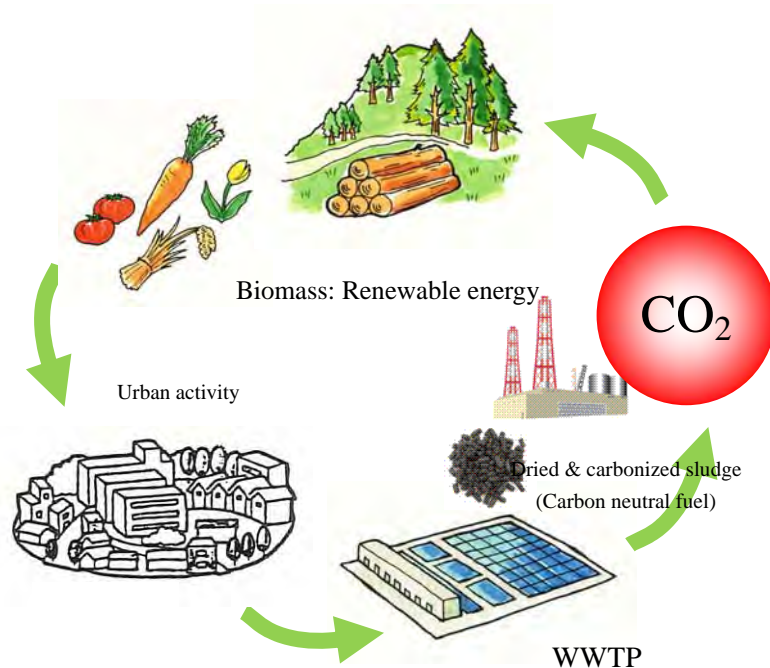


図-B1.2.1 下水道システムにおけるCO₂サイクル（出典：JICA 調査団）

B1.3 下水汚泥処理処分の現状と課題

B1.3.1 ハノイ市における下水汚泥処理処分の現状

現在、ハノイ市において稼働している下水処理場はキムリエン、チュックバック、北タンロンの3場である。また、北タンロン処理場は流域の市街化が遅れており、処理場への汚水流入量が非常に少ないため、現時点でのハノイ市全体における下水汚泥（脱水汚泥）発生量は最大で8 t/day程度である。このため、各下水処理場において発生する脱水汚泥は、Nam Son 処分場及び Tieu Ky 処分場で処分されている。

しかしながら、将来的な脱水汚泥の発生量は280t/day程度に増大し、より大規模な処分場が必要となるが、現時点では処分場新設のメドは立っておらず、代替案を含めた対策が必要とされている。

B1.3.2 セプティックタンク汚泥処理の概要及び下水道への受入れ

(1) セプティックタンク汚泥処理の現状

セプティックタンク汚泥の処理・処分は、URENCO および民間収集業者によって、次のように分担して行われている。

表-B1.3.1 セプティックタンク汚泥の処理・処分

汚泥処理事業者	汚泥量
URENCO 収集汚泥量	50 t/day
民間事業者	450 t/day
計	500 t/day (推計)

(出典：JICA 調査団)

民間事業者は450t/dayの分量を緑農地へ利用するか（既存のレポートより）、あるいは河川・湖沼へ投棄しており、セプティックタンク汚泥処理は無視されている状況である。汚泥・セプティックタンクの適切な管理や水環境改善に関して、改善したいという意向である（URENCO ヒアリング結果）。

Cau Dien コンポスト化施設は、市内の公衆トイレのし尿（16～20 ton/day）を収集し、EM 菌（Effective Microorganism）を使って嫌気性処理ーラグーン処理を行っている。処理水と余剰汚泥は、固形廃棄物と混ぜて、土壌改良材として主に公園等の公共セクターで有効利用している（図-B1.3.2）。

セプティックタンク汚泥の不適切な投棄による水環境への影響防止や汚泥引き抜きサービスの普及・汚泥量の増加に対して、市内の各所に分散型のラグーン処理場を整備し、長期的には下水処理場での処理を提案している（Septage Management Study, Nam Dinh Urban Development Project 2001）。



(出典：JICA 調査団)

図-B1.3.2 Cau Dien コンポスト化施設

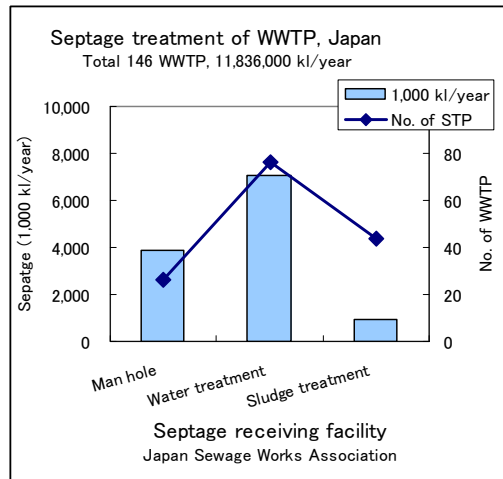
(2) セプティックタンク汚泥の下水道受入れ方法

日本の河川へ放流するし尿処理施設では、窒素除去と高度処理（凝集分離・砂ろ過・活性炭吸着、または限界ろ過膜）を組み合わせた処理方式が採用されている。日本の大都市では公共下水道が普及しており、図-B1.3.3に示すように、下水処理場へ受け入れて下水と合併処理する方法が一般的である。下水道へ受け入れた汚泥は、下水処理水で希釈・活性汚泥プロセスで処理し、分離された汚泥を脱水処理する。

また、夾雑物を除去しない場合、ポンプ・攪拌機や配管類の閉塞の原因となるため、

汚泥投入・スクリーン施設を設けて下水道へ受け入れることが、技術的にも経済的にも合理的である。汚泥投入施設は、既存の下水処理場や、周辺住宅環境に支障を与えない場所が適切である。

セプティックタンク汚泥の性状は表-B1.3.2 に示す通りである。



(出典：日本下水道協会)

図-B1.3.3 下水道による浄化槽汚泥処理

表-B1.3.2 セプティックタンク汚泥・浄化槽汚泥の水質 (単位：mg/l)

水質項目	セプティックタンク生汚泥 *1	し尿消化脱離液 範囲 (平均値) *2	浄化槽汚泥濃度 (平均値) *2
SS	15,000	120~3,700 (1,460)	12,000
COD (Mn)	15,000	1,750~3,570 (2,240)	4,000
BOD	3,000	711~6,340 (1,900)	6,000
T-N	(NH ₄) 350	2,900~3,910 (3,210)	1,000
T-P	—	161~275 (235)	500

出典*1：Nam Dinh Urban Development Project, Septage Management Study

出典*2：日本下水道事業団

セプティックタンク汚泥は、次の方法で下水道へ受入れる。

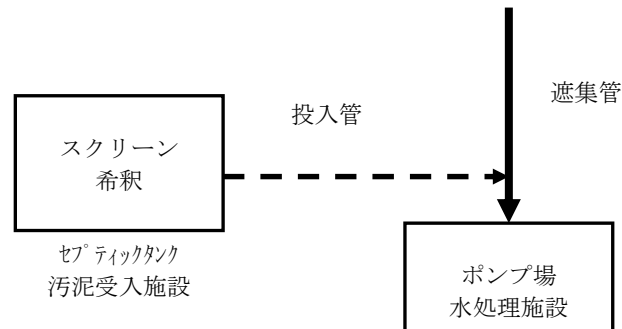
(下水道の受け入れ施設)

- 管路施設 (マンホールへの投入)
- 水処理施設 (沈砂池への投入)
- 汚泥処理施設 (消化槽への投入)

(下水道への受入れ方法)

- きょう雑物はセプティックタンク汚泥投入施設のスクリーンで除去する。

- BOD、SS、N、P とともに、下水水質と同等となるよう希釈し、遮集管または処理施設へ投入する。希釈水は、下水処理水を利用する。



(出典：JICA 調査団)

図-B1.3.4 受け入れ模式図

下水道でセプティックタンク汚泥を受け入れて処理する方法として、URENCO の中期計画で処理されない汚泥について、下水道で受け入れることにより、住民サービスの向上・水環境の改善効果と既存の収集業者との連携を両立させることが可能である。

DOC における環境・下水道政策の調整や民間事業者による下水汚泥リサイクルセンターへの汚泥搬入方法などの制度構築に時間を要するため、将来的にセプティックタンク汚泥受入れ施設を整備することが現実的といえる。

(3) セプティックタンク汚泥の受け入れ効果

下水処理場でセプティックタンク汚泥を受け入れることにより、次の効果が期待できる。

- セプティックタンク汚泥を適切に処理することで、水環境への負荷を減らす。
- セプティックタンク汚泥処理施設と下水処理施設の共通設備（水処理施設、汚泥処理施設）について、二重投資をなくす。
- Nam Son 処分場は、ハノイ市中心部から 40km と離れており、市街地に位置する下水道施設で受け入れることにより、汚泥運搬車（タンク車）の輸送距離が短くなり輸送効率が向上する。
- 下水処理場の流入水質（BOD、SS）が高くなり、既設の水処理機能を活用することができる。

B1.4 下水汚泥利用試験

B1.4.1 下水汚泥利用試験の目的

下水汚泥には、①肥料としての価値、②土壌改良材としての価値、③燃料・エネルギー源としての価値、などの資源的価値がある。反面、下水処理場で生成する脱水ケーキには、①悪臭、②水分が多くあつかいにくい、③変質しやすい、④衛生上注意を要する、といった利用上の難点がある（表-B1.4.1）。下水汚泥を再利用するための要点は、上記の難点をコストのかからない方法で克服し、資源的価値を引き出すということである。

表-B1.4.1 下水汚泥の資源的価値と利用上の難点

資源的価値	利用形態	利用上の難点
① 肥料としての価値	<ul style="list-style-type: none"> ・ 乾燥汚泥 ・ コンポスト ・ (乾燥汚泥) ・ コンポスト ・ 炭化汚泥 ・ 人工土壌 ・ 乾燥汚泥 ・ 炭化汚泥 ・ バイオガス 	<ul style="list-style-type: none"> ① 悪臭 ② 水分過多であつかいにくい ③ 変質しやすい ④ 衛生上注意を要する
② 土壌改良材としての価値		
③ 燃料としての価値		

(出典：JICA 調査団)

本実験の目的は、①ハノイ市で発生する下水汚泥の物性や特徴を調べること、②これを用いて、乾燥汚泥、コンポスト、炭化汚泥を試作し、その性質と効果を検証することである。特に製造工程や効果の検証にあたっては、その手順や効果を具体的に関係者に示すことを必須条件とする。

ベトナム農業では近年肥料の投入量、肥料のニーズが高まりつつあり、また潜在的には改良を要する土壌が少なくない。よって汚泥の肥料化に加えて、土壌改良材としてのニーズに対応すべく下水汚泥の利用法を整備しておく意義は大きい。土壌改良材とは、土壌が植物の生育基盤として備えているべき機能や条件を、補うための資材である（表-B1.4.2）。

表 B1.4.2 土壌が備えるべき機能・条件と土壌改良材の役割

土壌が備えるべき機能・条件		よくある土壌の問題点	土壌改良材の役割
物理性	水の保持・供給	粘質土で水捌けが悪く、孔隙が少ない	透水性、通気性の改善
	水捌け、空気の供給		
化学性	良好な化学性	酸性またはアルカリ性に偏る塩類濃度が高い	pH等の改善
	栄養の供給	貧栄養 栄養素が不溶化する条件がある	栄養の補填 不溶化の防止
	有害物質等	有害物質の濃度が高い	有害物質の不溶化等

(出典：JICA 調査団)

B1.4.2 試験の構成

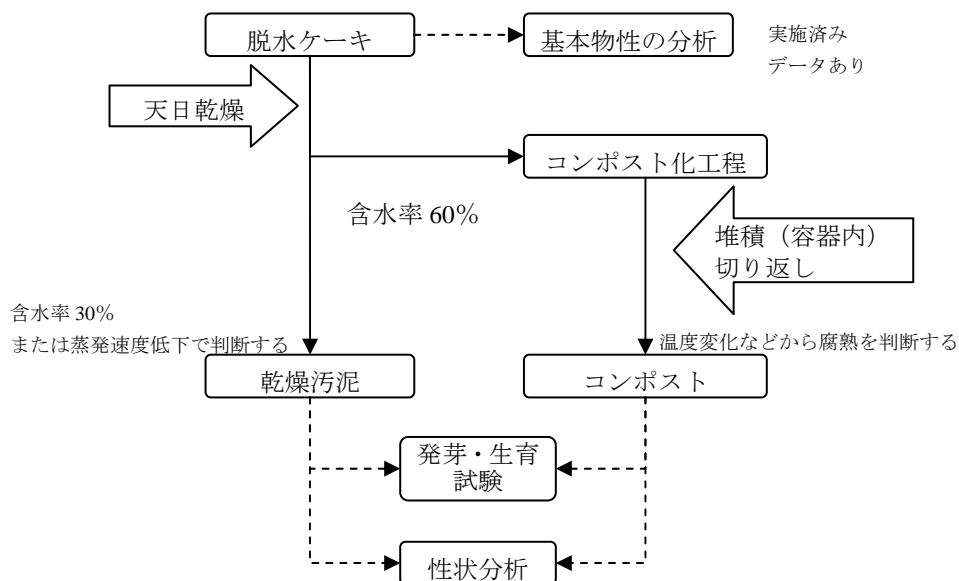
試験は、①再利用製品製造工程の検証と、②再利用製品の効果の検証、の2つから構成される（表-B1.4.3）。

表-B1.4.3 実験の構成

再利用方法 (再利用製品)	再利用製品製造工程の検証		再利用製品の効果の検証	
	処理方法	検証	効果検証用の 試作品試作方法	効果の検証
乾燥汚泥	天日乾燥	乾燥過程の観察、測定	鍋に入れて加熱	性状分析 発芽試験 栽培実験 燃料試験
コンポスト	天日乾燥で水分調整後、堆積	コンポスト化過程での観察・測定	—	性状分析 発芽試験 栽培実験 燃料試験
炭化汚泥	強制送気なし 繰り返しあり 脱水ケーキを蓋付きの鍋に入れて加熱	製造過程の記録	左に同じ	性状分析 発芽試験 栽培実験 燃料試験

(出典：JICA 調査団)

上記①再利用製品製造工程の検証のスキームを図-B1.4.1に示す。ハノイ市の下水処理場から採集された脱水ケーキから、低コストの方法で乾燥汚泥、コンポストを試作し、その工程の妥当性と製品の品質を検討する。



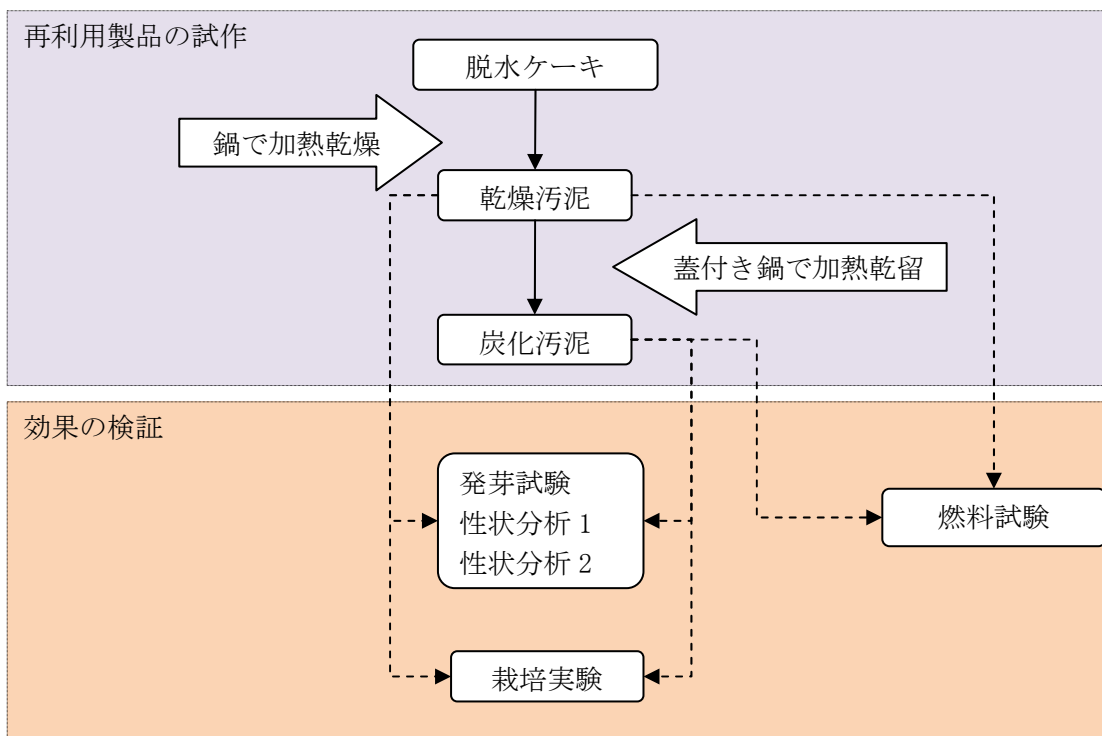
(出典：JICA 調査団)

図-B1.4.1 再利用製品製造工程の検証のスキーム

以下の図-B1.4.2に、再利用製品の試作と効果の検証のスキームを示す。ここでは、実験室でできる簡便な方法で、比較的少量の乾燥汚泥と炭化汚泥を試作し、これを用いて1) 発芽試験、2) 性状分析、3) 栽培実験、4) 燃料試験を行う。

なお、性状分析1は再生利用試作品自体の分析である。

これらの実験を通じて、下水汚泥の資源的価値と具体的な方法・効果を可視化する。



(出典：JICA 調査団)

図-B1.4.2 再利用製品の試作と効果の検証のスキーム









B1.4.3 下水汚泥再利用製品製造工程検証

ハノイ市の下水処理場で実際に発生する脱水汚泥を用い、下水汚泥再利用製品として、乾燥汚泥、炭化汚泥及びコンポストの製造工程を検証した。場所、期間、結果は以下の通りである。

- ① 場所：北タンロン (North Thang Long) 下水処理場内
- ② 期間：2011年7月、10月
- ③ 結果：天日乾燥、加熱乾燥・乾留、コンポスト化ともに製造上特に問題は無かった

乾燥汚泥製造 (天日乾燥、鍋加熱乾燥)、コンポスト製造の実施状況を、表-B1.4.4に示す。

表-B1.4.4 下水汚泥再利用製品製造工程検証状況

	
<p>北タンロン処理場 脱水汚泥</p>	<p>天日乾燥装置</p>
	
<p>天日乾燥 2 日目状況</p>	<p>天日乾燥 6 日目状況</p>
	
<p>コンポスト製造装置</p>	<p>加熱乾燥状況</p>
	
<p>炭化汚泥製造状況</p>	<p>炭化汚泥</p>

(出典：JICA 調査団)

B1.4.4 下水汚泥性状分析試験

(1) 試験の目的

下水汚泥を再利用するにあたり、含有成分を分析することにより資源的価値の有無並びに再利用の可否を判断するため、下水汚泥性状分析試験を実施した。

本調査では2011年5月、7月、10月の3回にわたり、ハノイ市内の既存下水処理場より発生する脱水汚泥を採取し、成分分析を行った。

(2) 汚泥採取日時、場所、汚泥形態

採取日時、採取場所及び分析した汚泥形態は表-B1.4.5に示す通りである。なお、乾燥汚泥及び炭化汚泥は前節B1.4.3にて脱水汚泥から製造したものである。

表-B1.4.5 成分分析用下水汚泥の採取日時、場所、汚泥形態 (出典：JICA 調査団)

採取日時	採取場所	汚泥形態
2011年5月13日	キムリエン処理場 チュックバック処理場 北タンロン処理場	脱水汚泥
2011年7月8日	北タンロン処理場	1) 脱水汚泥 2) 乾燥汚泥 3) 炭化汚泥
2011年10月28日	北タンロン処理場	1) 脱水汚泥 2) 乾燥汚泥

(3) 汚泥採取状況

1) 北タンロン処理場

運転中の汚泥脱水機スクレーパ部から採取した。



写真-B.1.4.1 脱水汚泥採取状況 (北タンロン下水処理場) (出典：JICA 調査団)

2) キムリエン処理場

停止中の汚泥脱水機スクレーパ部からサンプリングした。



写真-B. 1. 4. 2 脱水汚泥採取状況（キムリエン下水処理場）（出典：JICA 調査団）

3) チュックバック処理場

ホッパー上部の点検口からサンプリングした。汚泥脱水機は停止中であった。



写真-B. 1. 4. 3 脱水汚泥採取状況（チュックバック下水処理場）（出典：JICA 調査団）

4) 採取試料

採取した試料（汚泥）は、ガラス瓶に保管し、分析機関へ搬入した。



写真-B. 1. 4. 4 分析用試料（汚泥）（出典：JICA 調査団）

(4) 分析機関

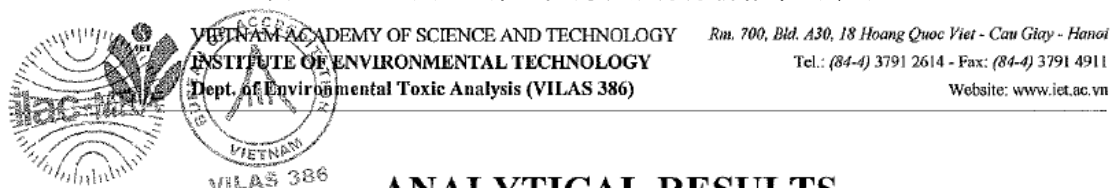
採取した汚泥の分析作業は、以下の公的機関に再委託した。

Vietnam Academy of Science and Technology, Institute of Environmental Technology, Department of Environmental Toxic Analysis (IET)

(5) 試験結果

3回の分析結果を表-B1.4.6に示す。

表-B1.4.6 (1) 第1回汚泥成分分析結果 (1/2)

**ANALYTICAL RESULTS**

(This results are only valuable for the samples sent to laboratory)

No: CRI105/15-17

Client : NIPPON KOEI
Kind of sample : Sludge
Quantity : 03
Date of sampling : 13/05/2011
Date of analysis : 13/05 to 25/05/2011

No.	Parameter	Unit	RESULTS			Analytical Method
			Waste water treatment plant Kim Lien	Waste water treatment plant North Thang Long	Waste water treatment plant Truc Bach	
Elements Analysis						
1	T-C	%	15.64	23.85	22.39	IET/ĐCMT TOC/ TN-2006
2	T-N	mg/kg	5142.5	6125.3	6577.2	
3	T-S	%	1.89	1.53	1.12	TCVN 4567-1998
4	T-P	mg/kg	20449.89	24183.26	23014.89	TCVN 6202:2008
5	T-K ^(*)	mg/kg	10853.52	3644.52	9352.81	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
Heavy metal						
6	As ^(*)	mg/kg	57.96	50.27	66.47	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
7	Cd ^(*)	mg/kg	1.65	1.54	1.83	
8	Ni ^(*)	mg/kg	61.26	181.55	37.1	
9	Pb ^(*)	mg/kg	67.45	91.04	77.68	
10	Cr ^(*)	mg/kg	88.65	181.55	37.1	
11	Cu ^(*)	mg/kg	135.69	2307.4	185.66	
12	Zn ^(*)	mg/kg	1256.72	2624.66	1207.39	
13	Hg ^(*)	mg/kg	22.96	11.52	12.51	

表-B1.4.6 (2) 第1回汚泥成分分析結果 (2/2)



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi
Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911
Website: www.iet.ac.vn

No.	Parameter	Unit	RESULTS			Analytical Method
			Waste water treatment plant Kim Lien	Waste water treatment plant North Thang Long	Waste water treatment plant Truc Bach	
14	Al ^(*)	mg/kg	47,5 x 10 ⁴	23870.24	35389.84	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
Organic parameter						
15	AOX	mg/kg	3550	1881	2097	TCVN 6493: 1999
16	PCBs	mg/kg	<0.005	<0.005	<0.005	EPA 8082
17	PAH	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	EPA 8100
18	VOCs	mg/kg	0.036	0.051	0.043	EPA 8260B
Other Parameter						
19	Calorific value	Kcal/kg	3598.75	2395.62	3544.72	ASTMD 240-02
20	Loses of ignition	%	31.99	53.5	54.02	TCVN 4049-85
21	Ash content	%	39.5	26.13	33.44	TCVN 2688 - 1978
22	Moisture content	%	28.3	20.37	12.34	ASTMD 2216
23	Fixed carbon content	%	10.49	10.17	7.98	ASTM 3172 - 1997
24	pH	-	7.19	7.37	7.04	TCVN 6492:1999
25	Cl	mg/kg	689.68	662.32	674.9	EPA 9253

Note: Sample name is designated by client

* : Items were analyzed by sub-contractor

Hanoi June 08th, 2011

Department of Environmental Toxic Analysis

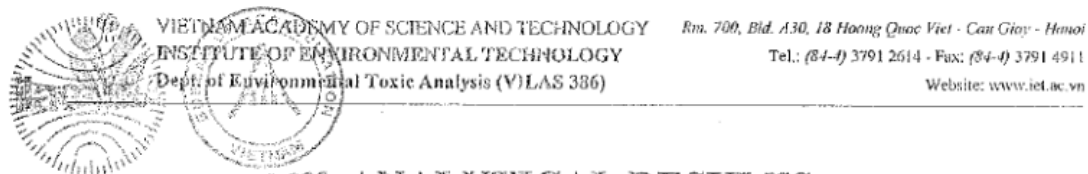
Dr. Nguyen Quang Trung



INSTITUTE OF
ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
K/T VIỆN TRƯỞNG
PHÓ VIỆN TRƯỞNG

Trịnh Văn Tuyên

表-B1.4.6 (3) 第2回汚泥成分分析結果 (1/2)



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quc Viet - Cau Giay - Hanoi
 INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911
 Dept. of Environmental Toxic Analysis (V)LAS 386 Website: www.iet.ac.vn

VILAS 386 ANALYTICAL RESULTS

(This results are only valuable for the samples sent to laboratory)

No: CR1107/I-3

Client : NIPPON KOEI
 Kind of sample : Sludge
 Quantity : 03
 Date of sampling : 27/07/2011
 Date of analysis : 27/07 to 12/08/2011

No.	Parameter	Unit	RESULTS			Analytical Method
			Dewatered Sludge	Carbonized Sludge	Dried Sludge	
Elements Analysis						
1	T-C	%	21.31	26.69	21.05	IET/ĐCMT TOC/ TN-2006
2	T-N	mg/kg	5533.1	7326.8	9611.9	
4	T-P	mg/kg	21842	28256	22069	TCVN 6202:2008
5	T-K ^(*)	mg/kg	6596.1	7277.1	5137.7	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
6	T-Mg	mg/kg	3243.2	3789.8	3008.2	TCVN 6224:1996
7	Available Phosphoric acid	mg/kg	13.5	15.4	12.6	TCVN 5815:2001
8	CEC	meq/100g	6.18	4.50	3.68	IET/ĐCMT TOC/ D-2009
Heavy metal						
9	As ^(*)	mg/kg	35.720	22.373	43.187	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
10	Cd ^(*)	mg/kg	1.519	1.576	1.370	
11	Ni ^(*)	mg/kg	135.866	151.274	125.093	
12	Pb ^(*)	mg/kg	124.178	156.051	125.838	
13	Cr ^(*)	mg/kg	181.154	195.860	163.068	
14	Cu ^(*)	mg/kg	1964.938	2078.025	1801.936	
15	Zn ^(*)	mg/kg	1621.622	1982.484	1623.232	
16	Hg ^(*)	mg/kg	0.957	0.876	0.975	
17	Al ^(*)	mg/kg	18699.781	28264.331	21221.147	
Other Parameters						
18	Calorific value	Kcal/kg	2277.23	4072.8	2048.2	ASTMD 240-02
19	Losses of ignition	%	55.7	49.9	54.4	TCVN 4049-85

表-B1.4.6 (4) 第2回汚泥成分分析結果 (2/2)



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
 INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
 Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi
 Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911
 Website: www.iet.ac.vn

No.	Parameter	Unit	RESULTS			Analytical Method
			Dewatered Sludge	Carbonized Sludge	Dried Sludge	
20	Ash content	%	32.42	46.79	34.30	TCVN 2688 - 1978
21	Moisture content	%	11.84	3.31	11.28	ASTMD 2216
22	Fixed carbon content	%	8.71	12.47	10.67	ASTM 3172:1997
23	pH	-	7.25	6.53	6.87	TCVN 5975:95
24	EC	μS/cm	375.5	468.5	570.2	YSI 3200

Note: Sample name is designated by client
 * : Items were analyzed by sub-contractor

Hanoi August 12nd .2011
 Department of Environmental Toxic Analysis

Nguyen Quang Trung

INSTITUTE OF
 ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
 VIỆN CÔNG NGHỆ MÔI TRƯỜNG
 K/IT VIỆN TRƯỞNG
 PHÓ VIỆN TRƯỞNG

 Nguyễn Thị Huệ

表-B1.4.6 (5) 第3回汚泥成分分析結果 (1/2)



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi
Tel. (84-4) 3791 2674 - Fax. (84-4) 3791 4911

Website: www.ict.ac.vn

VILAS 386

ANALYTICAL RESULTS

(This results are only valuable for the samples sent to laboratory)

No: CR1111/117-118

Client : NIPPON KOEI
Kind of sample : Sludge
Quantity : 02
Date of sampling : 28/10/2011
Date of analysis : 28/10 to 18/11/2011

No.	Parameter	Unit	RESULTS		Analytical Method
			Dewatered Sludge	Dried Sludge	
Elements Analysis					
1	T-C	%	20.1	23.2	IET/DCMT TOC/ TN-2006
2	T-N	mg/kg	22987	4410	
4	T-P	mg/kg	3159.2	3083.5	TCVN 6202:2008
5	T-K ^(*)	mg/kg	7868.68	5056.18	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
6	T-S	mg/kg	1266.9	1977.3	EPA 550
Heavy metal					
7	As ^(*)	mg/kg	61.49	54.65	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
8	Cd ^(*)	mg/kg	1.39	1.19	
9	Ni ^(*)	mg/kg	212.09	188.46	
10	Pb ^(*)	mg/kg	104.22	103.68	
11	Cr ^(*)	mg/kg	645.18	612.87	
12	Cu ^(*)	mg/kg	1662.32	1476.0	
13	Zn ^(*)	mg/kg	1281.92	1281.92	
14	Hg ^(*)	mg/kg	1.44	0.70	
15	Al ^(*)	mg/kg	20792.08	18998.98	
Other Parameter					
16	Calorific value	Kcal/kg	4366	3681	ASTMD 240-02
17	Loss of ignition	%	52.74	51.66	TCVN 4049-85
18	Ash content	%	23.63	34.17	TCVN 2688 - 1978
19	Moisture content	%	27.46	8.77	ASTMD 2216

表-B1.4.6 (6) 第3回汚泥成分分析結果 (2/2)



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi
Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911
Website: www.i.et.ac.vn

No.	Parameter	Unit	RESULTS		Analytical Method
			Dewatered Sludge	Dried Sludge	
20	Fixed carbon content	%	7.35	11.26	ASTM 3172:1997
21	pH	-	6.33	6.27	TCVN 5975:95
22	Cl	mg/kg	372	1827	Titration method
Dry sludge sample^(**)					
23	SiO ₂	%	27.9	24.8	TCN 02-I PTH/94
24	Al ₂ O ₃	%	12.2	3.3	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
25	Fe ₂ O ₃	%	12.2	14.5	TCN 09- II PTH/94
26	CaO	%	4.3	4.9	TCN 09- I PTH/94
27	MgO	%	1.1	1.4	TCN 09- I HTNT/94
28	Na ₂ O	%	0.7	1.0	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
29	K ₂ O	%	2.4	2.1	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
30	SO ₃	%	2.4	4.6	TCN 01-0.PTHL/94
31	P ₂ O ₅	%	16.4	16.0	Photometer
32	TiO ₂	%	0.4	0.4	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
33	V ₂ O ₅	%	0.013	0.012	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
34	MnO	%	0.8	0.7	EPA 3052-1996 SMEWW 3125-2005
35	Cl	%	Not detected	Not detected	Titration method

Note: Sample name is designated by client

*: Items were analyzed by sub-contractor

** : Percentaga content in ash of terignition

Hanoi November 22th.2011

Department of Environmental Toxic Analysis

INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

Nguyen Quang Trung



Nguyễn Thị Huệ

(5) 試験結果の考察、評価

3回の成分分析の結果を踏まえ、主な分析項目よりハノイ市の汚泥再利用に関して以下の評価ができる。

② T-C

下水汚泥において、炭素の多くは有機炭素であり、T-Cは有機物量の指標である。3処理場の分析結果から見る限り、日本の一般的な下水汚泥に比べて有機物量は少ない。

③ T-N

炭素量に比べて少な目であり、C/N比は30～40である（日本の下水汚泥では10程度）。このような脱水ケーキが好気発酵する場合、無機化されたNの放出が急速に起こる可能性は低い。

④ T-P

窒素に比べて、リン含有量は非常に高い。しかし、このうち植物、その他の生物に利用可能な形態のリンがどの程度含まれるかは、明らかでない。

⑤ 熱量

処理場間で変動があるが、平均的には石炭代替燃料の2～5割の熱量が潜在している。また、乾燥汚泥及び炭化汚泥の発熱量は2,000～4,000kcal/kg程度であり、低品位石炭の50～60%の燃料価値を有する。

⑥ 強熱減量

強熱減量は、近似的に有機物量を示す。T-Cからも予想されるように、有機物量は日本の下水汚泥よりも少ない。有機物を主体とする日本の下水汚泥とは異なる性格をもっている。強熱減量と発熱量の関係は直線的な関係だが、一部油脂が含まれていると発熱量は上昇する。

⑦ 灰分

灰中の成分は分析していないため不明であるが、一般的にはSiが主体でCa、Mgが代表成分である。それにしても灰分の値が高いため、石炭と乾燥汚泥・炭化汚泥の混合比率が高いとボイラへの影響（ファウリング、スラッキング）が懸念される。

⑧ pH

pHは概ね中性である。この地域を流れる水はカルシウム濃度の高い硬水であり、下水汚泥もカルシウム等の影響でpHが中性～弱アルカリ性に保たれている可能性がある。酸性土壌に混合すれば、土壌化学性の改善につながる。

⑨ その他

重金属を含むため、農業用（食用植物）の肥料として利用することは難しいといえる。

B1.4.5 下水汚泥を用いた生育試験

(1) 試験の目的

乾燥汚泥を土壌に混合し、これを培地として栽培実験を行って、施用効果を検証し、汚泥再利用製品の特徴を把握する。これにより、汚泥再利用製品を花卉園芸用の肥料として有効に生かすことが可能か検証する。

(2) 試験の概要

1) 試験区の設定

容量 600mL の 4 号鉢（直径 12 cm 前後、深さ 5 cm 前後）を用意し、土壌と乾燥汚泥の混合物をこれに充填して栽培試験を行う。



図-B1.4.3 鉢の 1 例（ベトナム製）（出典：JICA 調査団）

栽培実験の試験区の条件を表-B1.4.7 に示す。

表-B1.4.7 乾燥汚泥施用区の条件

ケース №	植物	混合材料		繰り返し (鉢数)	備考
		乾燥汚泥	化成肥料		
1	エンサイ	0 g	—	3	対照区
2		0 g	N10g/m ² 相当量	3	化成肥料区
3		標準施用量*	—	3	分析値により混合量を決める
4		標準施用量×2	—	3	分析値により混合量を決める
5**		全量乾燥汚泥	—	3	EC、発芽試験によって実施
6	ハウレンソウ	標準施用量*	—	3	分析値により混合量を決める
7		標準施用量×2	—	3	分析値により混合量を決める
8	なし	0 g	—	1	養分の溶出パターン調査用
9		0 g	N10g/m ² 相当量	1	
10		標準施用量*	—	1	
11		標準施用量×2	—	1	
合計			—	31	

(出典：JICA 調査団)

※：窒素 10 g/m²相当量

※※：EC測定や発芽試験の結果、土壌としての利用が可能だと判断された場合に設定する。

ケース 8～11 では、植物の栽培は行わず、土壌水の塩類濃度のモニタリングを行う。これにより、各ケースにおける養分の溶出パターンを推測し、植物の生長パターンとの整合性を考察する。

標準施用量は以下のように決める。

乾燥汚泥の全窒素濃度が脱水ケーキのそれと同程度と仮定し、乾燥汚泥中の窒素量が 10g/m²相当となるように、乾燥汚泥の標準施用量を計算する。計算は下の式による (Nd: 乾燥汚泥の窒素濃度、x : 乾燥汚泥量 g、r : 鉢の開口部内側の半径 m)。

$$\frac{Nd \cdot x}{\pi r^2} = 10$$

ケース 8～11 では、植物の栽培は行わず、土壌水の塩類濃度のモニタリングを行う。これによって、各ケースにおける養分の溶出パターンを推測し、植物の生長パターンとの整合性を考察する。

2) 生育実験の手順

- ① 乾燥汚泥およびコンポストの混合率を変えたケースごとに、3鉢ずつを用意し、各々 4 箇所播種する。1 箇所あたり 4 粒を播種する (図-B1.4.4)。発芽を確認した後、1 週間以内に地上部の間引きを行い、1 箇所あたり 2 個体とする。次に発芽 2 週間後までに 2 回目の間引きを行って、1 箇所あたり 1 個体を残す。
- ② 間引きされた地上部は、乾燥サンプルとし、個体あたりの乾物重を測定する。
- ③ 発芽後、20 日目に 4 個体全てを地下部ごと掘り取り、地上部乾物重と地下部乾物重を測定する。
- ④ 定期的に写真を撮影し、生育状況の変化を確認する。

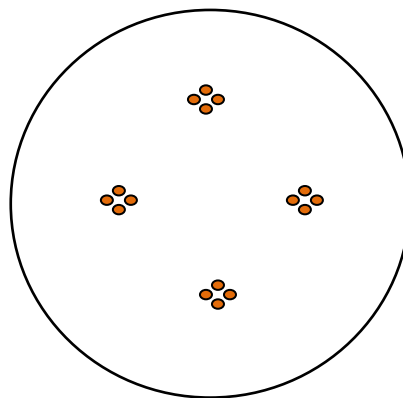


図-B1.4.4 種子の配置 (出典: JICA 調査団)

3) 溶出パターンのモニタリング

ケース 8～11 では、植物の栽培は行わず、土壌水の塩類濃度のモニタリングを行う。灌水の際に底面から抜ける余剰水を採取し、その電気伝導度 (EC) を測定する。EC の変化は、土壌中に溶出した成分の増減をあらわし、養分の供給パターンを推測するため

の指標となる。

ECの変化と生長パターンを比較して、養分の溶出と生長の関係などについて考察する（図-B1.4.5）。

4) 試験区の管理

試験区の管理については、下記の通りとした。

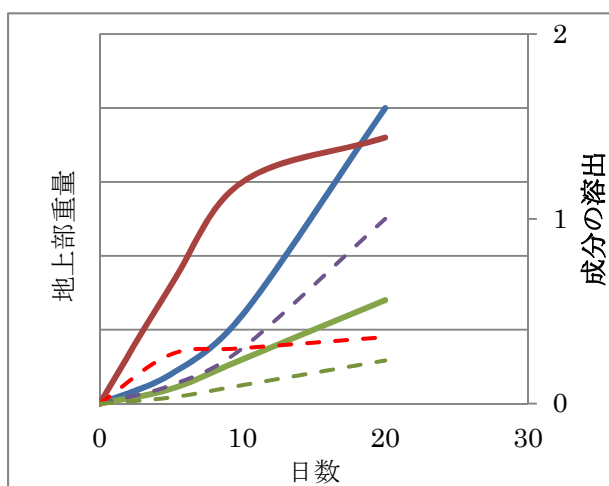
- 日常の管理：HSDC（北タンロン）に依頼。（実験施設の異常の有無の確認等）
- 試験区の管理：IETに依頼。（定期的な写真撮影、状態の監視等）

5) 評価手法

B) 施用試験における評価の考え方

施用試験では、次のようなデータが得られる。

- 生長量
- 地上部の生長パターン（図-B1.4.5）
- 地上部と地下部の発達状況（図-B1.4.6）



（出典：JICA 調査団）

図-B1.4.5 生長パターンの違いを示す模式図（点線は成分の溶出パターン）

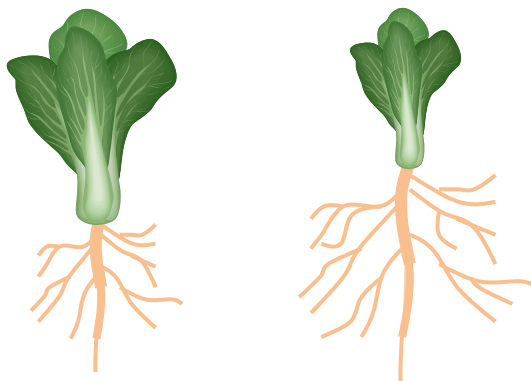


図-B1.4.6 地上部と地下部の発達状況の違い（出典：JICA 調査団）

これらのデータから、乾燥汚泥土壌改良効果を検討・評価する。そのポイントは以下の通りである。

- 土壌の透水性、通気性が改善されると（気相率、透水係数から判断）、根系の発達が促進される。
- 養分・水分の保持機能が変わると、それに伴って地上部と地下部の発達状況が影響される。養分等の供給速度が緩やかになると（緩効性）、地上部よりも地下部の発達が促される。
- 養分が速効的に供給されるときには、地上部の発達が促される。生長パターンと根の発達状況から、供給速度を評価する。
- 特定の栄養素が不足する土壌では、施用によって生長量が増大する可能性がある。
- 土壌 pH などの化学性の改善は生長量の増大につながる。

b) 花卉栽培への応用

限られた日程の中で花卉の栽培実験を行うことは難しい。本実験では、製品の分析、混合土壌の分析、栽培実験結果（生長の速い葉物野菜）から、植物一般に対する効果を検討し（B）、それをもとに花卉栽培への有効性を考察する。

特定の花に対する効果を検討するのではなく、製品の特長を把握して、花卉全般に対する効果を検討する。その検討の中には、製品の効果が顕れやすい花卉の種類の種類なども含まれる。

6) 試験期間

2011年7月18日～8月2日

(3) 試験結果

生育試験の結果を表-B1.4.8に示す。

(4) 試験結果の考察、評価

生育試験の結果を踏まえ、ハノイ市の汚泥再利用に関して以下の評価ができる。

- 乾燥汚泥は一般土と同程度の生育能力を保有し、花卉園芸用の代替肥料として利用可能である。
- 重金属を含むため、食用植物の代替肥料としては利用できない。
- 汚泥による生育への悪影響は見られなかった。

表-B1.4.8 (1) 生育試験結果 (植物乾燥重量 (1/2))



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 709, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi

Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911

Website: www.iet.ac.vn

ANALYTICAL RESULTS

(This results are only valuable for the samples sent to laboratory)

Client : NIPPON KOEI
Kind of sample : Plant
Quantity : 24
Sending date : 14/07/2011
Duration of experiment : From 18/7 to 02/8/2011

No.	Sample name	Tree (dry weight) (g)		
		19/7/2011	26/7/2011	2/8/2011
1	C 2-1	0.3582	0.6513	1.7382
2	C 2-2	0.1857	0.2861	0.8164
3	C 3-1	0.8124	1.6326	4.062
4	C 3-2	1.3069	1.5725	3.935
5	C 4-1	0.2881	0.4069	1.2943
6	C 4-2	0.3533	0.7029	1.3082
7	C 5-1	No tree	No tree	0.0108
8	D 1-1	0.5732	0.6201	1.347
9	D 1-2	0.1822	0.2950	1.1076
10	D 1-3	0.2486	0.3196	1.4555
11	D 2-1	0.4066	0.9265	2.823
12	D 2-2	0.7228	1.0886	3.0624
13	D 2-3	0.7297	1.7994	3.0527
14	D 3-1	0.3727	0.7887	2.6278
15	D 3-2	0.2860	0.3476	3.1328
16	D 3-3	0.3192	1.4375	2.0284
17	D 4-1	0.2721	1.0719	2.5576
18	D 4-2	0.2326	0.7094	2.1663

表-B1.4.8 (2) 生育試験結果 (植物乾燥重量 (2/2))



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi

Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911

Website: www.iet.ac.vn

No.	Sample name	Tree (dry weight) (g)		
		19/7/2011	26/7/2011	2/8/2011
19	Đ 4-3	0.2894	0.3227	2.7482
20	Đ 6-1	0.0699	0.1112	1.0915
21	Đ 6-2	0.0148	0.0169	0.0183
22	Đ 6-3	0.0131	0.0620	0.0518
23	Test 1	0.4369	0.8263	1.9704
24	Test 2	0.3172	0.5400	2.3811

Note: Sample name is designated by client

Hanoi August 05th, 2011

Department of Environmental Toxic Analysis

Nguyen Quang Trung

INSTITUTE OF

ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY



K/T VIÊN TRƯỞNG
PHÓ VIÊN TRƯỞNG

Trịnh Văn Tuyên

表-B1.4.8 (3) 生育試験結果 (電気伝導度)



VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
Dept. of Environmental Toxic Analysis (VILAS 386)

Rm. 700, Bld. A30, 18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi
Tel.: (84-4) 3791 2614 - Fax: (84-4) 3791 4911
Website: www.ict.ac.vn

ANALYTICAL RESULTS

(This results are only valuable for the samples sent to laboratory)

Client : NIPPON KOEI
Kind of sample : Soil sample
Quantity : 08
Sending date : 14/07/2011
Duration of experiment : From 18/7 to 02/8/2011

No.	Sample name	Conductivity ($\mu\text{S/cm}$)		
		19/7/2011	26/7/2011	2/8/2011
1	C7	2322.9	1923.2	1211.5
2	C9	3709.6	3408.3	2727.6
3	C10	2843.8	1859.1	1790.7
4	C11	3704.1	2842.5	2287.7
5	D8	3127.6	2807.1	1459.4
6	D9	1814.1	2479.5	926.0
7	D10	4066.6	2202.9	1893.3
8	D11	1482.4	1803.8	2106.8

Note: Sample name is designated by client

Hanoi August 05th, 2011
Department of Environmental Toxic Analysis

Nguyen Quang Trung



Trịnh Văn Tuyên



試験状況 (2011.7.25)
(開始から 1 週間後)



試験状況 (2011.8.2)
(開始から 2 週間後)

(出典：JICA 調査団)

写真-B1.4.5 下水汚泥を用いた生育試験状況

B1.4.6 下水汚泥のニーズ調査

(1) 緑農地利用（花卉栽培）のニーズ調査

1) ハノイ近郊の花弁栽培の概況

ハノイ市の人口は元々350万人程度、これが周辺を統合することによって620万人に増えた。したがって現在のハノイ市は、中心部や新市街地の周辺部には、依然として緑農地が広がっている。

ハノイおよびその近隣の花弁の栽培面積は約2,000haであり、（出典：VEGETABLES-FLOWERS-FRUITS WEBSITE）、日本で最も作付面積が大きい愛知県における切花の栽培面積に匹敵する。この統計数字から判断すると、ベトナムにおける花弁の栽培は非常に盛んで、ハノイ市付近も主要な生産地のひとつであるといえる。

また、農地全体から見ると1%にも満たない広さではあるが、新しい栽培技術を導入している生産者もいるという。土地あたりの利益率が高いことから、ある程度のコストを投じていることが想定される。

2) 資材の流通状況

花弁栽培農家から直接聞き取りを行い、現在の花弁栽培および流通について把握した。

① 流通経路

ハノイ近郊における花弁の流通経路は図-B1.4.7の通りである。



（出典：JICA 調査団）

図-B1.4.7 花弁の流通経路

② 売買価格の例（バラ 1 本）

花卉栽培農家 ⇒ 花卉市場または仲買業者	3,000VND
花卉市場または仲買業者 ⇒ 花屋	5,000VND

③ 花卉栽培農家の肥料調達

花卉栽培農家は、使用する肥料を肥料会社から購入しており、土壌用肥料と花卉用肥料を使用している。電話注文により現地まで配達されている。

肥料の使用量は、聞き取りの結果、以下の通りであった。また、現在使用している代表的な肥料の成分を併せて示す。

表-B1. 4. 9 肥料の使用量

単位面積当たり使用量	30kg/sao (=30kg/365m ²)
使用頻度	5 回/年

(出典：JICA 調査団)

表-B1. 4. 10 肥料成分及び性状

成分	含有率
N	>3.0%
P ₂ O ₅	>3.0%
K ₂ O	>2.0%
Moisture content	<20%
Acid fuming	>2.0%
灰分	>15%

※栽培農家を使用している肥料の袋に記載されたもの。国内肥料メーカー（Binh Dien 社）の混合肥料（NPK）

(出典：JICA 調査団)

3) 需要量の推計

聞き取り調査の結果から、ハノイ市近郊における下水汚泥（乾燥汚泥）の潜在的需要量を推計した。推計結果を次表に示す。

ハノイ市周辺の花弁栽培面積			1,666 ha	出典: VEGETABLES-FLOWERS-FRUITS WEBSITE
	a	≐	1,700 ha	
haあたり肥料施用量(化成肥料)※1			30 kg/sao	=kg/365m ²
	b	≐	822 kg/ha	※1:現地生産者へのヒアリングによる。
年間施用回数※1	c		5 回	※1:現地生産者へのヒアリングによる。
haあたり年間施用量	d=b*c		4,110 kg/ha/year	
年間化成肥料施用量	e=a*d/1000		6,987 t/year	
化成肥料の成分				
	N		3 %	化成肥料成分表示(N>3%)より
	P ₂ O ₅		3 %	化成肥料成分表示(P ₂ O ₅ >3%)より
	K ₂ O		2 %	化成肥料成分表示(K ₂ O>3%)より
下水汚泥の成分				
乾燥汚泥 T-N			9,000 mg/kg	第2回North Thang Long汚泥分析結果より
		≐	0.9 %	
T-P		≐	20 mg/kg	
		≐	0.002 %	
T-K		≐	100 mg/kg	
		≐	0.01 %	
乾燥汚泥の必要量				
乾燥汚泥で窒素量相当分を全量代替する場合				
	h=e*f/g		23,290 t/year	植生試験においては、化成肥料と同等の窒素量相当の乾燥汚泥を混合した培土でも生育への影響は見られなかった。化成肥料よりも緩効性が認められたため、基肥としての利用が想定される。また、PとKの含有量が少ないため、実際には化成肥料との併用が想定される。年間の施肥回数、施用量は、左記条件が最大と考えらえる。
			64 t/day	
乾燥汚泥で窒素量相当分の50%を代替する場合				
	i=e*f/g*0.5		11,645 t/year	
			32 t/day	

(出典: JICA 調査団)

4) 緑農地利用（花卉栽培）の可能性

下水汚泥の緑農地利用については以下の見解が得られた。

- 花卉園芸農家は園芸製品の生産性向上につながる資材には興味を持っている。
- 現時点で直ちに利用することはできないが、試験圃場等における施用試験を通じた情報提供により、今後需要が高まる可能性がある。

(2) 下水污泥燃料のニーズ調査

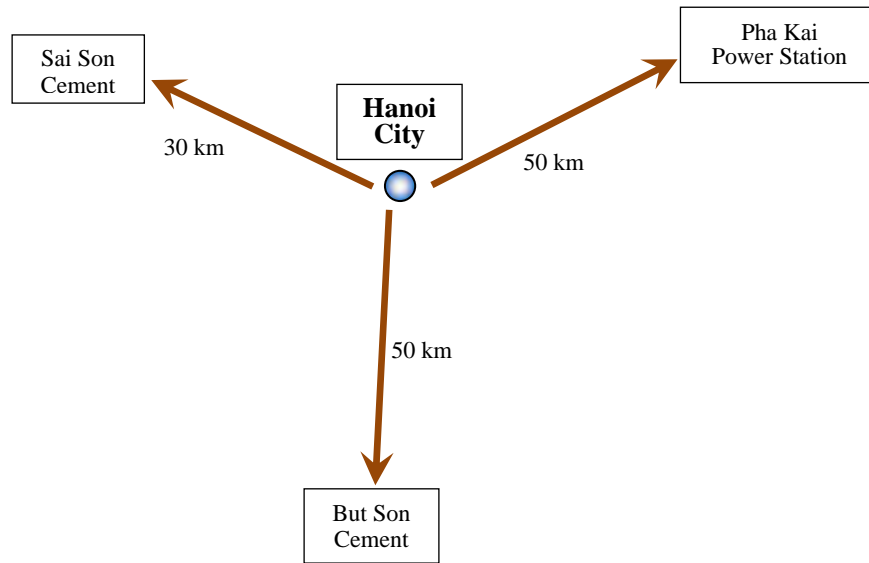
1) ニーズ調査方法

下水污泥燃料のニーズについて、ハノイ市内及び近郊の石炭・バイオマスボイラーを所有する工場を抽出した（表-B1.4.11）。これらの工場に対してニーズ調査を受け入れた工場は、Pha Lai Coal-Fired Power Plant、But Son Cement JSC、Sai Son Cement JSC の3社であった。図-B1.4.8 に示すように、何れの工場もハノイ市内から 25～50km の幹線道路の沿線に位置する。

表-B1.4.11 下水污泥燃料のニーズ調査結果

業種	業者	住所	備考
Cement	But Son Cement Joint stock Company CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG BÚT SƠN (BUSOCO)	Xa Thanh Son, Huyen Kim Bang, Tinh Ha Nam Địa chỉ : Xã Thanh Son, Huyện Kim Bang, tỉnh Hà Nam Tel: (84-351) 3 851 323 Fax: (84-351) 3 851 320 E-mail: butsonhc@hn.vnn.vn http://www.ximangbutson.com.vn/	Clinker: 3 million/year
	Sai Son Cement Joint Stock Company Bản quyền thuộc Công ty CP Xi măng Sài Sơn	Sai Son Commune, Quoc Oai District, Ha Tay Province Vietnam Địa chỉ: Xã Sài Sơn, Quốc Oai, Hà Tây; Điện thoại: 034. 679377 Tel: +84-34 843184 Fax/Tel: +84-34 843188 Email: saison@ximangsaigon.com	Cement: 300, 000 tons/year 2 identical semi-dry, vertical shaft kilns
Ply wood	Saola Plywood	No 71 Duc Giang Str, Long Bien Dist, Ha Noi, Viet Nam Tel: 84-425-80295 http://www.saolaplywood.com/	manufacturers of Plywood
	CHESUCOVN Company	Hoang Quoc Viet, Ha noi, HN, Vietnam Tel: +84-914-331391 http://www.chesuco.com.vn/	Plywood, Bambo, Ceramic, Rattan, Wood, Handicraft Production 10,000 m ³ plywood/year Area 10 000m ²
Coal power	Pha Lai Coal-Fired Power Plant Electricité de Vietnam (EVN)	Pha Lai, Vietnam	Output: 600MW Plant type: Conventional thermal Boiler: 2 x 300MW(922t/h) natural circulation boilers

(出典：JICA 調査団)



(出典：JICA 調査団)

図-B1.4.8 下水汚泥燃料の潜在的利用工場

2) ニーズ調査結果

①石炭火力工場 (Pha Lai Coal-Fired Power Plant)

発電能力 600,000kw (300,000kw×2 基：ボイラーNo1.1973 供用、No2.1997 供用) を有し、174 ton/hr (約 150 万 t/年) の瀝青炭を使用する石炭火力発電所である。

下水汚泥の燃料利用に関しては、環境問題に関する関心が高いが、次のことを課題として提起した。

- 石炭ボイラーは、熱効率が重要である。下水汚泥燃料の供給量は、石炭と混焼するには少なすぎる量である。小規模のボイラーに適していると見ている。
- 下水汚泥燃料の受け入れは、時期尚早である。ボイラーは石炭専用に設計されている。石炭投入ラインの改造が必要である。
- 下水汚泥燃料の導入に当たっては、試験計画書を Ministry of Industry (MOI) へ提出し、モニタリング・評価を得なければならない。許認可手続きとパイロット試験に要する予算が課題であり、下水汚泥燃料化を実現するためには、国・JICA の支援が必要である。事業化調査 (FS) は、MOI のパイロットプロジェクトとなる。

②セメント工場

But Son Cement Sai Son Cement とともに、地球環境問題や廃棄物利用についての関心が高く、下水汚泥の燃料化、セメント材料としての可能性に前向きである。Sai Son Cement の CEO は、日本のセメント工場視察で、廃棄物利用の技術的・社会的意義について視察した経験を有しており、また、ベトナム国の Clean Product Center がバイオマス利用技術を導入していることに言及した。

Sai Son Cement は、現工場が堅型キルンを採用した旧式炉であり、近郊に新工場を建設中（2011年12月頃に稼働予定）でクリンカー施設を休止していた。CEO は、新工場が稼働した後に、改めて下水汚泥燃料化の利用について検討したいとの意向であった。

表-B1.4.12 セメント工場の概要

工場	生産能力	位置
Sai Son Cement JSC	セメント製造 350千 ton/年 クリンカー1,000 ton/日 石炭使用料 140 ton/日	ハノイ市内中心部より約 25km
But Son Cement JSC	セメント製造 3,000千 ton/年 クリンカー 4,000 ton/日 石炭使用料 900 ton/日	ハノイ市内中心部より約 50km

(出典：JICA 調査団)

両社ともに、次のことを懸案事項としている。

A) 技術的懸案事項

- 下水汚泥燃料の品質・取り扱い
- セメントの品質に与える影響
- ロータリーキルンの耐久性に与える影響
- 石炭やセメント原料投入のアッセンブリーラインの改造の要否と費用負担

B) 政策的懸案事項

- 地球環境問題に対する国・ハノイ市の支援制度

3) セメント専門家の見解

セメント工場が有する上記の技術的懸案事項に対し、課題と解決策を明確にするため、下水汚泥の受け入れ経験が豊富な日本のセメント業界の専門家を派遣し、ハノイ市近郊のセメント工場を視察した上で以下の見解を得た。

- ① 依頼先：(社) 日本セメント協会
- ② 派遣期間：2012年1月8日～14日
- ③ 視察先：But Son セメント JSC

④ 専門家の見解

- 下水汚泥中の P_2O_5 によるセメント品質への影響が考えられるが、汚泥使用量が $150\text{kg dry-solid/t-cement}$ 以下と想定されるため、特に問題無い。
- ロータリーキルンに与える影響として Cl 化合物の蓄積が考えられるが、 $20\text{-}80\text{mg-Cl/kg}$ -クソカ（汚泥使用料 40t/日 = 石炭消費量の 6% に相当）程度で悪影響は懸念されない。また、高価な排ガスバイパス工事は不要である。
- 石炭貯蔵施設において、既存運転設備に乾燥汚泥を投入することで石炭と攪拌され、カロリー変動に対応可能である。したがって既存の石炭やセメント原料投入のアッセンブリーライン、フィーダー、重量計、監視（運転ソフト）の改造は不要である。ただし、仮置き等の一時的な貯蔵及び工場の操業停止時の保管場所を確保する必要がある。

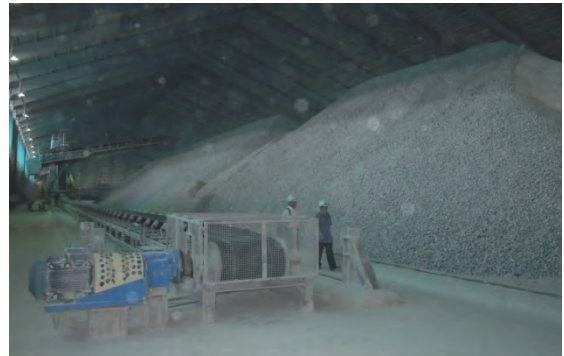
4) 下水汚泥燃料利用の可能性

下水汚泥の燃料利用の可能性については以下のように考えられる。

- 火力発電所及びセメント会社の何れも石炭の代替燃料には非常に関心がある。
- 火力発電所が莫大な潜在需要を有しているが、受け入れまでには相当の時間を要する。このため、当面の受け入れ先として火力発電所は推奨できないが、将来的に受け入れの可能性はある。
- 当面の受け入れ先としてはセメント会社が最有力である。しかし、日本のように下水汚泥の受け入れ経験が無いため、試験的な導入から始める必要がある。また、汚泥燃料を有料で買い取るのか、無料で引き取るのか、あるいは事業者側から費用を支払った上で引き取ってもらうのか、受け入れ先との協議が必要である。また、ハノイ市やベトナム国からの積極的な支援が必要である。



But Son Cement Factory



Coal Banker



Cement Material Banker (Silica)



Lime Stone Feeder



Lime Stone Truck



Bagged Cement Delivery Truck

(出典：JICA 調査団)

図-B1.4.9 But Son Cement Joint Stock Company の工場内写真

B2 下水汚泥処理・再利用施設計画、概略設計

B2.1 計画汚泥量

B2.1.1 各下水処理場より発生する汚泥量

下水処理の役割は、汚染された下水を個体と液体に分離する技術を用い、放流先の水環境を保全することである。この分離された固形物が汚泥と呼ばれるものである。現在、ハノイ市内の下水処理場は中小規模の3箇所が稼働中であり、今後さらに5箇所の整備が計画されている。各下水処理場により処理人口、流域面積、処理水量及び処理能力等が異なるため、処理過程で発生する汚泥量もそれぞれ異なるものである。

以下の表-B2.1.1にハノイ市の各下水処理場より発生する汚泥量の算定結果を示す。

表-B2.1.1 ハノイ市の各下水処理場における発生汚泥量算定結果

処理場名	日最大 処理水量 (m ³ /日)	日平均 処理水量 (m ³ /日)	日平均 汚泥量 (t/日)	日平均 汚泥量 (将来) (t/日)	処理場での 汚泥処理方式
キムリエン	4,800	3,920	1.7	3.8	脱水
チュックバック	3,000	2,450	1.2	2.7	脱水
北タンロン	42,000	34,280	18.4	41.2	脱水
エンソ	200,000	190,000	77.2	172.8	消化・脱水
バイマウ	13,300	10,850	6.5	14.5	脱水
ホータイ	15,000	12,240	7.1	15.9	脱水
フド	84,000	68,500	39.1	87.5	脱水
エンサ	270,000	220,400	125.7	281.3	脱水
合計	632,100	542,640	276.9	619.7	—

(出典：JICA 調査団)

【算定条件】

- ・ 流入SSは、現時点での既存下水処理場への流入データを基に120mg/Lとし、将来は設計水質である250mg/Lとした。
- ・ 放流SS=15mg/Lとした。
- ・ 発生汚泥（脱水汚泥）の含水率=82%とした。
- ・ エンソ下水処理場以外の下水処理場について、日平均処理水量=日最大処理水量×81.6%として算定した（2008年エンサ下水処理場F/Sを参考）。
- ・ エンソ下水処理場へはキムニュー川の河川水を一定量流入させるため、日最大処理水量=200,000m³/日に対し、日平均処理水量=190,000m³/日とした。
- ・ エンソ下水処理場については、消化による減容化を65%と想定した。

上記算定より、現在は下水処理場への流入下水のSS濃度が120mg/L程度と設計水質と比較して低濃度であるため、8下水処理場全体の日平均汚泥量≒280t/日であるが、将来的に設計流入水質であるSS=250mg/L程度となると、日平均汚泥量≒620t/日まで増大することとなる。

B2.1.2 下水汚泥発生量の年次予測

現在、ハノイ市の各下水処理場の稼働状況及び稼働開始予定年は以下の表-B2.1.2の通りである。

表-B2.1.2 ハノイ市の下水処理場の稼働状況 (出典：JICA 調査団)

処理場	現状	稼働開始予定年
キムリエン	稼働中	—
チュックバック	稼働中	—
北タンロン	稼働中	—
エンソ	試運転中	2012年
バイマウ	工事中	2014年
ホータイ	BT方式にて計画	2014年
フドー	BT方式にて計画	2016年
エンサ	F/S 終了	2018年

各下水処理場の稼働開始予定年を考慮し、2011年以降のハノイ市全体の日平均脱水汚泥発生量の年次予測を図-B2.1.1に示す。予測量設定においては、以下の点に留意した。

- エンサ下水処理場は2018年に稼働開始予定であるが、流域の下水管路の完成や分流式下水道で整備予定の地区の下水本管への接続は2018年以降となることが予想されるため、稼働開始初年の汚泥発生量は計画の1/2とした。その後漸増し、2022年に計画量に達するものとした。
- 北タンロン下水処理場は既に稼働中であるが、流域の市街化が大幅に遅れており、現時点での下水処理場への汚水流入量は計画量と比べて非常に少量となっている。また、今後も当該流域が急速に市街化する見込みは少ない。したがって、2011～2018年までの汚泥発生量は計画の1/4とした。その後漸増し、2037年に計画量に達するものとした。
- フドー下水処理場は2016年に稼働開始予定であるが、エンソ下水処理場と同様に稼働開始初年～2018年までの汚泥発生量は計画の1/2とした。その後漸増し、2022年に計画量に達するものとした。
- 上記以外の5下水処理場の汚泥発生量については、稼働初年より計画量とした。

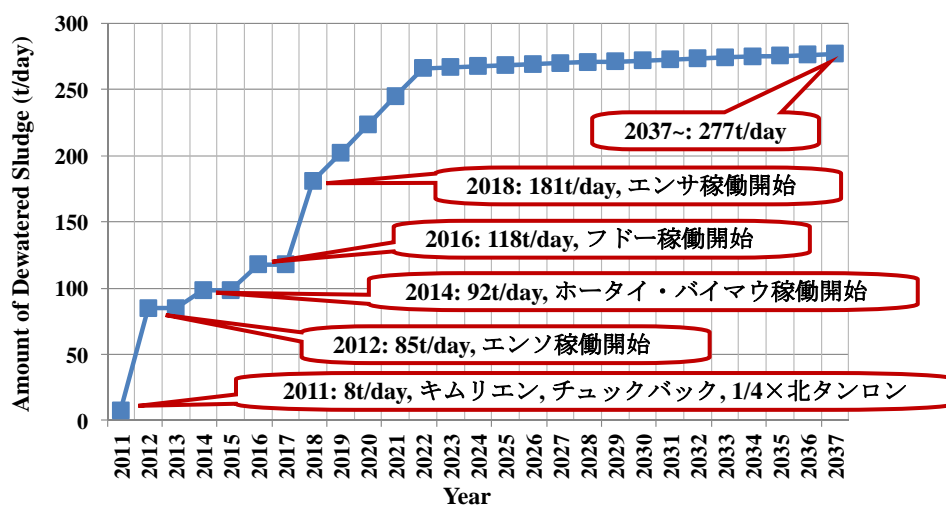


図-B2.1.1 ハノイ市の下水汚泥発生量年次予測 (出典：JICA 調査団)

B2.2 汚泥処理・再利用プロセスの検討

汚泥処理プロセスは、次の2段階のステップにより選定する。

- 1) 汚泥利用方法の絞り込み
- 2) 汚泥利用方法に適した汚泥処理プロセスの選定

また、汚泥処理施設は以下の事項を評価基準とし、個々の汚泥処理プロセスに適用する技術を選定する。

- 1) 汚泥有効利用に適した汚泥製品
- 2) 低コスト・維持管理に適した技術
- 3) 汚泥利用の社会的動向
- 4) 下水道整備、技術開発の時間軸に合致した下水汚泥利用計画
- 5) ベトナム国の環境施策に適する技術

B2.2.1 汚泥利用方法の絞り込み

下水処理の役割は、汚染された下水を個体と液体に分離する技術である。この分離された固形物が汚泥と呼ばれるものである。この汚泥は、処理プロセスによって名称が変わるが、基本的には、水分、無機分、有機分から構成される。これらの単位構成をいかに減らすことが汚泥処理の第一の目的であった。

以下に、各汚泥形態の含水率と容積比を示す。

表-B2.2.1 汚泥形態別の含水率と容積比

汚泥形態	生汚泥	濃縮汚泥	脱水ケーキ	コンポスト	乾燥汚泥	炭化汚泥	焼却灰	溶融スラグ
含水率 (%)	99	96	80	40	20~40	—	—	—
容積	1	1/4	1/20	*	1/60~1/80	1/160	1/330	1/700

*副資材の種類、利用の有無により異なる。

(出典：JICA 調査団)

過去、埋め立て処分が主流だった日本においては、減量化技術が注目されていた。しかし、近年発生汚泥量が埋め立て処分地の許容範囲を超える結果となったことに加え、汚泥の有効利用や地球温暖化防止の背景から、汚泥の利用技術が提案されてきた。

これまで、廃棄物として処分されてきた下水汚泥を有効利用するためには、利用側のニーズに合った資材（汚泥）を供給することが重要となる。そこで下水汚泥に含有される成分を正確に把握し、用途に応じた利用方法を提案していくことが求められている。下水汚泥は、その成分に着目すると以下の特徴を有している。

下水汚泥の有機成分を工業分析すると、炭素 (C)、水素 (H)、酸素 (O)、窒素 (N)、硫黄 (S) から成っている。無機成分ではケイ素 (Si)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、リン (P)、カリウム (K)、その他の重金属類から成っている。これらの成分は、含有量の違いはあるものの、家庭廃水を主とする下水から発生する下水汚泥では、どこの国でも同様であると言える。

これらの成分に着目すると、有機成分中の C、H から燃料としての価値が提案される。また、無機成分中の P に着目すれば、土壌肥料として利用の可能性がある。

このように下水汚泥は、その成分から有効利用の開発と市場調査を一体に提案する手法が一般的になってきた。下水汚泥の有効利用を促進するためには当該地域における市場性が最も重要な事項であり、下水道事業が持続的な事業であることから、下水汚泥の利用形態も持続的であることが望まれる。

市場が望む利用形態の要求には、次の事項が挙げられる。

- ①必要とする資源が近隣にあること
- ②長期間の供給が可能であること
- ③地球温暖化に対する貢献があること
- ④利用用途が多種に及ぶこと

現在、日本及び諸外国で実用化されている汚泥利用形態には、農業利用、土壌改良材、乾燥汚泥・炭化汚泥の燃料化、焼却灰・溶融スラグの建設資材利用がある。ハノイ市における汚泥処分・利用には、脱水汚泥の埋立てをベースラインとし、これらの利用形態の中から上記①～④の観点を考慮して選定する。

ハノイ市の下水汚泥の最終形態と検討の採否について、表-B2.2.2 に示す。

表-B2.2.2 下水汚泥処理・利用の最終形態評価（一次スクリーニング）

汚泥処理・利用の最終形態	評価	検討の採否
脱水汚泥埋立て	ベースライン	○
コンポスト農業利用	重金属等の土壌蓄積 厨芥ごみコンポストの競合	×
コンポスト土壌改良材	低コストで、持続性がある。	○
乾燥汚泥の燃料化	受容可能で、持続性がある。 環境調和型技術。	○
乾燥汚泥の炭化	受容可能で、持続性がある。 環境調和型技術。	○
焼却灰の建設資材	焼却炉の LCC が高価である。	×
溶融スラグの建設資材	溶融炉の LCC が高価である。	×

(出典：JICA 調査団)

* Hanoi 市において稼働中の下水処理場から発生する汚泥の性状分析結果、緑地利用等の市場性および可能性については、「B-1.4 節」を参照。

上記の一次スクリーニングより、ハノイ市に適する利用方法は、汚泥中に含まれる重金属による影響やライフサイクルコスト（LCC）を勘案すると、コンポストの土壌改良材利用、乾燥汚泥・炭化汚泥の燃料化が、採用可能な利用方法である。

また、汚泥処理施設計画の制約条件である最終処分地の下水汚泥受け入れ許諾の可否、汚泥処理用地の取得及び汚泥の燃料目的の有無により、下水汚泥・利用形態は制限される。最終処分場への受け入れ可否、並びに処理施設用地の大小による汚泥利用方法・汚泥の最終形態は、次表の検討マトリックスに分類できる。

表-B2.2.3 プロセス選定のマトリックス

汚泥埋立て処分 処理施設用地	最終処分場への 下水汚泥受け入れ OK	最終処分場への 下水汚泥受け入れ NG
利用可能面積＝大	脱水汚泥の埋立て処分 土壌改良材利用、天日乾燥	土壌改良材利用、天日乾燥 汚泥燃料化 セメント（燃料価値無し）
利用可能面積＝小	脱水汚泥の埋立て処分	汚泥燃料化（燃料価値有り） セメント（燃料価値無し）

（出典：JICA 調査団）

現在、ハノイ市内で発生する下水汚泥は Nam Son 処分場や Tieu Ky 処分場に運搬され、埋立処分されている。これらの処分場は発生汚泥量が少ないうちは受け入れ可能であるが、今後の下水処理場整備の急速な進展による発生汚泥量の増大に伴い、下水汚泥の受け入れが困難になると予想される。したがって、最終処分場での下水汚泥受け入れは期待できないことから、汚泥利用方法及び汚泥処理プロセスの検討に当たっては、十分な面積の用地取得の可否及び汚泥燃料価値の有無を勘案した上で、土壌改良材としての利用、汚泥燃料化、セメント原料化の中から選定する。

B2.2.2 下水汚泥処理プロセスの選定

汚泥利用形態に適した処理プロセスについて、濃縮、脱水、乾燥または炭化プロセスの最適な組み合わせを以下の4種類より選定する。

Alternative-1：濃縮－脱水－天日乾燥・コンポスト化－処分・利用（土壌改良材、燃料）

Alternative-2：濃縮－脱水－機械乾燥－利用（汚泥燃料）

Alternative-3：濃縮－脱水－炭化－利用（汚泥燃料）

Alternative-4：濃縮－脱水－天日乾燥－機械乾燥－利用（汚泥燃料）

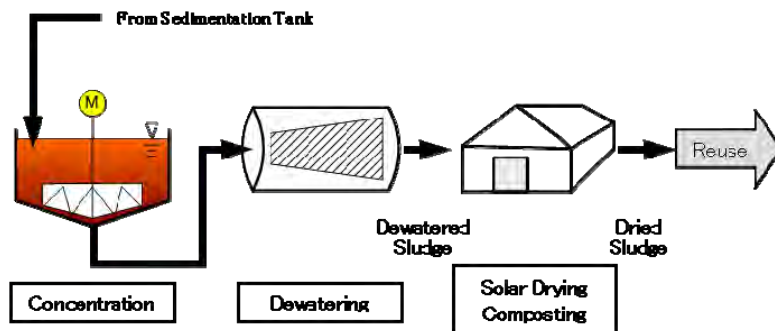
(1) 各処理プロセスの概要

以下に各処理プロセスの概要を示す。

①Alternative-1: 濃縮－脱水－天日乾燥・コンポスト化－処分・利用(土壌改良材、燃料)

脱水汚泥を天日乾燥・コンポスト化し、土壌改良材、燃料として利用するものである。天日乾燥による汚泥乾燥では、脱水汚泥含水率を40%程度にまで低下させることができる。夏季には、更に含水率の低下が期待できる。また、天日乾燥によって含水率が65%以下に低下した脱水汚泥を堆積することで、自然発酵によるコンポスト化が進む。

利用用途および需要量に応じて、生産量の調整が可能である。燃料として利用する場合には、含水率を20%程度にまで低下させることが求められるため、年間を通じた燃料の製造には困難な面がある。



(出典：JICA 調査団)

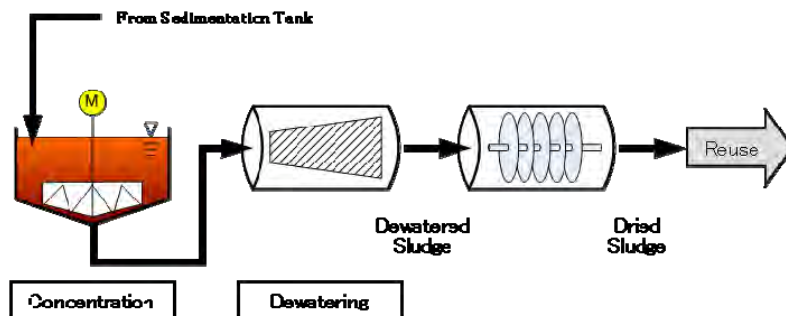
図-B2.2.1 Alternative-1 濃縮－脱水－天日乾燥・コンポスト化－処分・利用
(土壌改良材、燃料)

②Alternative-2：濃縮－脱水－機械乾燥－利用（汚泥燃料）

脱水汚泥を機械乾燥し、燃料として利用するものである。

乾燥設備による含水率のコントロールが容易であり、安定した処理が可能である。一方で、乾燥設備に投じられるエネルギー量が大きくなる。

製造された乾燥汚泥は、臭気が残るが粒状または粉状となり、取扱い性に優れた資材である。乾燥汚泥の含水率は、利用側のニーズによって決定されるが、燃料としては、含水率20%以下が求められる。



(出典：JICA 調査団)

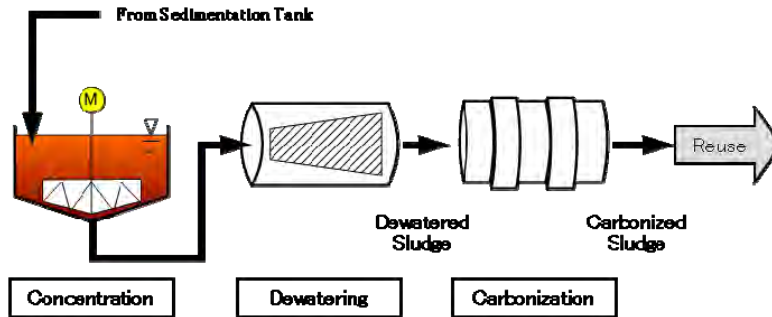
図-B2.2.2 Alternative-2 濃縮－脱水－機械乾燥－利用（汚泥燃料）

③Alternative-3：濃縮－脱水－炭化－利用（汚泥燃料）

脱水汚泥を炭化し、燃料として利用するものである。

燃料としての利用を前提とした炭化処理では、炭化汚泥の発熱量を維持するために、低温（200～300℃）または中温（400～500℃）での炭化処理を行う。炭化工程で発生する乾留ガスを利用可能であるが、機械乾燥に比べ、イニシャルコスト、ランニングコストの点で不利となる。

製造された炭化汚泥は、若干の臭気が残るものの、含水率が数%となり、石炭の代替燃料として、取扱い性に優れた資材である。



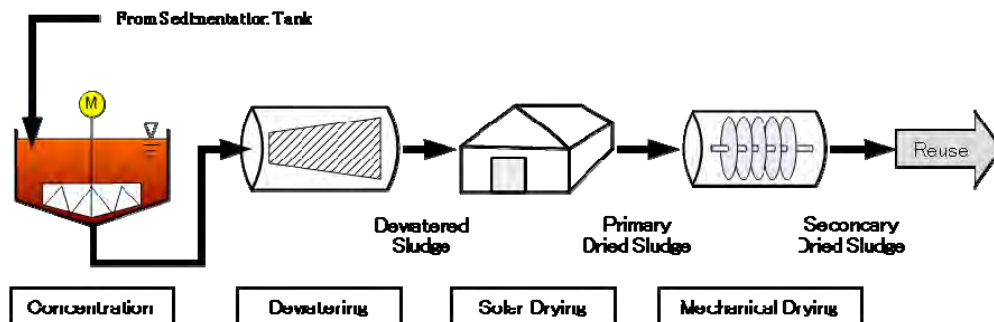
(出典：JICA 調査団)

図-B2.2.3 Alternative-3 濃縮－脱水－炭化－利用（汚泥燃料）

④Alternative-4：濃縮－脱水－天日乾燥－機械乾燥－利用（汚泥燃料）

脱水汚泥をまず天日乾燥し、自然エネルギーにより可能な限り汚泥含水率を減少させ、その後、機械乾燥により燃料として利用するものである。汚泥含水率は天日乾燥による一次乾燥により 60%程度に、機械乾燥設備による二次乾燥により 10%程度まで減少させる。機械乾燥のみの施設と比較して必要なエネルギー量を減じることが可能となるが、天日乾燥のための広大な面積が必要となる。

乾燥汚泥の性状は、機械乾燥のみの施設と同様である。



(出典：JICA 調査団)

図-B2.2.4 Alternative-4 濃縮－脱水－天日乾燥－機械乾燥－利用（汚泥燃料）

以下に、汚泥乾燥設備と汚泥炭化設備の概略フローを示す。

汚泥炭化設備は、汚泥乾燥設備に炭化炉が組み合わされたフローとなる。

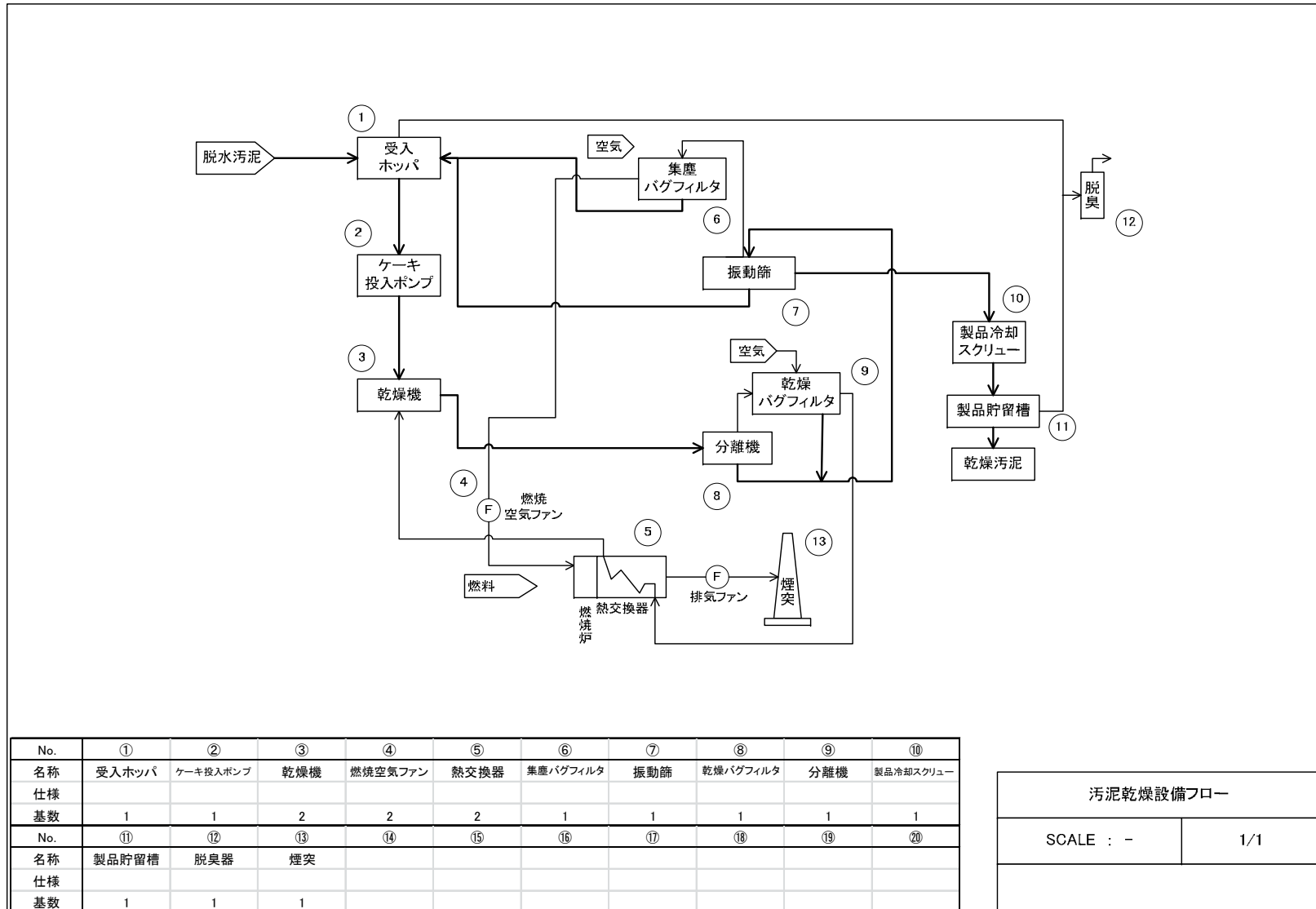


図-B2.2.5 汚泥乾燥設備の概略フロー (出典: JICA 調査団)

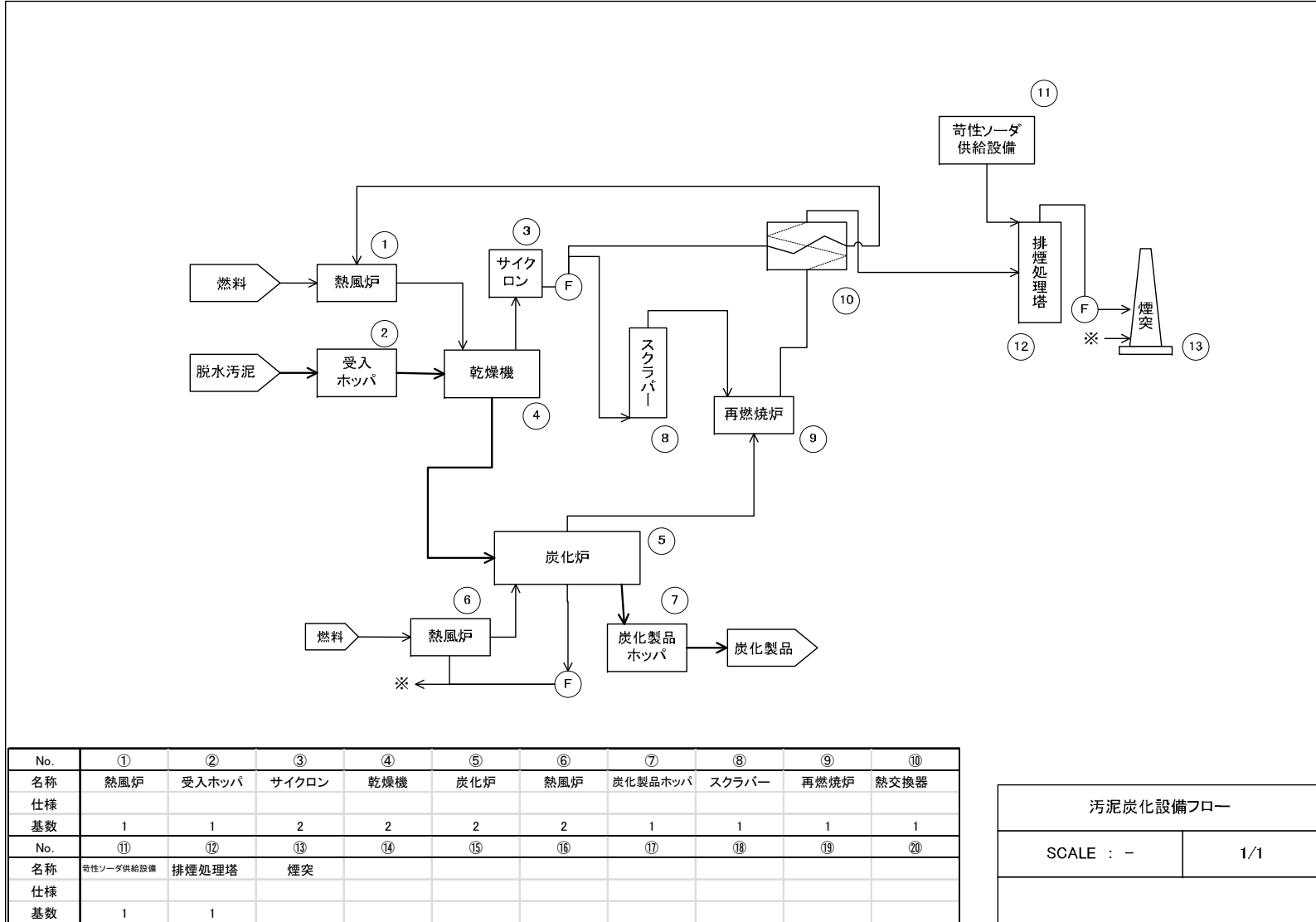


図-B2.2.6 汚泥炭化設備の概略フロー (出典: JICA 調査団)

(2) 汚泥乾燥・炭化設備の処理プロセス

下水汚泥から炭化汚泥を製造するプロセスについて説明する。

炭化汚泥は、下水汚泥を炭化炉にて無酸素状態で熱分解し、カーボンと無機質の炭化状態にしたものである。また、酸素のない状態で加熱すると、炭化温度ごとに汚泥中から分離されるガスを放出する。以下に炭化温度による放出ガス成分を整理した。

表-B2.2.4 汚泥処理プロセスの評価

温度	汚泥から分離する気体成分
100℃以下	水分蒸発
200℃以下	汚泥中の吸着ガス
300℃以下	汚泥中の硫黄有機化合物からの硫化水素の発生
500℃以下	窒素化合物からのアンモニアの発生
800℃以下	燃料として有効なメタンガスやエチレンガスの発生

(出典：JICA 調査団)

このように各設定温度帯で炭化汚泥の性質が変わる。最終生成物と温度帯によって性質が変わるため、炭化炉の運転操作も変わってくる。最終生成物の目的が燃料化であれば、低温で運転することにより固定炭素を残すことができるため、燃料としての価値が高くなる。しかし、多孔質で活性炭に近い性質が失われることとなり、臭気が残る。このため、緑化事業には不利となる。一方、高温で運転すると有効ガスが発生し、自身の炭化炉のエネルギーとなるため外部から投入する燃料は少なく済み、臭気強度は低温で運転するよりも少なくなる。しかし一方で、燃料としての価値は低くなる。

(3) 下水汚泥固形燃料化システムの基本構成

概略フローに示したように、プラントの構成は、脱水系、貯留系、乾燥系、炭化炉系、排ガス処理系、熱回収系から成る。各単位プロセスの留意点を整理した。

①脱水機系

脱水機は、水処理システムと炭化炉システムの間際に位置する重要なプロセスである。その性能目的は、低含水率の達成である。しかし、高分子凝集剤と無機凝集剤を使用する脱水機は、固形物を増やす点から、燃料化システムにおいて不利となる。

脱水機の選定は、運転消費エネルギーが少ないことと、主要機器がベトナム国で十分に修繕ができる機種とすることが重要である。

これらから、現在主流の汚泥脱水方式のうち、高効率のスクリープレス脱水機が最適である。

②貯留系

汚泥性状の変質を防止するため、通常、汚泥貯留施設は設けるべきではない。これは、汚泥中の水分や有機質の変化が、後に続くプロセスに影響を及ぼすためである。広域汚泥処理では、複数の下水処理場から、処理状況の異なる汚泥が集約されるため、性状の変動が大きいことが想定される。これらは、実際に運転を通じて変動幅を少なくするデータを集めることが必要である。

容量の設定は、燃料化プロセスの主要機器である乾燥炉または炭化炉の定期点検期間から設定する。

汚泥炭化システムを採用する場合は、最終製品である炭化汚泥の貯留には、特に注意が必要である。長期間のケースでは、炭化物の蓄熱反応から火災の心配があり、シャワー機能等の対策施設が必要となる。

③乾燥系

乾燥機の役割は、脱水汚泥含水率を所定の含水率まで低下させることである。脱水汚泥中の水分を蒸発させるために使用される燃料の消費量が大きく制御性が劣ものの、投入汚泥量と含水率の変動がなければ、運転しやすい機器である。

乾燥汚泥含水率は20～40%の範囲が一般的であるが、20%以下の含水率も可能である。

乾燥機の種類では、外熱式と内熱式に分類できる。コストや熱効率面から選択すると内熱式の乾燥機が一般的な設備として採用される。

汚泥炭化システムにおける乾燥機の役割は、炭化炉に投入する脱水ケーキ含水率を低水分にすることである。連続式炭化炉では、乾燥汚泥の炭化炉投入時のシール性が必要となるため、設備上の工夫が必要となる。

市場のニーズによっては、下水汚泥固形燃料の粒径を揃えるために、造粒乾燥機の採用も可能である。

④炭化炉系

炭化炉の構造は、大多数が内部燃焼式レトルト炉である。空気の混入を防止するには、この構造が最適である。

生成される炭化物の性状は、炭化炉の運転温度帯で異なります。低温度帯では、炭化汚泥中に有機分が多く残り、発熱量を高く維持できるため燃料として使用される。高温度帯では、炭化汚泥の比表面積、細孔容積が大きくなり、土壌改良材、脱臭材のような資材として使用される。

炭化炉の運転において、最も留意すべき事項は、タールの発生である。タールは、高温度域ではガス状であるが、低温度域では凝縮して固形状になって付着するため、閉塞の原因となる。また、下水汚泥中に過度の塩素が含まれていると、特に、高温度領域でレトルト内部を熔融し、内部破断の原因となる。この場合、炭化システムの採用は不可能である。

炭化システムの採用には、実証実験を基に豊富なデータを保有している企業が有利となる。

⑤排ガス処理系と熱回収系

排ガス系に共通する特徴は、排ガス温度が高いことである。炭化システムにおいては、タールの固着を防止することと、ダイオキシン対策により、800 度以上の温度域を通過することが必要である。そのため、余剰熱エネルギーを回収することが求められる。この熱エネルギーは乾燥系に費やされる。

また、冬季の煙突からの水蒸気を抑えるために熱エネルギーが費やされる。ベトナム国では、エネルギー節約の観点から、必要ではない。

(4) ニーズ調査結果からの条件設定

B1.4.6 節に記載した下水汚泥のニーズ調査の結果より、下水汚泥の再利用先候補である電力会社、セメント会社、花卉園芸農家の潜在需要、汚泥製品に対する関心、意見、並びに再利用先としての当面の見込みを以下の表-B2.2.5 にまとめる。

表-B2.2.5 ニーズ調査結果及び再利用先としての見込み

	電力会社	セメント会社	花卉園芸農家
石炭または肥料の消費量	4,100t/day (1,500,000t/year)	1,050t/day (380,000t/year)	20t/day (7,000t/year)
潜在需要	410t/day (150,000t/year) (石炭の 10%を代替)	105t/day (38,000t/year) (石炭の 10%を代替)	32t/day (11,600t/year) (肥料の窒素分の 50%代替)
現状 & 関心	環境問題に高い関心がある。	中国の石炭需要が急増しているため、石炭の調達に苦労している。 このため、代替燃料に非常に高い関心がある。	肥料会社製造の土壌用肥料と花卉用肥料を購入して使用している。 生産性向上につながる資材には関心がある。
意見	下水汚泥を石炭の代替燃料として使用するの時期尚早である。 実用化には工業省管轄下での F/S が必要である。	汚泥製品が受け入れ可能な性状であれば、前向きに考える。 受け入れ可能な性状は、 含水率 10%以下 熱量 3,000kcal/kg 以上 排ガス基準をクリア	効果があれば使用してみたい。 農家の 1 人は現地圃場での施用試験実施に対して関心あり。
見込み	現時点では推奨できない (将来的には見込み有り)	現時点で最も安定した再利用先として推奨できる	受け入れ可能な性状であれば、代替の再利用先として推奨できる

(出典：JICA 調査団)

ニーズ調査の結果、現時点ではセメント会社が最も安定した再利用先として見込める。したがって、セメント会社の要望に合わせて、新設する汚泥処理施設（汚泥リサイクル施設）の条件を「生成物の含水率=10%以下」とする。

(5) 下水汚泥処処理プロセスの最終選定

上記の条件を踏まえ、Alternative-1～4 より下水汚泥処理プロセスを最終選定する。以下の表-B2.2.8 に比較選定表を示す。

表-B2.2.8 下水汚泥固形燃料生成プロセスの比較選定

方式 項目	Alternative-1 天日乾燥	Alternative-2 機械乾燥(熱風式)	Alternative-3 天日&機械乾燥の ハイブリッド式	Alternative-4 炭化
初期費 (million US\$)	16	101	64	117
22年間の運 営維持管理 費 (million US\$)	16	178	56	206
総額 (million US\$)	32	279	120	323
環境への 影響	省エネ型で、環境 への影響が最小	多量のエネルギー を消費する	省エネ型で、2)、 4)より環境への影 響が小さい	多量のエネルギー を消費する
必要面積	4.0ha	0.9ha	3.3ha	0.9ha
技術的課題	天日乾燥だけでは 含水率を10%以下 にできない。	特になし	特になし	特になし
評価	× 技術的に不可	△ 十分な面積が無い 場合、3)の代替案 として推奨でき る。	○ 最適方式として推 奨できる。	× 最も高価であり、 最もエネルギーを 消費するため、推 奨できない。

(出典：JICA 調査団)

以上より、提案する汚泥処理プロセスとして、天日乾燥+機械乾燥のハイブリッド式を選定する。

B2.3 下水汚泥処理・再利用施設の用地選定

B2.3.1 下水汚泥処理・再利用施設用地の候補地

下水汚泥処理施設の候補地として、次の3か所を抽出した。

- 1) Yen Xa 下水処理場
- 2) Yen So 浚渫土埋立地
- 3) Cau Dien 廃棄物コンポスト施設

候補地の位置及び特徴を、図-B2.3.1 及び表-B2.3.1 に示す。



(出典：JICA 調査団)

図-B2.3.1 下水汚泥処理・再利用施設候補地位置

表-B2.3.1 下水汚泥処理・再利用施設候補地概要

候補地	特徴
Yen Xa 下水処理場	Yen Xa WWTP 内の汚泥処理施設用地を拡張する。
Yen So 浚渫土砂埋立地	水路の浚渫土砂の埋立て処分地で、Red River の河川敷（堤外地）に位置する。 (約 3ha)
Cau Dien 廃棄物コンポスト施設	Cau Dien の廃棄物中間処理施設内のコンポスト化施設を活用する。(廃棄物処理施設として使用中)

(出典：JICA 調査団)

B2.3.2 用地選定の方法論

下水汚泥処理施設の用地選定は、天日乾燥+機械乾燥ハイブリッド方式の汚泥処理施設を整備することを前提に、3 候補地について用地確保の可能性、交通アクセス、周辺環境対策、将来の機能向上の容易性について比較検討した。

B2.3.3 施設用地に対する法規制

河川区域内に計画する Yen So 浚渫土砂埋立地に汚泥処理施設を整備する場合には、以

下の表-B.3.2 に示す環境保護法、水資源法、堤防法によって、住環境の環境悪化、下水汚泥の流出による水環境汚染、構造物設置による堤防への影響等について規制される。

環境保護法では、再利用可能な廃棄物は、普通固形廃棄物に規定される。

表-B. 3. 2 汚泥処理施設関連法規制

法令	概要
環境保護法 Law on Protection of the Environment	<p>Article 77 Classification of ordinary solid waste</p> <p><u>1. Ordinary solid waste shall be classified into the following main categories:</u></p> <p><u>(a) Recyclable or reusable waste;</u></p> <p>Article 79 Ordinary solid waste recycling and destruction establishments, ordinary solid waste burial sites</p> <p>1. Ordinary solid waste recycling and destruction establishments and ordinary solid waste burial sites must comply with the following requirements:</p> <p>(a) Comply with the approved planning on collection, recycling, destruction and burial of ordinary solid waste;</p> <p>(b) Be located at a distance from residential areas, surface water sources and places where such establishments could pollute groundwater sources;</p> <p>(c) Be designed, constructed and operate in order to treat waste thoroughly, economically and efficiently without causing environmental pollution;</p> <p>Article 81 Collection and treatment of waste water</p> <p>3. Mud discharged from waste water treatment systems must be managed in accordance with the regulations on management of solid waste.</p> <p>4. Waste water and mud containing hazardous elements must be managed in accordance with the regulations on management of hazardous waste.</p> <p>Article 86 Prevention of environmental incidents</p> <p>2. Prevention of environmental incidents caused by natural disaster shall cover:</p> <p>(c) Planning and constructing projects for prevention of incidents and mitigation of their consequences in places where environmental incidents are likely to occur.</p>
水資源法 The Law on Water Resource	<p>Article 5.- Protecting, exploiting and using water resource; preventing, combating and overcoming the harm caused by water</p> <p>Article 14.- Protection of the quality of the source of water for living</p> <p>2. It is forbidden to discharge waste water or to introduce pollution-generated substance into the sanitary protection zones of the living water providing areas.</p>
堤防法 Ordinance on Dikes	<p>Article 9.- The dyke protection limit shall cover dykes and adjacent areas that directly affect the safety of dykes.</p> <p>The determination of adjacent areas must be based on the dyke grade, technical characteristics of dyke constructions as well as the requirements of dyke protection and salvage.</p> <p>The Government shall stipulate adjacent areas of dykes.</p>

(出典：JICA 調査団)

B2.3.4 下水汚泥処理・再利用施設用地の選定

下水汚泥処理施設用地は、土地利用の現況、用地面積、交通の利便性、周辺環境対策の容易性、技術開発・汚泥量・汚泥利用等の将来のニーズに対する機能向上の可能性を判断材料として評価する。

これらの評価の結果、Yen So 浚渫土砂処分地は、天日乾燥施設を整備するのに十分な用地面積を有し、また住宅池から離れており、将来ともに住宅用途の規制を受けた位置にある。しかしながら、河川敷内にあるため、汚泥処理施設の浸水対策や下水汚泥・排水の流出に関する環境保護法、水資源法及び堤防法の規制を満足しなければならない。河川敷内にある住宅地と同様に十分な地盤高さにあることや浸水防止の擁壁を構築する、汚水を流出させない施設計画にすることで、EIA に適合する対策を実施することが重要である。

Yen Xa 下水処理場は、幹線道路に面した市街化が進展する土地であり、機械乾燥・炭化などの省面積型の施設を条件とした施設計画が可能である。

Cau Dien コンポスト施設は、URENCO によって、都市ごみ・し尿処理施設、分別・積み替え施設として利用されている。敷地面積が狭隘で、浸入道路が住宅・商業地にあり、大型トラックの通行に支障をきたすため、下水汚泥処理施設用地としての適性を有していない。

総合的な評価結果を、表-B2.3.3 に示す。比較検討の結果、採用技術の信頼性、コスト、環境対策に優れた Yen So 浚渫土砂埋立地を提案する。



(出典：JICA 調査団)

図-B2.3.2 Yen So 浚渫土砂埋立地付近状況

表-B2.3.3 下水汚泥処理・再利用用地の比較

候補地	Yen So 浚渫土砂埋立地	Cau Dien 廃棄物コンポスト施設	Yen Xa 下水処理場
汚泥処理プロセス	天日乾燥 & 機械乾燥	天日乾燥 & 機械乾燥	機械乾燥
現在の土地利用	空き地及び埋立地	ハノイ市内の廃棄物コンポスト施設 & 固形ゴミ集積場	下水処理場計画地
面積	天日乾燥及び機械乾燥・炭化施設を整備可能	デモプラントを整備する程度のスペースしか無い	機械乾燥・炭化施設の設置スペースはあるが、天日乾燥施設は設置不可
交通アクセス	良好	付近の道路が狭隘のため、10 トントラックはアクセスできない	良好
周辺環境への影響	住宅地より 500m 程度離れているため問題無い	住宅地と近接しており、影響が大きい	現時点では住宅地離れているが、将来付近が開発される見込みである
将来性	将来の改築や施設増加が比較的容易である	将来の改築や施設増加は可能	空きスペースが殆ど無いため、将来の改築や施設増加は容易ではない
評価	環境保護法をクリアできれば最も推奨できる ○	推奨できない ×	処理プロセスは限定されるが、代替案として推奨可能 △

(出典：JICA 調査団)

B2.4 民間担当事業の範囲の設定

A2.1 節に記載したように、ハノイ市の 8 下水処理場から発生する日平均汚泥量（脱水汚泥）は 280t/日であり、将来的に広域汚泥処理の構想を実現するためにはこの全汚泥量に対応した汚泥リサイクル施設が必要となる。しかし下記の理由から、民間資金を活用して進める汚泥リサイクル事業で受け入れ処理すべき汚泥は、当面は一部の範囲に限定して進めることが必要である。

- ハノイ市では下水汚泥をリサイクルするという概念はこれまで存在しなかったことから、汚泥リサイクルは全く新しい事業であり、汚泥の性状・再生製品の品質・製品受け入れ先等の条件が現時点で不透明であるため。
- 8 下水処理場への流入汚水量が計画量に達する時期はかなり先であるため。
- 現在、下水処理場への流入下水濃度が低く、分流式下水道並みとなるのはかなり先と予測できるため。

前述の B2.1.2 節において、2011 年以降のハノイ市の下水汚泥発生量を予測したが、このうち民間資金を活用して進める事業は、エンサ下水処理場稼働開始時期の下水汚泥発生量をターゲットとして事業範囲を設定する。

以上より、当該民間担当事業で整備する汚泥処理・利用施設の処理対象脱水汚泥量は、日平均脱水汚泥量＝185t/日とする。なお、この汚泥量は 8 下水処理場全ての流入汚水量が計画量に達する時点の汚泥量＝277t/日の 2/3 に相当するものである。

B2.5 汚泥処理施設の概略設計

以下では、当該事業において整備する汚泥処理・利用施設（以下、「エンソ汚泥資源化センター」とする）の概略設計を行う。

B2.5.1 天日乾燥床の概略設計

(1) 設計条件

日最大汚泥処理量＝185 t/日

脱水汚泥含水率＝82%

一次乾燥汚泥含水率＝60%（天日乾燥床における乾燥汚泥含水率）

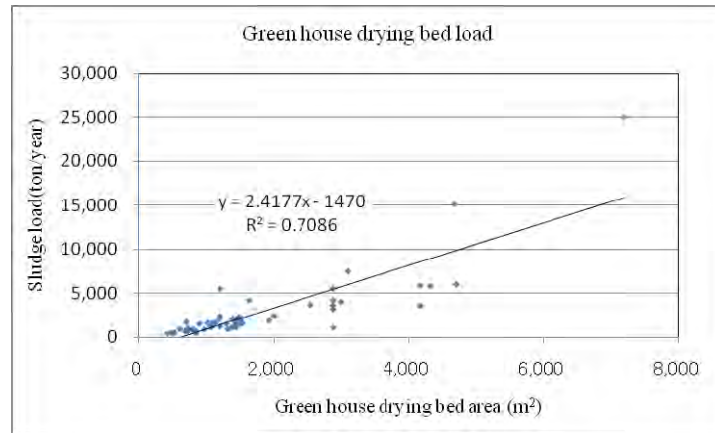
(2) 単位面積負荷

単位面積当たりの処理量は、EU 及び南アフリカの事例をもとに 6.2t/m²/year を採用する。

(3) 施設規模、容量計算

EU およびトルコ、オーストラリア等で採用されている温室は、乾燥効果を上げるために

温室と攪拌機と組み合わせた Paved Drying Bed と呼ばれる舗装スラブの汚泥乾燥床が普及している。EU および南アフリカにおける実績値を参考に、汚泥乾燥床の設計諸元（必要面積）を統計的に求める。



(出典：JICA 調査団)

天日乾燥施設において敷き均す汚泥深さ=400mm 程度とする。

天日乾燥施設の汚泥乾燥日数=約 25 日とする。

必要な天日乾燥床面積=185 t/day × 365days / 6.2t/m²/year=10,868m² (≒7 @ 12m×130m)

したがって、天日乾燥施設は 1 棟当り 12m×130m の施設を 7 棟設置する。



(出典：JICA 調査団)

図-B2.5.1 天日乾燥施設事例

(4) 天日乾燥施設の運転計画

天日乾燥における汚泥乾燥効率は気象変化の影響を受けるものである。ハノイ市の雨季（冬季）には湿度が高く、日照時間が短いため乾燥効率が低下する。一方、乾季（夏季）には日照時間が長いため、雨季よりも乾燥効率が高くなる。

ハノイ市では下水汚泥の天日乾燥の実績はなく、また天日乾燥を実践している他国の都市と気候が異なるため、前述の設計計算に用いた処理効率はいくまで想定である。今回提案している天日乾燥施設の季節的な運転方法については、実際に施設を稼働させていく中で、乾燥の日変化や汚泥の投入厚による乾燥効率を掴んでいくことが必要である。

(5) 設備リスト

以下の表-B2.5.1に当事業で提案する天日乾燥施設の設備リストを、表-B2.5.2に仕様を示す。

表-B2.5.1 天日乾燥施設の設備リスト

設備	仕様	数量	備考
Solar Green House	幅 12m×長 130m×高 5m	7棟	
換気装置（排風機）		20台	2台/ハウス
ホイールローダー	汚泥敷均し、攪拌、運搬用	2台	
トラックスケール	脱水汚泥搬入量計測用	1台	

(出典：JICA 調査団)

表-B2.5.2 天日乾燥施設の仕様

仕様 鉄骨造・アクリル樹脂板（耐候性） 換気設備（5基/棟）、照明 作業員休憩所・機材倉庫 汚水処理施設	備品類 攪拌用トラクター、小型トラック コンベヤー、フォークリフト 計量器
全景 	全景 
出入口 	屋内換気設備 

(出典：JICA 調査団)

B2.5.2 機械乾燥施設の概略設計**(1) 設計条件**

日最大汚泥処理量=83.25 t/日

脱水汚泥含水率=82%

投入汚泥含水率=60% (天日乾燥床による一次乾燥の含水率)

乾燥汚泥含水率=10%以下 (汚泥燃料を想定した含水率)

(2) 適用基準

設備容量については、日本の標準設計基準に準じる。

(3) 乾燥方式

従来型である熱風式乾燥機ではなく、低温で燃料の不要なヒートポンプ式乾燥機とする。

(4) 施設規模、容量計算

必要施設規模について、容量計算を以下に示す。

項目	設計計算
<ul style="list-style-type: none"> ● 設計条件 汚泥発生量 	脱水汚泥 83.25 t/day 含水率 60% (Solar dried sludge) 固形物量 33.3 ds-t/day
<ul style="list-style-type: none"> ● 汚泥機械乾燥 乾燥方法 汚泥投入量 固形物投入量 乾燥汚泥含水率 運転日数 運転時間 乾燥汚泥生成量 日当り水分蒸発量 時間当り水分蒸発量 設備容量計算 ベルト単位面積当りの水分蒸発量 必要ベルト面積 	直接乾燥 (ロータリー乾燥機) 83.25 wet-t/day 33.3 ds-t/day 10% 365 days/year 24hrs $33.3 * 100 / (100 - 10) = 37.0$ t/day $83.25 - 37.0 = 46.25$ t/day $46.25 / 24 = 1.93$ t/hr 58 kg-water/m ² ·d ~ 89 kg-water/m ² ·d 1.93 t/hr / $(89$ kg/m ² ·d / 1000 / 24) = 520 m ² 1 line = 210 m ² 520 m ² / 210 m ² /line = 2.5 lines

ヒートポンプ乾燥機数	<p>⇒3 系列必要 予備 = 1 系列 合計 = 4 系列</p> <p>最も非効率の場合を想定 (運転効率は粘性等汚泥の状態によるため) $1.93 \text{ t/hr} / (58 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d} / 1000 / 24) = 799 \text{ m}^2$ $799 \text{ m}^2 / 210 \text{ m}^2/\text{系列} = 3.8 \text{ 系列} (4 \text{ 系列})$ ⇒OK 汚泥の状態から運転効率が悪い場合には、4 系列全てを稼働させる。</p>
● 結果 ヒートポンプ乾燥機数 運転時間	<p>通常 3 系列 1 系列を予備とする 3 系列: 24 hr/d×365 d/y (乾燥機は周波数インバータにより管理)</p>

(出典：JICA 調査団)

(5) 設備リスト

以下の表-B2.5.3 に当事業で提案する機械乾燥施設の設備リストを示す。

表-B2.5.3 機械乾燥施設の設備リスト

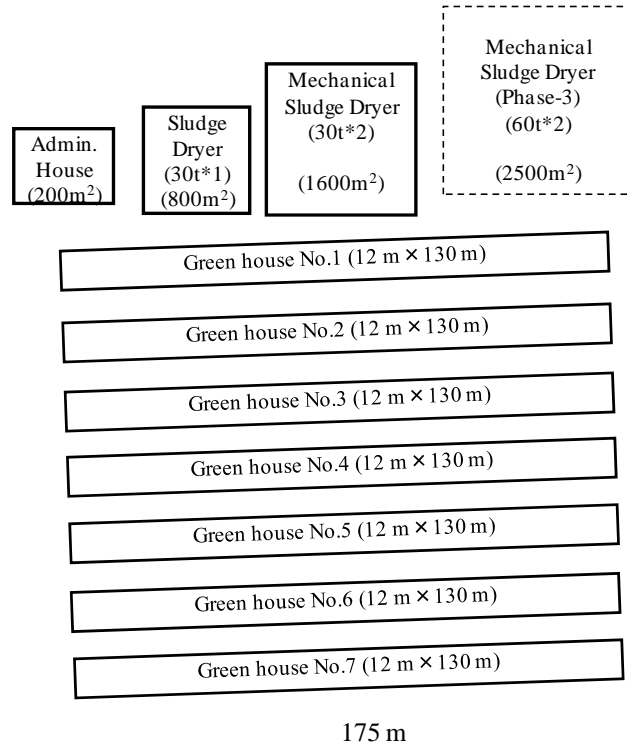
No.	名 称	仕 様	基数
1	汚泥受入ホッパ		2
2	汚泥搬送コンベア	フライトコンベア、汚泥受入ホッパ → 乾燥機投入口まで	4
3	ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機	ヒートポンプ式、汚泥処理量 30t/d	4
4	乾燥汚泥搬送コンベア 1	スクリュコンベア、乾燥機出口 → 乾燥汚泥搬送コンベア 2 まで	4
5	乾燥汚泥搬送コンベア 2	フライトコンベア、乾燥汚泥搬送コンベア 1 → 乾燥汚泥搬送コンベア 3 まで	1
6	乾燥汚泥搬送コンベア 3	スクリュコンベア、乾燥汚泥貯留ホッパ に振り分け	1
7	乾燥汚泥貯留ホッパ		2
8	脱臭ファン	風量 30m ³ /min	1
9	活性炭吸着塔	風量 30m ³ /min	1
10	排水ポンプ	容量 1.7m ³ /min	2
11	給水ポンプ	容量 1.6m ³ /min	2

(出典：JICA 調査団)

B2.5.3 施設の配置計画

エンソ汚泥資源化センターの概略平面配置を以下に示す。

Yen So Sludge Recycle Center



(出典：JICA 調査団)

図-B2.5.2 Sludge Recycle Center 配置計画図

また、次頁以降に汚泥資源化センターの全体配置図、天日乾燥施設の概略構造図、機械乾燥施設の処理フロー図を示す。

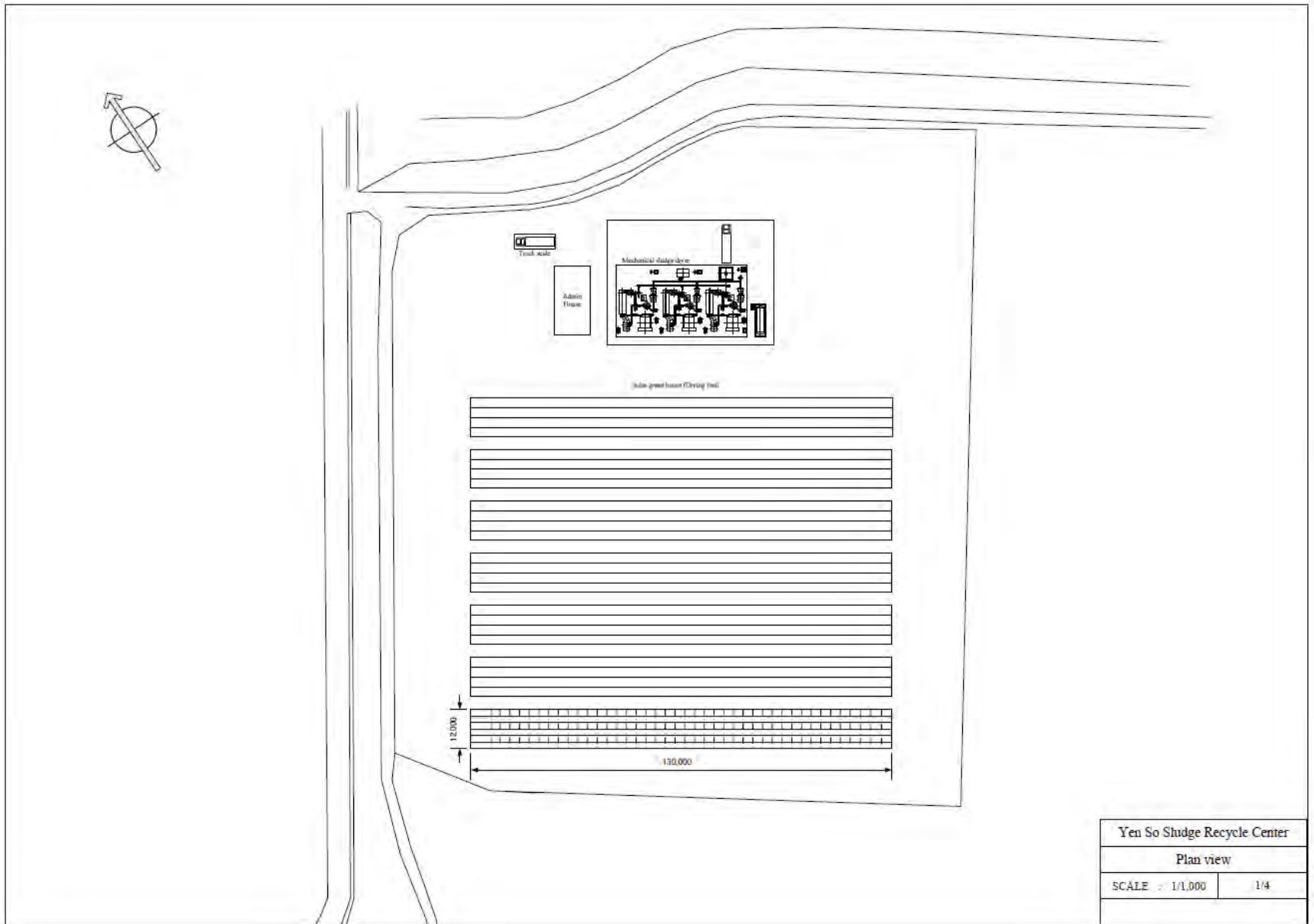


図-B2.5.3 汚泥資源化センター平面配置図 (出典：JICA 調査団)

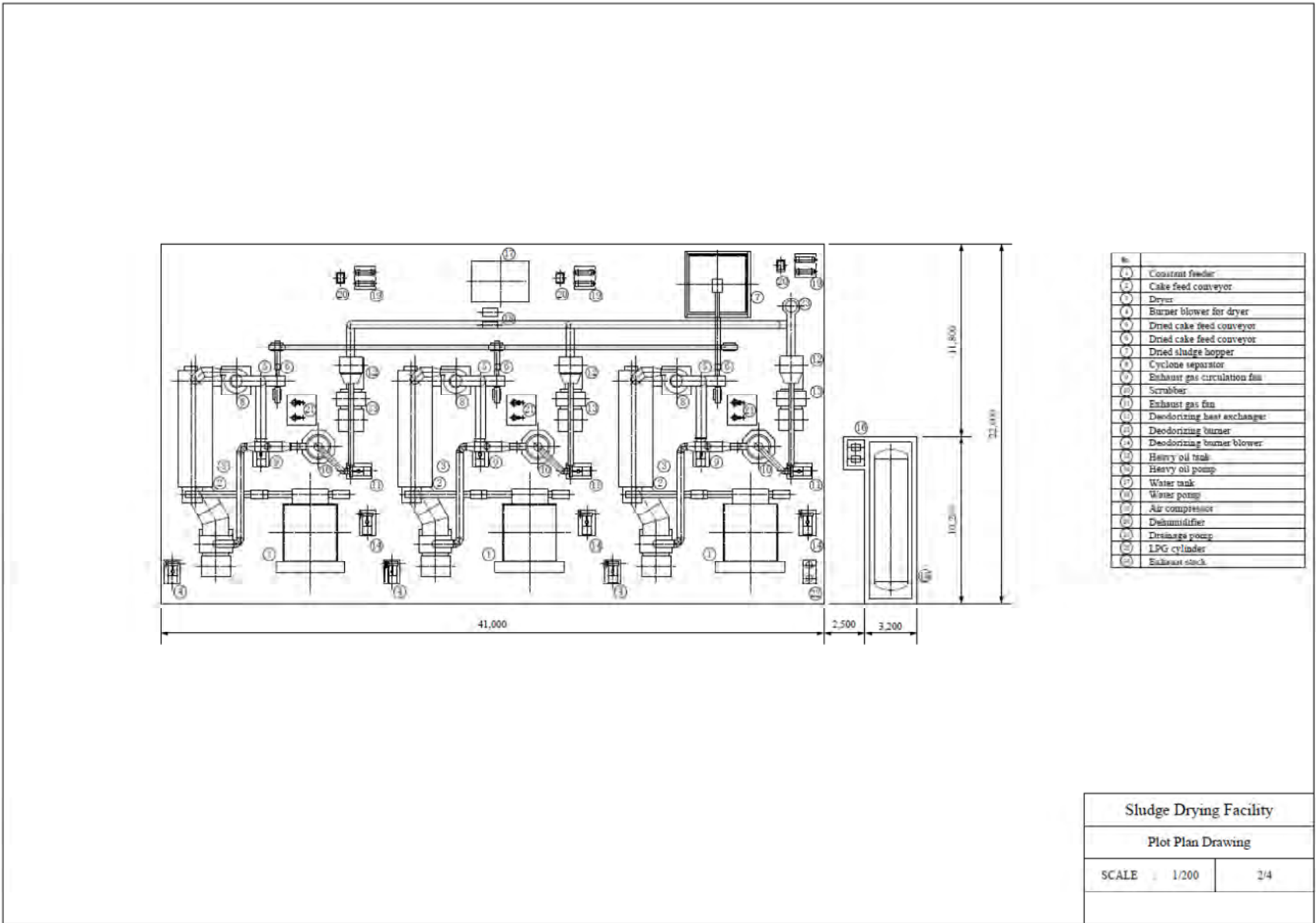


图-B2.5.4 機械設備配置图 (出典: JICA 調査団)

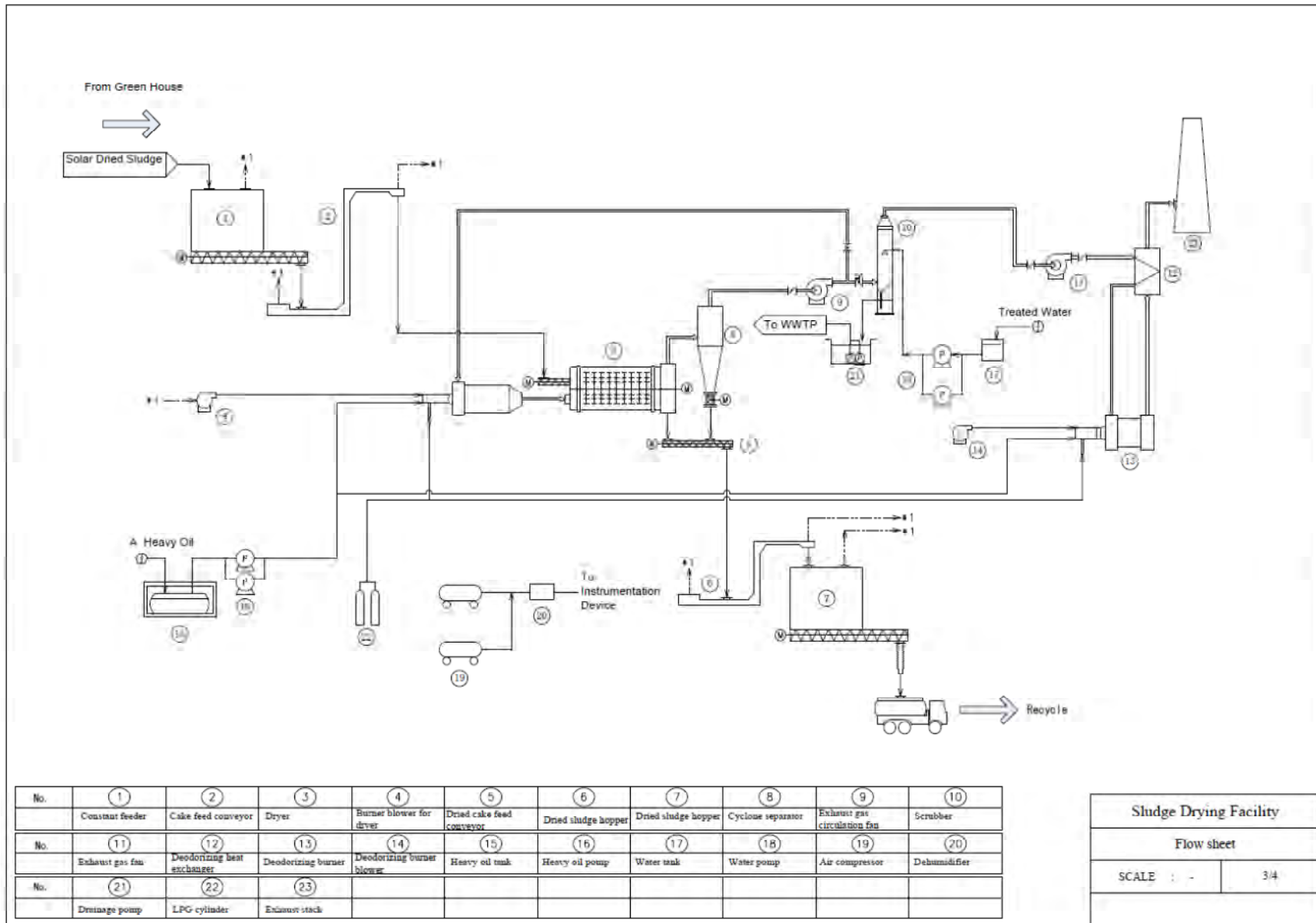


図-B2.5.5 処理フロー図 (出典：JICA 調査団)

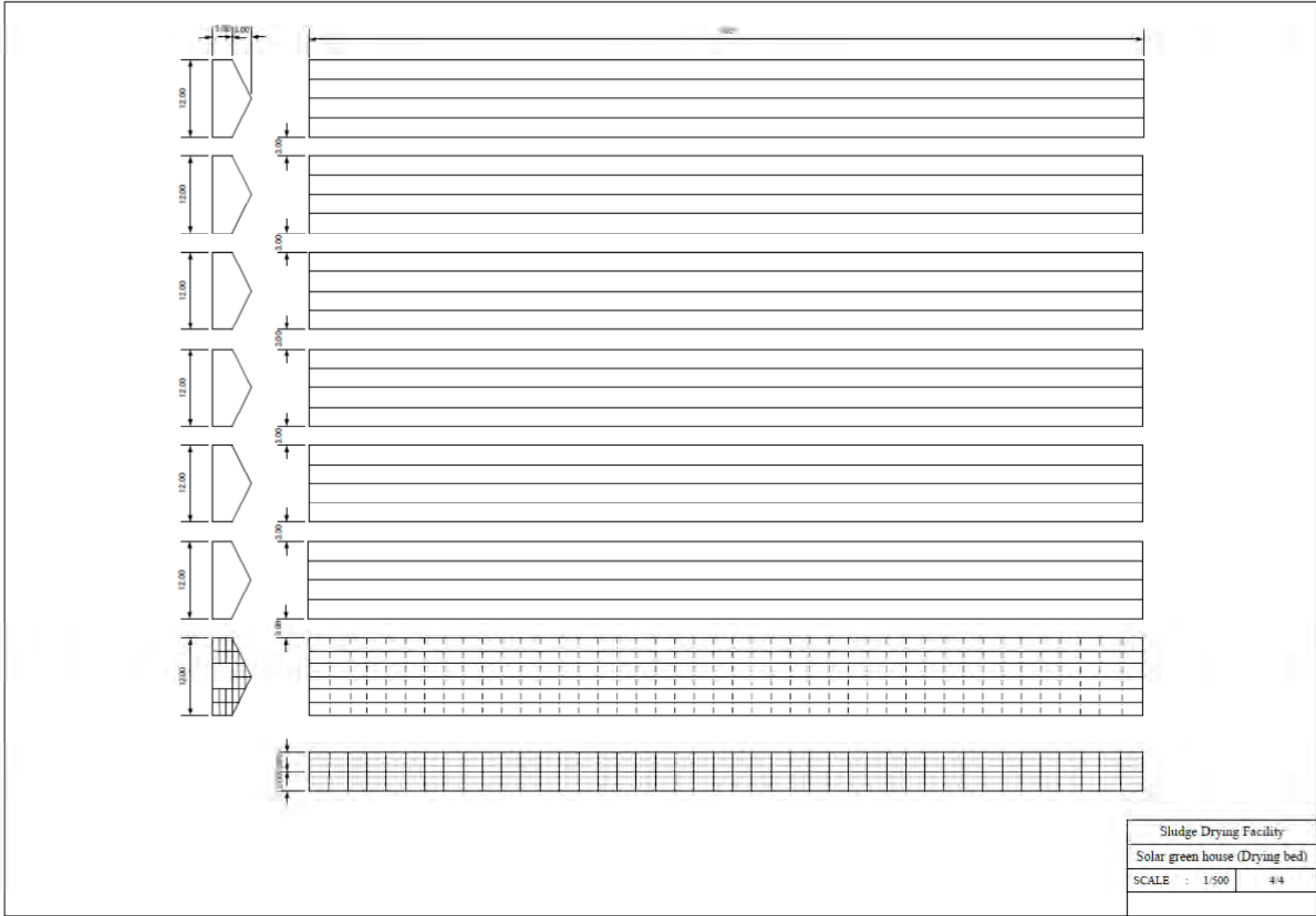


図-B2.5.6 天日乾燥施設平面図 (出典：JICA 調査団)

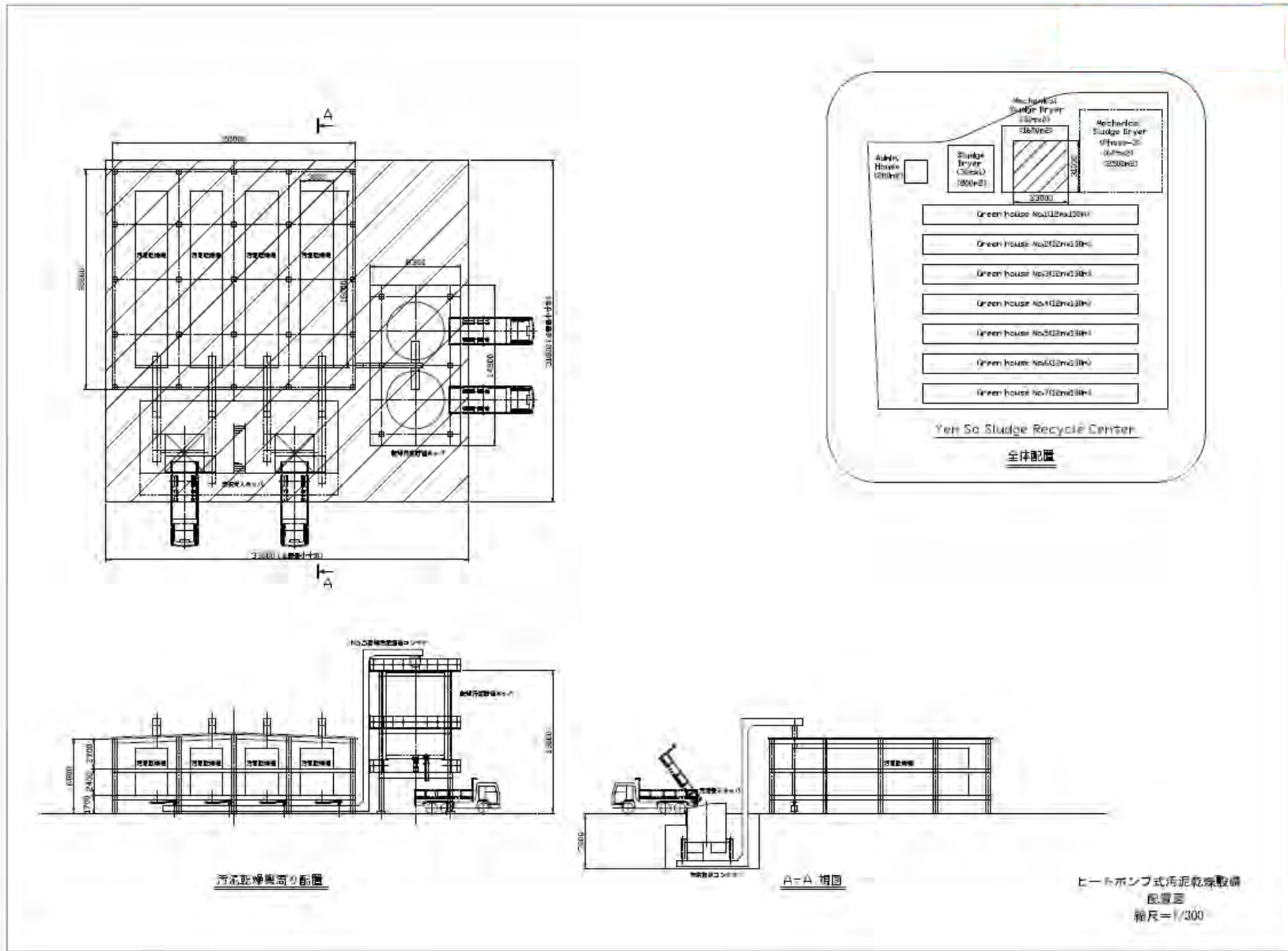


図-B2.5.7 汚泥乾燥機配置図 (ヒートポンプ式) (出典: JICA 調査団)

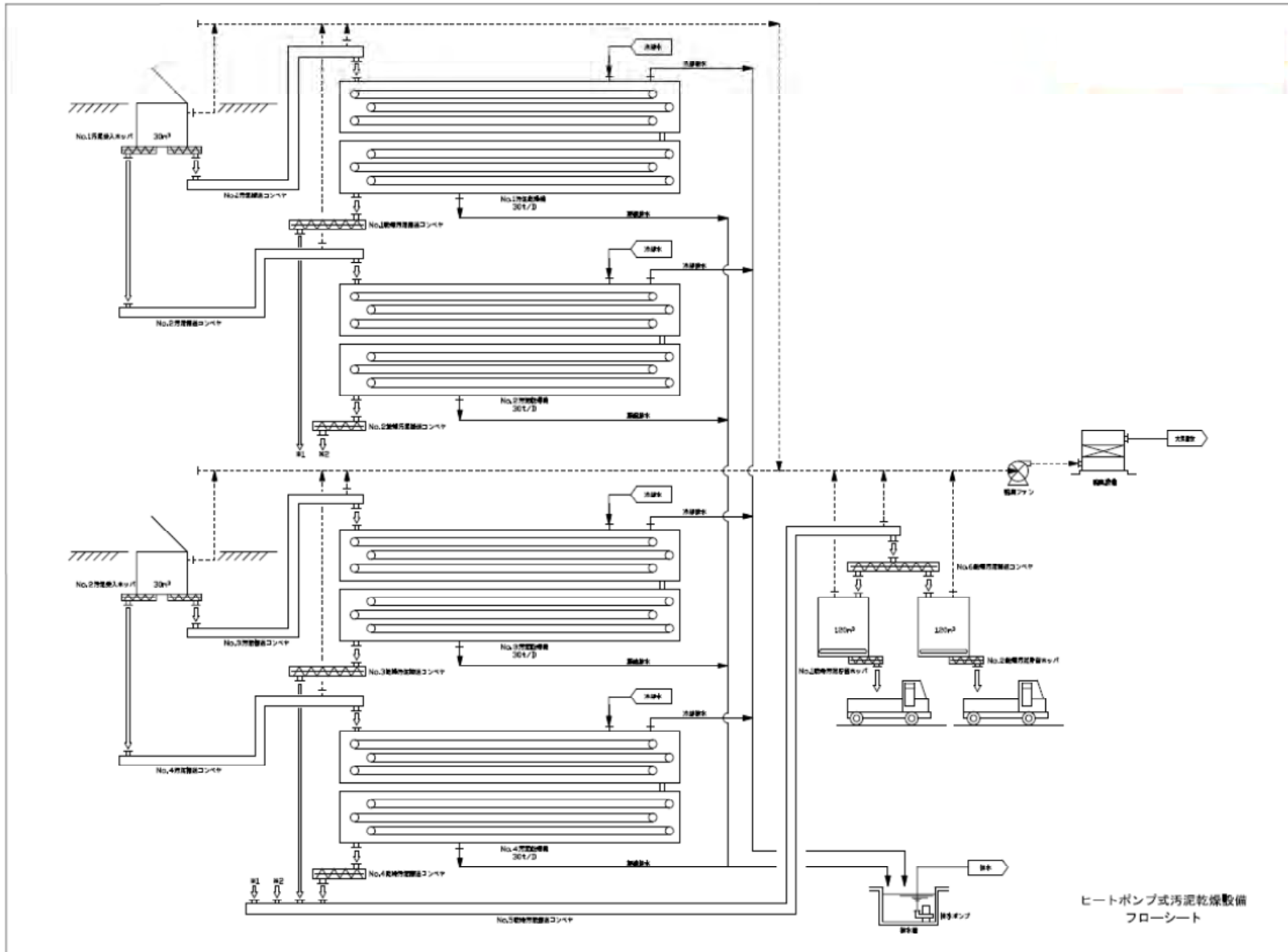


図-B2.5.8 汚泥乾燥機フローシート（ヒートポンプ式）

（出典：JICA 調査団）

B2.6 事業費の算定

B2.3 節において検討した概略施設計画をもとに、エンソ汚泥資源化センターの建設費及び運営維持管理費を以下に整理する。

B2.6.1 初期費用**(1) 建設費**

以下の表-B2.6.1 にエンソ汚泥資源化センターの整備項目リストを示す。

表-B2.6.1 エンソ汚泥資源化センター整備項目リスト

Item	Unit	Quantity
1. Solar Green House		
(1) Civil Works		
1) Green House (12m x 130m x 7unit)	m ²	10,920
2) Concrete Foundation (Including Form Work and Reinforcement Work)	L.S.	1
(2) Electrical and Mechanical Works		
1) Wheel Loader	nos	3
2. Thermal Sludge Dryer		
(1) Electrical and Mechanical Works		
1) Drying Facilities (Capacity = 30t) (Heat Pump Style)	Unit	4
2) Wastewater Treatment Facilities	L.S.	1
(2) Civil Works		
1) House for Drying Facilities	L.S.	1
3. General Structures		
(1) Civil Works		
1) Land Preparation (Including Stripping of top soil, Embankment by imported sandy material and Disposal)	m ²	32,400
2) Concrete Foundation for Administration House (Including Form Work and Reinforcement Work)	m ³	100
3) Concrete for Retaining Wall (Including Form Work and Reinforcement Work)	L.S.	1
4) Road (Asphalt Pavement)	m ²	18,080
5) Fence	m	720
6) Gate	nos	1
7) Administration House	m ²	100
8) Storage	m ²	100
9) Track Scale	nos	1
10) Firefighting Station	L.S.	1
11) General Utilities (Including Electric Supply, Water Supply and Drainage Structure)	L.S.	1

(出典：JICA 調査団)

上記リストに基づき算出した汚泥処理施設の建設費を表-B2.6.2 示す。なお、各項目の出典は以下の通りである。

- 「Japanese Standard」：日本の標準的な価格を基に算出したもの。
- 「Japanese mfr.」：日本メーカーの積算価格
- 「Code No. 」：既存 F/S において使用したベトナム国の 2008 年標準単価に物価上昇

を考慮し、2011年単価へ修正したもの。

表-B2.6.2 汚泥処理施設建設費積算表

Item	Unit	Quantity	Unit Price (US\$)	Cost (US\$)	Remarks
1. Solar Green House					
(1) Civil Works					
1) Green House (12m x 130m x 7unit)	m ²	10,920	481	5,252,520	Japanese Standard
2) Concrete Foundation	m ³	5,460	72	393,120	Code No.6111
3) Form Work for Foundation	m ²	994	4.8	4,771	Code No.6311
4) Reinforcement Work for Foundation	t	51	1,683	85,833	Code No.6411
(2) Electrical and Mechanical Works					
1) Wheel Loader	nos	3	120,000	360,000	Japanese Standard
(3) Others					
	L.S.	1	609,624	609,624	10% of (1)+(2)
Sub-Total				6,705,868	
				6,706,000	round to nearest 1,000
2. Thermal Sludge Dryer					
(1) Electrical and Mechanical Works					
1) Drying Facilities (Capacity = 120t) (Heat Pump Style)	L.S.	1	21,528,000	21,528,000	Japanese mfr.
2) Wastewater Treatment Facilities	L.S.	1	1,251,000	1,251,000	Japanese mfr.
(2) Civil Works					
1) House for Drying Facilities	L.S.	1	2,839,000	2,839,000	Japanese mfr.
Sub-Total				25,618,000	
				25,618,000	round to nearest 1,000
3. General Structures					
(1) Civil Works					
1) Land Preparation					
i) General Clearance	m ²	32,400	1.5	48,600	Code No.1211
ii) Stripping of top soil	m ³	16,200	1.2	19,440	Code No.2101
iii) Stripping of top soil(Spoiled material)	m ³	4,860	0.5	2,430	Code No.2101 -1
iv) Embankment by imported sandy material	m ³	81,000	5.1	413,100	Code No.2102
v) Disposal	m ³	21,060	2.5	52,650	Code No.2105
2) Concrete Foundation for Administration House	m ³	100	72	7,200	Code No.6111
3) Form Work for Foundation	m ²	40	4.8	192	Code No.6311
4) Reinforcement Work for Foundation	t	0.5	1,683	842	Code No.6411
5) Concrete for Retaining Wall	m ³	54	84	4,536	Code No.6121
6) Form Work for Wall	m ²	40	6.1	244	Code No.6321
7) Reinforcement Work for Wall	t	1.2	1,697	2,036	Code No.6421
8) Road (Asphalt Pavement)	m ²	18,080	26	470,080	Code No.7120
9) Fence	m	720	109	78,480	Code No.7321
10) Gate	nos	1	8,558	8,558	Code No.7311
11) Administration House	m ²	100	1,203	120,300	Japanese Standard
12) Storage	m ²	100	601	60,100	Japanese Standard
13) Track Scale	nos	1	60,132	60,132	Japanese Standard
14) Firefighting Station	L.S.	1	120,300	120,300	Japanese Standard
15) General Utilities	L.S.	1	293,844	293,844	20% of 1) - 13)
16) Miscellaneous work	L.S.	1	352,613	352,613	20% of 1) - 14)
Sub-Total				2,115,677	
				2,116,000	round to nearest 1,000
Grand-Total				34,440,000	

(出典：JICA 調査団)

(2) 総初期費用

初期費用として建設費の他に、エンジニアリングサービス費及び税金（VAT）を計上する必要がある。それぞれの算定条件を以下に示す。

- エンジニアリングサービス費は建設費の10%を計上した。
- 税金（VAT）は建設費+エンジニアリングサービス費の10%を計上した。

総初期費用算定結果を以下の表-B2.6.3に示す。

表-B2.6.3 エンソ汚泥資源化センター総初期費用

項目	コスト (1,000US\$)	備考
(1) 建設費		
1) 天日乾燥施設	6,706	
2) 機械乾燥施設	25,618	
3) 一般土木構造物	2,116	
小計	34,440	
(2) エンジニアリングサービス費	3,444	10% of (1)
(3) 税金 (VAT)	3,788	10% of ((1)+(2))
Total	41,672	

(出典：JICA 調査団)

B2.6.2 運営・維持管理費

エンソ汚泥資源化センターの運営・維持管理期間は2016～2037年の22年間とする。当センターの運営・維持管理に関する業務は以下の2点に分類される。

- 8 下水処理場より脱水汚泥を受け取り、天日乾燥施設及び機械乾燥施設により乾燥汚泥を製造し、エンドユーザへ供給する。
- センター内の全施設の維持管理（修繕・更新を含む）を行う。

運営・維持管理費を構成する項目を以下の表-B2.6.4に示す。

表-B2.6.4 エンソ汚泥資源化センター運営・維持管理費の構成項目

No.	項目	細目
1	人件費	
2	ユーティリティ費	電力費、燃料費、消耗品費
3	法定点検、汚泥分析費	
4	主要修繕費	
5	敷地内清掃、維持管理費	
6	その他経費	小規模修繕、レンタカー費、電話代、ビジネス用品レンタル費、オフィス代、その他（水道代等）
7	保険	
8	予備費	
9	更新費	

(出典：JICA 調査団)

各項目の内訳を以下に示す。

1) 人件費

No.	業務種類	職 種	人員 (人)	年間単位人件費		年間人件費小計		備 考
				VND	US\$	VND	US\$	
1	所 長		1	376,992,000	18,000	376,992,000	18,000	1,500 \$/月×12ヶ月
2	庶 務	マネジャー	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400	700 \$/月×12ヶ月
		小 計	1			175,929,600	8,400	
3	天日乾燥施設	マネジャー	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400	700 \$/月×12ヶ月
		日常点検	2	75,398,400	3,600	150,796,800	7,200	300 \$/月×12ヶ月
		小 計	3			326,726,400	15,600	
4	機械乾燥施設	マネジャー	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400	700 \$/月×12ヶ月
		運転	8	75,398,400	3,600	603,187,200	28,800	300 \$/月×12ヶ月
		日常点検	3	75,398,400	3,600	226,195,200	10,800	300 \$/月×12ヶ月
		小 計	12			1,005,312,000	48,000	
5	補修点検	マネジャー	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400	700 \$/月×12ヶ月
		天日乾燥施設	0	75,398,400	3,600	0	0	300 \$/月×12ヶ月
		機械乾燥施設	1	75,398,400	3,600	75,398,400	3,600	300 \$/月×12ヶ月
		小 計	2			251,328,000	12,000	
6	警備業務	マネジャー	0	175,929,600	8,400	0	0	500 \$/月×12ヶ月
		警備	4	75,398,400	3,600	301,593,600	14,400	300 \$/月×12ヶ月
		小 計	4			301,593,600	14,400	
合 計			23			2,437,881,600	116,400	

(出典：JICA 調査団)

2) 電力費

Cost by category	Unit cost, as of April 2011 (VND)
Off peak hours (13hr)	1,139
Low load hours (6hr)	708
Peak hours (5hr)	2,061

(出典：JICA 調査団)

3) 燃料費

2011年4月のディーゼルオイル代=21,000VNDとした。

4) 法定点検、汚泥分析費

	Items	Unit price
1	Inspection Equipment	1,000 US\$/year
2	Sludge quality analysis as TCVN5945-2005 (12 times/year)	50,000,000 VND/time
3	Firefighting equipment	1,000 US\$/year

(出典：JICA 調査団)

5) その他経費

Items	Price	Unit
Small-scale repair	50,000	US\$/year
Rental car fee (car + gasoline)	272,101	US\$/year
Telephone fee	3,000	US\$/year
Business equipment rental fee	10,000	US\$/year
Office supply	5,000	US\$/year
Others (water supply etc.)	40,000	US\$/year
Total	380,101	US\$/year

(出典：JICA 調査団)

次頁の表-B2.6.5に22年間の運営・維持管理費をとりまとめる。

表-B2. 6.5 汚泥リサイクル施設の22年間の運営維持管理費用

(単位：1,000US\$)

項目	内容	Year																				合計			
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		2036	2037	
1	人件費	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	2,561	
2	ユーティリティ費用	電力費	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	8,069	
		燃料費	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	331	
		消耗品費	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	8,583
		小計	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	16,983
3	法定点検費用	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	674	
4	設備修繕費	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	9,526	
5	場内環境整備費	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	106	
6	各種経費	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	8,362	
7	保険費用	(0.4% of 1-7)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	153	
	合計(1-8)	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	38,365	
9	予備費	(5% of 1-8)	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	1,918	
	合計(1-9)	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	40,283	
10	更新費											10,000	10,000											20,000	
	総計	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	11,831	11,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	1,831	60,284	

(出典：JICA 調査団)

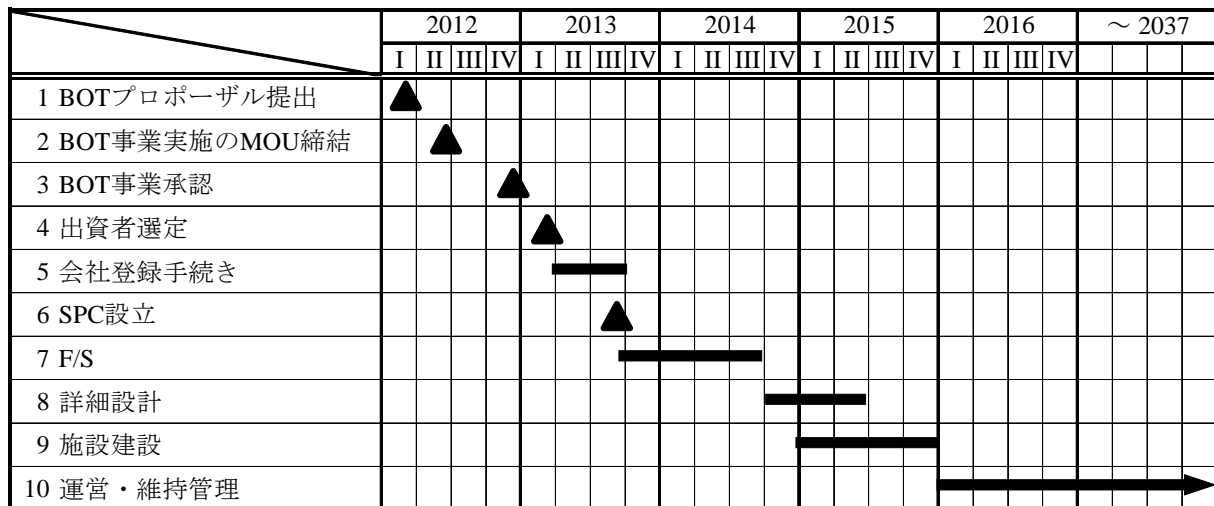
B2.7 事業実施スケジュール

2012年3月時点で想定しているエンソ汚泥資源化センターの事業実施スケジュール及び各業務の担当者を表-B2.7.1及び図-B2.7.1に示す。

表-B2.7.1 エンソ汚泥資源化センターBOT事業の各業務担当者、期間

業務	担当	期間
1. BOTプロポーザル提出	民間出資者	2012年3月
2. BOT事業実施のMOU締結	ハノイ市、民間出資者	2012年6月
3. BOT事業承認	ハノイ市	2012年12月
4. 出資者選定	ハノイ市	2013年3月
5. 会社登録手続き	民間出資者	2013年4～9月
6. SPC設立	民間出資者	2013年9月
7. F/S	SPC	2013年10月～2014年9月
8. 詳細設計	SPC	2014年10月～2015年6月
9. 施設建設	SPC	2015年1～12月
10. 運営・維持管理	SPC	2016年1月～2037年12月

(出典：JICA 調査団)



(出典：JICA 調査団)

図-B2.7.1 エンソ汚泥資源化センターの事業実施スケジュール

なお、メインレポート第10章に整理した通り、本BOT事業は上記スケジュールを想定していたが、汚泥製品（乾燥汚泥）受入先への理解醸成やハノイ市側からの支援、汚泥再利用を推進する法令の整備、事業のリスク分担など解決すべき課題が山積しているため、現時点で事業実施には至っていない。

B2.8 環境評価**(1) 水汚泥処理・利用における社会環境配慮****1) 下水汚泥処理・利用の負の効果**

社会環境に配慮すべき負の効果として、以下の事項に対する配慮が必要である。下水汚泥の処理・利用の過程で、コンポスト化を確実に行って病原性細菌を確実に死滅させるとともに、下水汚泥中の重金属等の挙動を定期的に監察し、土壌中への過度の蓄積しないように留意する。

また、汚泥燃料の利用に当たっては、粉じんの飛散防止や清掃を徹底し、清潔で衛生的な職場環境の維持に努めることが重要である。

- 下水汚泥に含まれる重金属類の土壌への蓄積
- 下水汚泥コンポスト中の病原菌の曝露
- 汚泥燃料利用者への粉じん等の曝露

2) 下水汚泥処理・利用の正の効果

下水汚泥の有効利用により、住民の生活や都市活動によって環境へ排出される環境負荷について、次の正の効果をもつ。広報・公聴を積極的に行うことにより、下水汚泥コンポストや汚泥燃料の適切な利用について広く社会に周知し、下水汚泥の有効利用を進めていくことが重要である。

- 土壌改善効果、肥沃な国土創造
- CO₂等の地球温暖化対策効果
- リサイクルに関する住民意識の向上

(2) Yen So 下水汚泥処理施設における対応策

下水汚泥処理の過程で発生する環境への影響として、臭気、排水、排ガス等が懸念される。施設を適切に建設、維持管理することにより、臭気対策、排ガス対策を実行することが重要である。

また、排水については、水処理施設と用排水ユーティリティを補完することで、汚水を環境へ排出しない施設が可能となる。

- 汚泥から発生する臭気
- 汚泥処理過程で発生する排水
- 乾燥機、炭化炉から発生する排ガス

なお、環境影響評価については、本調査団の対象範囲は上記の予備検討のみとし、本格実施は SPC サイドで F/S 作成時に行うものとする。

APPENDIX-B1

BOT Proposal for Yen So Central Bio-solid Processing Center

CONTENTS**Appendix-B1: BOT Proposal for Yen So Central Bio-solid Processing Center**

	<u>Page</u>
CHAPTER 1 BACKGROUND AND BASIS OF THE PROJECT	
1.1 Background and Necessity of the Project	1
1.2 Selection and Justification of the Project	3
1.2.1 Basic Approach	3
1.2.2 Potential Sludge Management Options	4
1.2.3 Selection of Optimum Sludge Management Options	6
1.2.4 Justification of BOT Scheme for the Project	8
1.3 Objectives of the Project	9
1.4 Outline of the Project	9
1.5 Legal Basis of the Proposal and the Project	10
CHAPTER 2 TECHNICAL CONCEPT	
2.1 Outline	11
2.2 Demand Forecast	11
2.2.1 Wastewater Generation	11
2.2.2 Dewatered Sludge Generation	12
2.3 Basic Planning	14
2.3.1 Planning Conditions	14
2.3.2 Study on Sludge Drying	15
2.3.3 Study on End-use of Dried Sludge	17
2.3.4 Study on Sludge Transportation	21
2.4 Concept Design of Biosolids Processing Center	22
2.4.1 Applicable Standards	22
2.4.2 Design Conditions	22
2.4.3 Solar Green House	22
2.4.4 Thermal Sludge Dryer	25
2.4.5 Location and Layout Plan	27
2.5 Plant Operation	36
CHAPTER 3 PRELIMINARY COST ESTIMATE	
3.1 Basic Conditions	37
3.2 Preparatory Cost (Contract negotiation, establishment of SPC, F/S, etc.)	38
3.3 EPC Cost	38
3.4 O&M Cost (Routine O&M, Repair and Replacement)	40

CHAPTER 4 PROPOSED PROJECT SCHEME

4.1	Outline of BOT Scheme	44
4.1.1	Structure of BOT Scheme	44
4.1.2	Outline of SPC	44
4.1.3	Equity and Debt	45
4.1.4	Investors	45
4.2	Proposed Project Implementation Schedule	46

CHAPTER 5 FINANCIAL ANALYSIS

5.1	Methodology of Financial Analysis	48
5.2	Conditions and Assumptions	48
5.3	Results of Financial Analysis	54
5.3.1	Tariff	54
5.3.2	Cash Flow of SPC	55
5.3.3	Proposal of Service Charge and Payment Condition	55

CHAPTER 6 PROJECT EVALUATION

6.1	Technical Evaluation	62
6.2	Financial Evaluation	62
6.3	Economic Evaluation	62
6.4	Environmental and Social Evaluation	63
6.5	Institutional Evaluation	64

CHAPTER 7 QUALIFICATIONS OF THE PROPOSAL/ RISK MANAGEMENT

7.1	Risk Matrix	65
-----	-------------------	----

Chapter 1 Background and Basis of the Project

1.1 Background and Necessity of the Project

Hanoi City is the Capital of the Socialist Republic of Vietnam, the center of politics, economy and culture of the country. The urbanization speed of the capital has continuously accelerated during the recent years. However, the development of the infrastructure including urban sewerage and drainage system is slower than the urbanization.

To improve the urban sewerage system in order to enhance the ambient water environment and in turn, the living condition of Hanoi City, HPC is giving utmost importance to sewerage collection and treatment facilities. Currently, there are two pilot wastewater treatment plants (WWTPs) at Truc Bach and Kim Kien, whose treatment capacities are 3,000 and 4,800 m³/day respectively; and one medium scale WWTP at North Thang Long with a treatment capacity of 38,000 m³/day. In addition, there are a number of WWTPs are either in the planning/ designing stage or under construction. One large scale WWTP at Yen So with a capacity of 200,000 m³/day is now under trial run and will start operation from April, 2012. Bay Mau Lake WWTP with a treatment capacity of 13,300 m³/day is now in the stage of detailed design/ implementation, and will be operated from 2014. Feasibility study of Yen Xa WWTP has been prepared and is now under financial arrangement stage and planned to be completed in 2017. In addition, Phu Do WWTP and Ho Tay WWTP, whose treatment capacities are 84,000 m³/day and 15,000 m³/day respectively, are planned to be constructed by Built-Transfer (BT) contract arrangements. The expected start time is 2015 and 2013, respectively. With completion of these WWTPs, the wastewater treatment capacity will be rapidly increased in Hanoi.

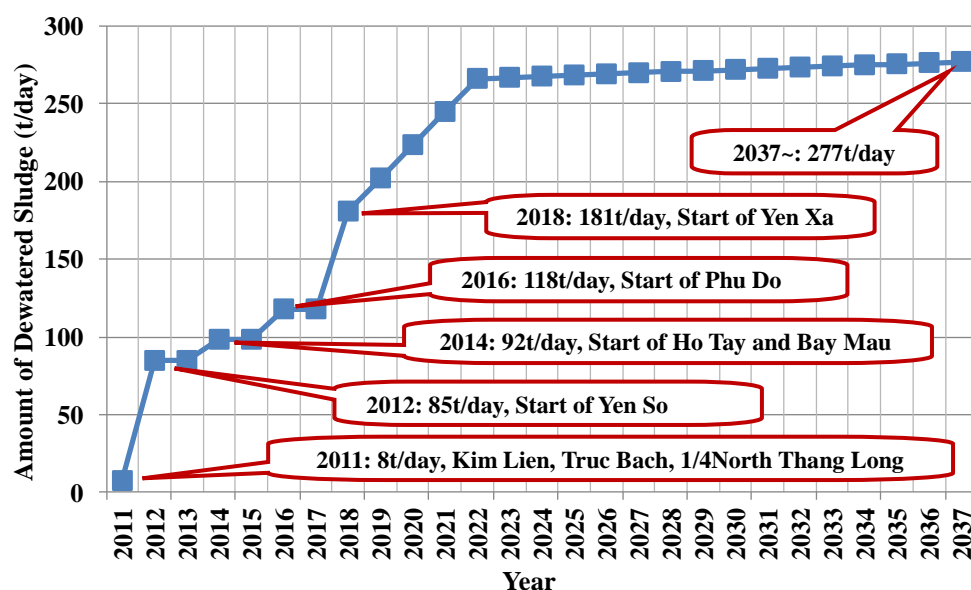
The summary of current and planned wastewater treatment plants are shown in the Table 1.1.1. By 2018, total treatment capacity will be around 630,000 m³/day from the current 45,800 m³/d, an increase of more than 1300%.

Table 1.1.1 Summary of Wastewater Treatment Plants in Hanoi

WWTP		Capacity (m ³ /day)	Current Situation	Expected Operation Start Year
1	Truc Bach	3,000	Operational	-
2	Kim Lien	4,800	Operational	-
3	North Thang Long	42,000	Operational	-
4	Yen So	200,000	Trial run	2012
5	Bay Mau	13,300	EPC	2014
6	Yen Xa	270,000	Financial Arrangement	2018
7	Ho Tay	15,000	Planned for BT	2014
8	Phu Do	84,000	Planned for BT	2016
Total		632,100		

Source: Compiled by JICA Study Team, 2012

With rapid future increase of wastewater treatment capacities in Hanoi, amount of sludge generation will also increase considerably. For a full development scenario where all the WWTPs run with their design capacity, the total amount of dewatered sludge generation will be a whopping 620 t/d (refer to Chapter 2), compared to current sludge production of 8 t/d. As explained in Chapter 2, this situation is hard to reach considering the current influent water quality of the existing WWTPs, hence, instead of full development scenario, an optimum scenario can be considered. Figure 1.1.1 shows projected sludge generation amount for the optimum scenario (details can be found in Chapter 2). The maximum amount of dewatered sludge in this scenario is 277 t/d.



Source: Prepared by JICA Study Team based on secondary information

Figure 1.1.1 Sludge Generation Forecast

The sludge generated from current operating WWTPs are disposed at Nam Son Landfill site and Tieu Ky disposal site. The proposed extension of Nam Son Phase 2 will not accept sludge waste. Though HAPA is now carrying out a study on permanent sludge disposal site, there is still no conclusion. Finding a disposal site within the city limit or its vicinity for the entire amount of future sludge (263 t/d) seems to be almost impossible. Under such situation, it is required to reduce the amount of sludge waste and promote sludge reuse/ recycle. This will increase the service life of scarce landfill site, ensure proper sludge management and enhance sludge reuse/ recycle. Without such provision, smooth implementation of new/ planned WWTPs can also be hindered.

1.2 Selection and Justification of the Project Process

1.2.1 Basic Approach

As explained above, proper sludge management is a prerequisite for future sewerage sector development. At present the sludge disposal is carried out as an ad-hoc basis. The current practice is a threat to environment as it is not a sanitary landfill process. Complying with the social responsibility, HPC must stop this unhygienic practice and come up with appropriate solution.

The basic principles applicable in course of the selection of appropriate technology are as follows:

1. Centralize sludge management: Any sludge management system demands significant resource mobilization, so centralize sludge management facility which receives dewatered sludge from multiple WWTPs is cost effective and easy to manage.
2. Volume reduction: Dewatered sludge contains more than 80% water. Volume reduction can radically improve the cost requirement and operational complexity of any selected sludge management process.
3. Reuse and recycle: Sludge contains both organic and inorganic compounds, and both of which have reuse and recycle potential. Efforts to be made to impart resource recovery as much as possible.
4. Step wise development: As sludge management is rather cost incentive process, a step wise development matching with the demand increase is efficient.

1.2.2 Potential Sludge Management Options

Depending on the water content, the sludge can be divided into the followings, and for each type, there can be various management options. It is to be noted here that there are also various options to reduce the water contents.

- Dewatered sludge (water content around 80%)
- Compost or semi dried sludge (water content around 60%)
- Dried sludge (water content around 10 to 20%)
- Incinerated sludge/ ash (water content negligible)

Selection of optimum sludge management option depends on following criteria:

1. Design volume of dewatered sludge to be managed,
2. Compatibility with end use and its potential demand,
3. Easy O&M technology
4. Social acceptance
5. No impact from pathogenic microorganism and heavy metals, and
6. Promotion of reuse and recycle.

Popular sludge management options are shown in the Figure 1.2.1. It is to be noted that this is not exhaustive list. There are 11 sludge management options are proposed in the figure considering the ultimate end use.

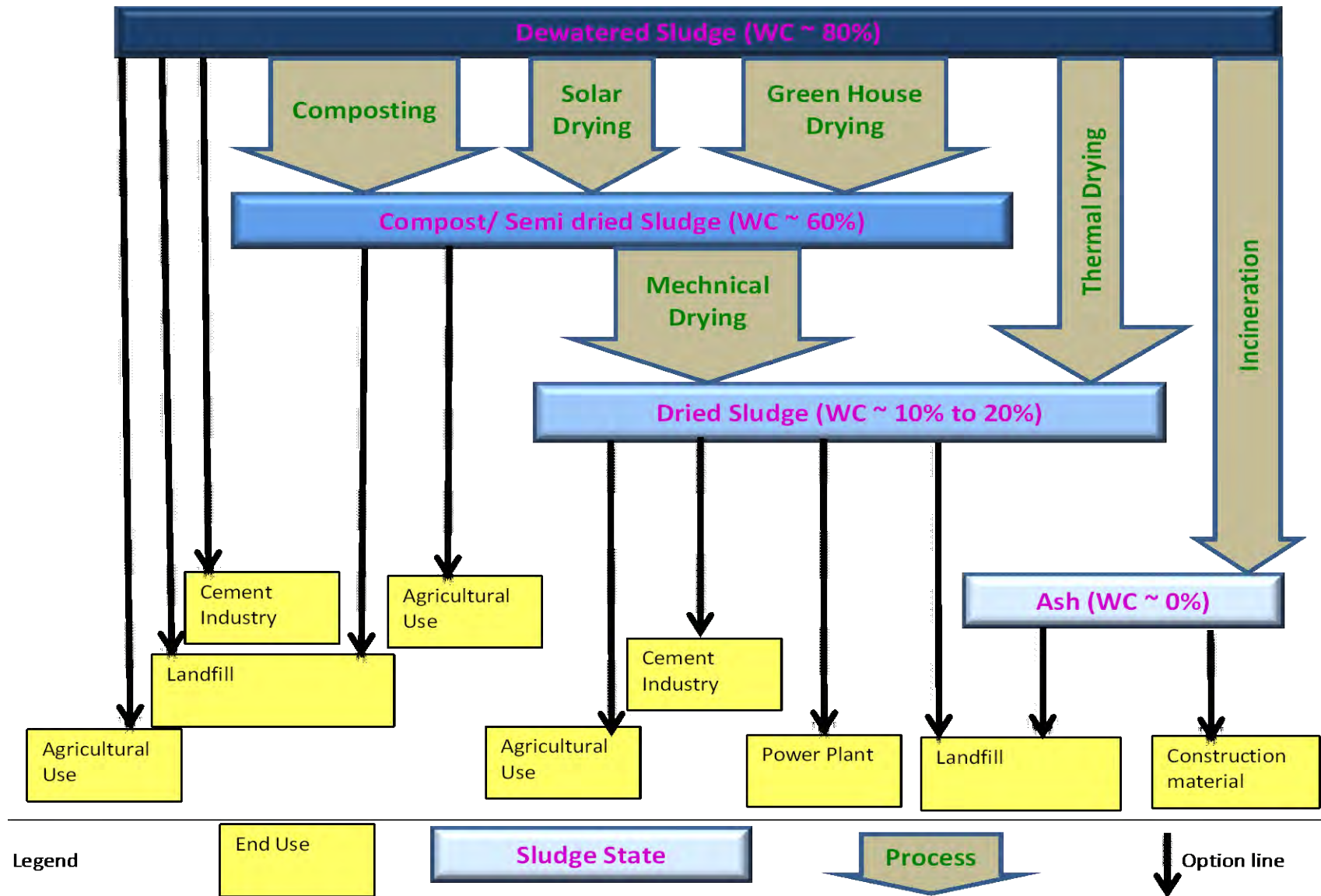


Figure 1.2.1 Popular Sludge Management Options

1.2.3 Selection of Optimum Sludge Management Options

The screening of the options for Hanoi situation is elaborated in Table 1.2.1.

Table 1.2.1 Preliminary Screening for Sludge Management Options

Option	Description	Evaluation
1. Dewatered sludge for agricultural use	To comply with criteria 1, can only be used for non human consumption purpose. Requires very advanced “no touch” mechanical mixing. No demand for such huge volume in and around Hanoi	Not possible
2. Dewatered sludge landfill	Required huge landfill volume is not possible to obtain in and around Hanoi	Can be used temporarily with other option
3. Dewatered sludge use in cement industry	Cement production capacity will reduce drastically.	Not acceptable
4. Semi dried sludge landfill	Required huge landfill volume is not possible to obtain in and around Hanoi. Does not satisfy criteria 4 after costly processing.	Not possible
5. Semi dried sludge for agricultural use	To comply with criteria 1, can only be used for non human consumption purpose. The maximum demand for greenery is 32t/d and design production of semi dried sludge is 130 t/d (Refer to Chap 2).	Can be used in parallel.
6. Dried sludge for agricultural use	To comply with criteria 1, can only be used for non human consumption purpose. The potential current demand for greenery is 32t/d and design production of dried sludge is 53t/d (Refer to Chpa 2)	Can be used in parallel.
7. Dried sludge use in cement industry	The potential current demand for cement industry is 105t/d.	Possible
8. Dried sludge use in power plant	The potential current demand for power plant is 410t/d.	Possible
9. Dried sludge landfill	Does not satisfy criteria 4 after costly processing.	Not acceptable
10. Incinerated ash landfill	Costly	Possible
11. Incinerated ash use as construction material	Costly	Possible

From the table above, it is obvious that the candidate options are composting, incineration and sludge drying (by thermal drying, etc.); although compost cannot be a stand-alone option due to lack of demand. Land filling can be carried out but as an interim measure. It is recommended to utilize a sanitary landfill option. However, in future land fill will not be a viable option.

A cost comparison of the candidate options are given below.

Table 1.2.2 Cost Comparison of Candidate Options (Unit: EUR/t of DS)

Incineration	Thermal Drying	Composting
450 – 800	300 – 800	250 – 600
High cost	Acceptable	Low cost, however consumption demand is limited. Also consumption is not constant year round.
Not recommendable	Recommendable	Can be recommended for parallel use together with other option

Source: ‘Ecological and economical balance for sludge management options’, by Jeremy Hall, Proceedings of the European Commission Workshop on “Problems around sludge” (<http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/workshoppart4.pdf>).

Table 1.2.2 compares the generalized treatment and disposal costs for some management options in the European context. The cost requirements in Vietnam will be less; however, the table can be a good tool for comparison. For each option, the spread of costs is large and overlap with those of other options, due to the influence of local circumstances on investment and operating costs reflecting size of plant, type of technology, etc. As can be seen, composting is a low cost option than thermal drying and incineration; but it cannot be a standalone option due to low demand and time fluctuation of demand. On the other hand, incineration is a high cost option.

Based on current operating plants in Japan, cost comparison between thermal drying and incinerator for different capacity is given in Table 1.2.3. This table also shows that thermal drying is cheaper than incinerator.

Table 1.2.3 Cost Comparison in Japanese Context (Unit: Yen/t of DS)

Incineration	Thermal Drying	Capacity
27,400	18,300	30 m ³ /d
20,365	16,000	60 m ³ /d

Source: Compiled by JICA Study Team based on primary data.

From the above discussion, it is proposed that sludge drying (by thermal drying or other similar method) is the most suitable option for sludge volume reduction in Hanoi.

The dried sludge can be reused/ recycled for greenery, cement industry and power plants.

The Proponent is therefore proposing the Project of “Central Biosolids Processing Center” at Yen So to reduce the volume of generated sewerage sludge by sludge drying principle and thereby facilitate the potential of sludge reuse and recycle.

1.2.4 Justification of BOT Scheme for the Project

Low commercial value is an inherent nature of sludge processing projects. The end product of the proposed sludge drying plant is dried sludge, which has less calorific value than coal. Similarly, the N content in the dried sludge can be at best a soil conditioner or soil improver, far short to claim as fertilizer. Though the end product can be reused and recycled in many forms, it is not expected to bring business profit. However, this kind of projects impact huge social and environmental benefits. Not only it reduces the requirement of increasingly scarce land by reducing the sludge volume drastically, but also it promotes reuse and recycle of resources. Therefore, it is a public commitment of HPC to carry out such projects.

In case HPC carries out this project mobilizing its own resources or by utilizing ODA loan, the life cycle cost of the project may be less but it will expose HPC to all kinds of risk associated with the implementation of this project. On the other hand, implementing this project by a BOT scheme will make HPC free from most of the technical and operational risk.

The main advantages of BOT scheme for this project are summarized below:

- HPC does not have to bear implementation and operation risk.
- HPC needs to deal with only one entity, the SPC for all issues covering implementation and operation.
- HPC does not have to go through the complex procedures for fund arrangement.
- HPC needs less administration works regarding bid document preparation, awarding, contract management and project management.
- Overall management skill and know-how of sludge processing and recycling could be transferred from Japanese public and private sectors.
- Integrated process of the design, construction and operation maintenance will enhance project sustainability.
- As SPC is expected to borrow fund from JICA’s PSIF fund, it would be in a

better position to support HPC/MPI to pursue with JICA for realization of ODA loan for Yen Xa WWTP.

1.3 Objectives of the Project

The salient objectives of the proposed BOT scheme are,

1. To construct a biosolids (i.e., dewatered sludge) processing facility to reduce the volume of dewatered sludge in order to reduce the amount of landfill volume,
2. To promote and facilitate sludge (resource) reuse and recycle by various end users in a effective and efficient manner,
3. To support and sponsor technology transfer, and
4. To ensure maximum financial benefit to HPC.

1.4 Outline of the Project

The preliminary technical analysis and cost estimate is given in Chapter 2 and 3, respectively. The financial plan is proposed in Chapter 4. The project financing scheme is BOT as explained in Chapter 5. The summary outline is briefed here.

1. Location	:	Near Yen So WWTP
2. Required Area	:	3.3 ha (180 m x 180 m)
3. Drying method	:	Hybrid (solar and mechanical)
4. Main Facilities	:	Five green houses and four thermal dryer
5. Input (dewatered sludge)	:	180 m ³ /d (moisture content of 80%)
6. Output (dried sludge)	:	36 m ³ /d (moisture content of 10%)
7. End use	:	Cement and power plants, greenery, etc.
8. Construction Cost	:	App. 64 m US\$ (preliminary)
9. Direct O&M cost	:	Around 2 US\$/year
10. Financing scheme	:	BOT
11. Equity: Debt	:	30:70
12. Borrowing source	:	JICA PSIF (low interest loan)
13. Service Charge to HPC	:	Between 11 and 15 m US\$/year

1.5 Legal Basis of the Proposal and the Project

The following laws and regulations are referred to for the proposal of the BOT project.

- Decision 71/2010/QĐ-TTg, Promulgating the regulation on pilot investment in the public – private partnership form (Pilot PPP Law)
- Decree 108/2009/NĐ-CP - Decree On Investment In The Form Of Build-Operate-Transfer, Build-Transfer-Operate Or Build-Transfer Contract
- Decree No. 24/2011/NĐ-CP - Amending A Number of Articles of the November 27, 2009 Decree No. 108/2009/NĐ-CP on Investment in the Form of Build-Operate-Transfer Contract, Build-Transfer-Operate Contract, Build-Transfer Contract
- Law 61/2005/QH11 – Bidding Law
- Law No.16-2003-QH11 – Law on Construction
- Law 38/2009/QH12 - Law Amending and Supplementing a Number of Articles of the Laws Concerning Capital Construction Investment
- Decree 12-2009-NĐ-CP Management of investment projects for construction works
- Circular 03-2009-TT-BXD Providing detailed guidelines for implementation of a number of articles of Decree 12-2009-NĐ-CP on management of investment projects for construction works
- Circular 03-2011-TT-BKHDT Guiding implementation of Decree 108-2009ND-CP on investment on the basis of BOT, BTO and BT contracts

Chapter 2 Technical Concept

2.1 Outline

The detail technical study is expected to be carried out during the Feasibility Study to be conducted after the conclusion of BOT contract agreement between a Special Purpose Company (SPC) and Hanoi People's Committee (HPC). This chapter provides only a basic planning and design concept.

2.2 Demand Forecast

2.2.1 Wastewater Generation

Sludge generation amount depends on wastewater flow and difference between influent water quality (SS) and effluent water quality (SS) of WWTP.

Daily maximum wastewater flow and daily average wastewater flow for the existing, under construction and planned WWTPs in Hanoi are shown in Table 2.2.1.

Table 2.2.1 Wastewater flow from WWTPs in Hanoi

WWTP	Daily Maximum Wastewater Flow (m ³ /day)	Daily Average Wastewater Flow (m ³ /day)	Operational Year
Kim Lien	4,800	3,920	Operational
Truc Bac	3,000	2,450	Operational
North Thang Long	42,000	34,280	Operational
Yen So	200,000	190,000	2012
Ho Tay	15,000	12,240	2013
Bay Mau	13,300	10,850	2014
Phu Do	84,000	68,500	2015
Yen Xa	270,000	220,400	2018
Total	632,100	542,640	

Source: Compiled by JICA Study Team based on secondary data

Note: Daily average wastewater flow is estimated to be 81.6% of daily maximum wastewater flow referring to the F/S report of Yen Xa WWTP, 2011 (except Yen So WWTP).

In regard to Yen So WWTP, daily average wastewater flow is 95% of daily maximum wastewater flow, because fixed amount of wastewater inflows from 2 nearby canals, and there is no fluctuation of inflow.

2.2.2 Dewatered Sludge Generation

(1) Conditions of calculation

Amount of dewatered sludge generated from the WWTPs is calculated based on the design conditions as adopted in the WWTP design. Those are as follows,

- Inflow SS = 250mg/L, Outflow SS = 15mg/L
- Moisture content of dewatered sludge = 80%
- In case digestion tank is operated in Yen So WWTP, organic materials of sludge will be digested and volume of dewatered sludge will be reduced by 35%.

(2) Maximum Amount of Dewatered Sludge

From the above condition, amount of maximum dewatered sludge generated from each WWTP is calculated as Table 2.2.2.

Table 2.2.2 Maximum Amount of Dewatered Sludge

WWTP	Daily Maximum Dewatered Sludge Amount (t/day)	Daily Average Dewatered Sludge Amount (t/day)
Kim Lien	4.7	3.8
Truc Bac	3.3	2.7
North Thang Long	50.5	41.2
Bay Mau	17.8	14.5
Yen So	325.8 (with digester = 211.8)	265.8 (with digester = 172.8)
Phu Do	100.2	87.5
Ho Tay	19.5	15.9
Yen Xa	344.7	281.3
Total	866.5 (752.5)	712.7 (619.7)

Source: JICA Study Team

(3) Gradual Increase of Sludge Generation

The sludge generation shown in the above table is the maximum sludge when the WWTPs receive the design sewerage volume (full development scenario). For the newly established WWTPs, initially influent sewerage volume is low and gradually increases as more areas are connected to the respective WWTPs.

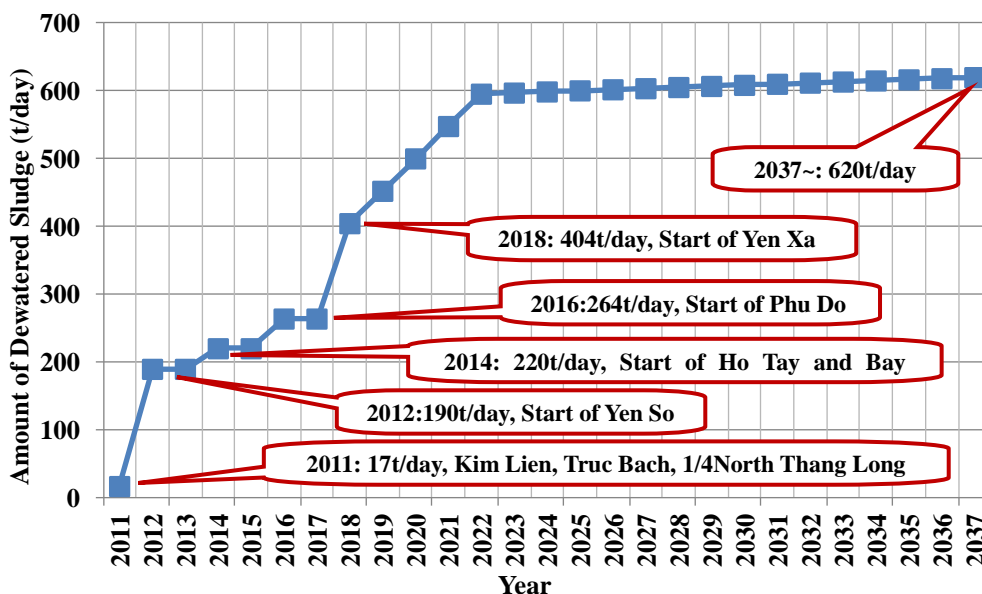
In regard to Yen Xa WWTP, although it is expected to start operating in 2018, only half the amount of planned wastewater is expected to reach the WWTP in the first year. After that the amount of wastewater shall increase gradually, and is expected to reach the planned volume in 2022.

In regard to North Thang Long WWTP, Currently, only amount 1/4th of the design flow is entering into the plant. Since the the urbanization of this basin has not progressed in comparison to previously plan and it is not expected to progress urbanization in the near future, it is expected that the full design capacity will be reached in 20 years.

The implementation schedule of Phu Do and Ho Tay WWTPs is not clear so far.

(4) Maximum Dewatered Sludge Generation (full development scenario) by year

From the above-mentioned operational condition, the maximum daily average dewatered sludge amount from 2011 to 2037 is shown in Figure 2.2.1. The maximum expected dewatered sludge is 620 t/d.



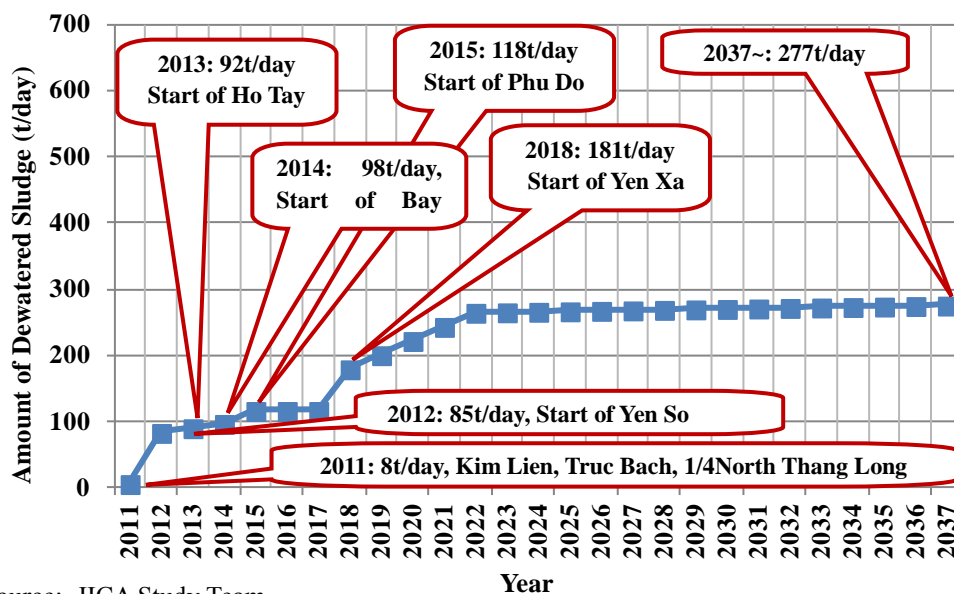
Source: JICA Study Team

Fig. 2.2.1 Annual Dewatered Sludge Generation in Hanoi (full development scenario)

(5) Optimum Scenario for Sludge Generation

At present there are 3 WWTPs are in operation and one WWTP is under trial run. In all

cases, a common problem is that the influent sewerage SS load is much lower than the design load. This is due to partial treatment in septic tank and mild sloped main sewer and due to back flow from river and canal. Solving this situation is a long time proposition. In this condition, dewatered sludge generation will also be rather low. An optimum scenario is thus proposed considering influent SS as 120 mg/l. Annual dewatered sludge generation under optimum scenario is shown below. In this scenario, maximum sludge generation is 277 t/d.



Source: JICA Study Team

Figure 2.2.2 Annual Dewatered Sludge Generation (Optimum development scenario, influent SS=120mg/L)

2.3 Basic Planning

2.3.1 Planning Conditions

As explained in Chapter 1, due to scarcity of available land, dewatered sludge disposal by landfill cannot be a standalone viable option. So volume reduction is needed. Since any volume reduction is a cost intensive measure, processing of the entire generated sludge is not the best option. Rather a combination can yield better utilization of resources. It is thus proposed that sludge processing by thermal drying will be applied for two-third of the maximum sludge generation, i.e., 185 t/d. For the remaining one-third, sanitary landfill is recommendable.

Recycle and reuse of the dried sludge must be promoted through a combination of options like greenery use as soil condition, power plant as fuel, and cement industry as

fuel and ingredient.

2.3.2 Study on Sludge Drying

As mentioned in Chapter 1, the most optimum option for sludge processing is justified to be sludge drying. However, there could be multiple ways of thermal drying, as follows:

1. Solar drying: In this method, dewatered sludge is spread over the land inside a green house covered with plastic sheet. By utilizing the heat entrapped inside the greenhouse, moisture content of the sludge is reduced. However, moisture content cannot be reduced to a low level by solar drying.
2. Thermal drying: In this method, dewatered sludge is put into a rotary drum. By burning oil or gas, air is heated and forced through the drum by a blower.
3. Hybrid: In order to reduce investment and operation cost, a new innovative process has been proposed, which is, “a pre-treatment by green house solar drying followed by thermal dryer”.
4. Carbonization: By pyrolysis or destructive distillation in a specially prepared furnace, sludge can be transformed into carbon by this method. The end product is favored for use in power plants.

A comparison of the options is given below.

Table 2.3.1 Comparison of the Alternate Sludge Drying Process

Method Item	1) Solar Drying	2) Thermal Drying	3) Hybrid Process of Solar & Thermal	4) Carbonization
Initial Cost (million US\$)	16	101	64	117
22years O&M Cost (million US\$)	16	178	56	206
Total Cost (million US\$)	32	279	120	323
Effect on Environment	Most eco-friendly, no energy input	Large consumption of energy	More eco-friendly than 1 and 2, More energy saving than 1 and 2	Highest consumption of energy
Required Area	4.0ha	0.9ha	3.3ha	0.9ha
Moisture content reduction to low level	Not possible	Possible	Possible	Possible

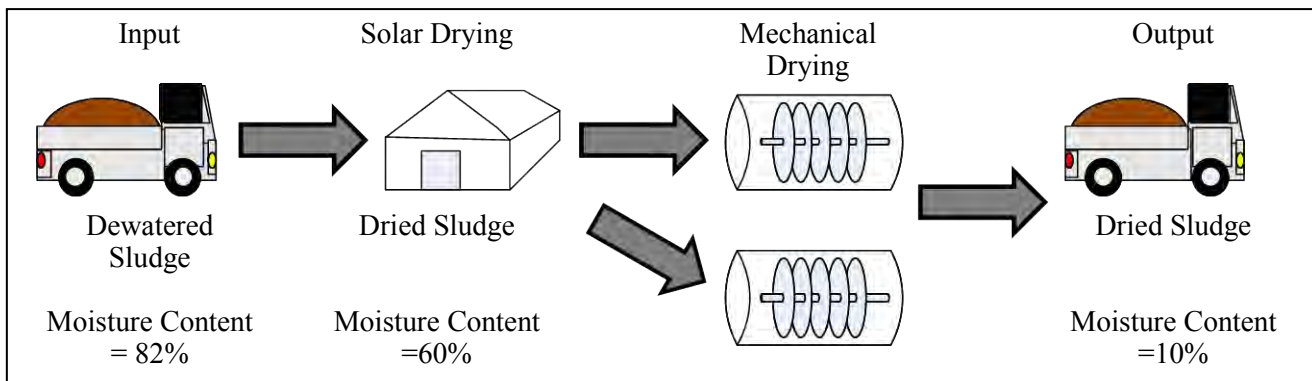
Appendix-B1

Method \ Item	1) Solar Drying	2) Thermal Drying	3) Hybrid Process of Solar & Thermal	4) Carbonization
Evaluation	<p>×</p> <p>Not recommended, as it requires large area and cannot attain low moisture content</p>	<p>△</p> <p>Recommendable</p>	<p>○</p> <p>Most appropriate process</p>	<p>×</p> <p>Not recommendable as it is most expensive and least eco-friendly.</p>

Source: JICA Study Team

Based on evaluation shown in the above table, the hybrid process of solar drying & thermal drying is selected as the most appropriate process for the sludge drying.

The concept of the hybrid process is shown in Figure 2.3.1.



Source: JICA Study Team

Figure 2.3.1 Concept of the hybrid process

The treatment conditions of the hybrid process are shown in Table 2.3.2.

Table 2.3.2 Treatment capacity of sludge drying facilities

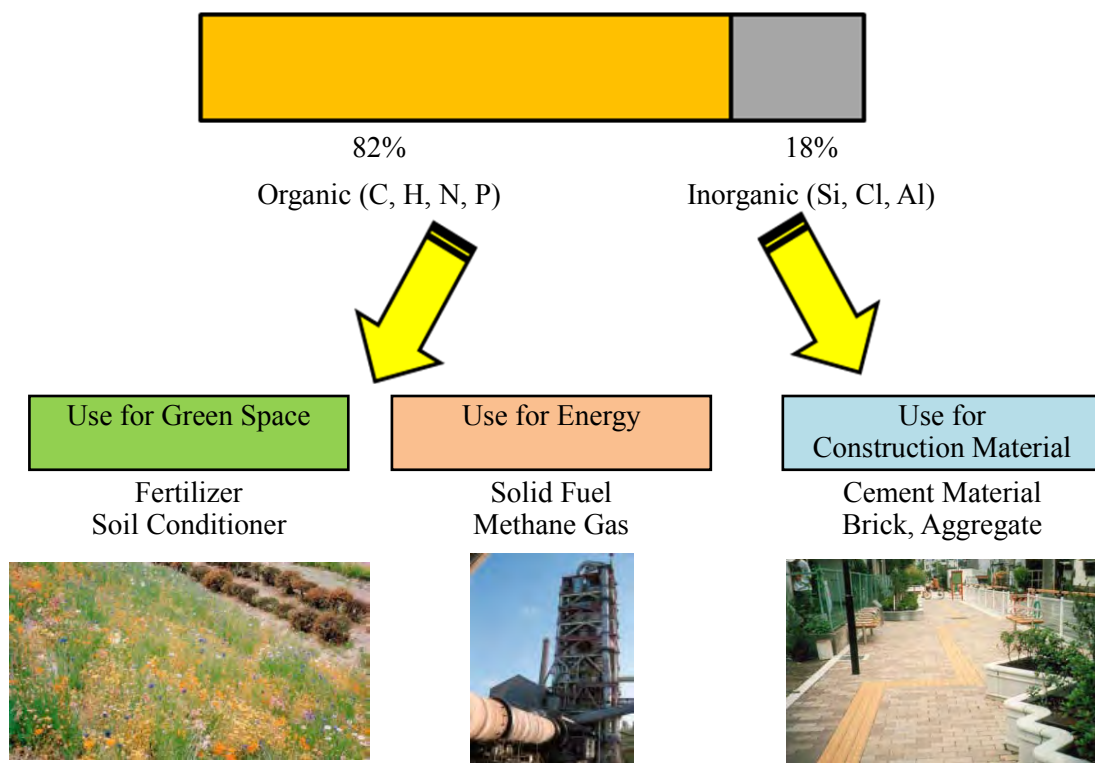
Facilities	Input	Output
Solar Green House	Dewatered Sludge Volume: 185t/day Moisture Content: 82%	Solar Dried Sludge Volume: 83.25t/day Moisture Content: 60%
Thermal Sludge Dryer	Solar Dried Sludge Volume: 83.25t/day Moisture Content: 60%	Dried Sludge Volume: 37t/day Moisture Content: 10%

Source: JICA Study Team

2.3.3 Study on End-use of Dried Sludge

(1) Sludge Reuse and Recycle

One of the major advantage of the thermal drying method is the end product can be reused. Generally sewage sludge contains about 82% organic components and 18% inorganic components. The organic components can be used as soil conditioner for the green space and as an alternate energy/ fuel source; and the inorganic components can be used for construction material as shown in Figure 2.3.2. The dried sludge has approximately 60% calorific value of low quality coal (The calorific values of carbonized sludge and coal are 3,000 and 6,300 kcal/kg). It may be noted that Sewage sludge is classified as renewable energy by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).



Source: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

Figure 2.3.2 Recycling Method of Sewage Sludge Component

(2) Japanese Experience regarding use of Sludge

In Japan, land filling of sewage sludge has become increasingly restricted due to scarcity of land. As a result, reuse and recycling is now predominate management

option and 78% of all generated sludge is reused and recycled in 2008. Major reuse and recycling methods adopted are greenery & agriculture, construction material, and cement industry. Out of these, cement industry is major reuse option as the share of this option reached 30 % of the whole produced sludge. Greenery & agricultural use is almost 10%, however it is applied to small scale treatment system. Changes of sewage sludge reuse and disposal in Japan is shown in Figure 2.3.3.

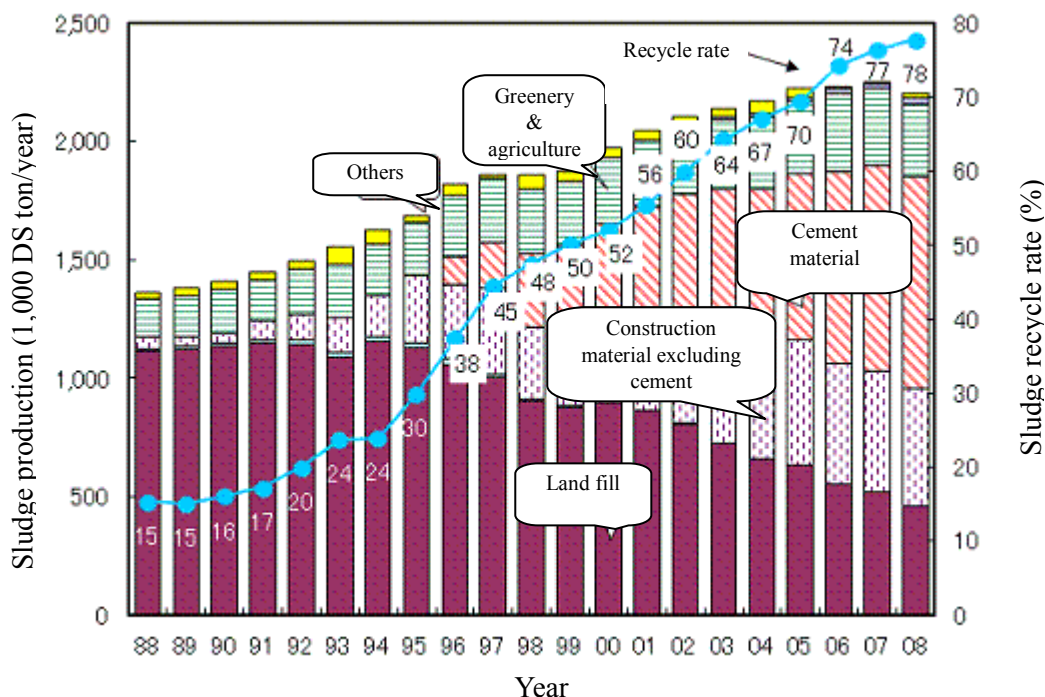


Figure 2.3.3 Sewage Sludge Reuses in Japan

Source: JICA Study Team

(3) Potential Demand Assessment of the Dried Sludge in Hanoi

The dried sludge from the thermal drying process can be used for many purposes; however, three end uses have been considered which can be applicable in Hanoi. These are,

- greenery use as soil conditioner (non human consumption products like flower),
- power plant as fuel, and
- cement industry as fuel and ingredient.

Between May and October 2011, JICA Study Team carried out needs assessment survey encompassing one power company (Pha Lai Coal-Fired Power Plant), two cement companies (But Son Cement JSC and Sai Son Cement JSC) and some

floricultural companies in and around Hanoi. The current situation, interest, opinion and evaluation based on the needs survey are shown in Table 2.3.2.

Table 2.3.2 Results of Needs Survey

	Power Company	Cement Company	Floricultural Company
Current Situation & Interest	They have high interest in environmental problems.	Coal price is rapidly increasing. So they have high interest in alternative fuel.	They are interested in the cheaper alternative of fertilizer..
Opinion	It is too early to use sewage sludge as an alternative fuel. It is necessary to carry out F/S and demonstration experiment. Approval from MOI is needed.	If sludge products have acceptable feature, they can consider using sludge products proactively. The acceptable feature; - Moisture Content is less than 10% - Calorific Value is more than 3,000kcal/kg - Exhaust Gas meets the exhaust standard	If sludge products have an advantage, they intend to try to use them. One of the floricultural companies has an interest in the demonstration experiment in his field.
Evaluation	Highest potential but considered for future adaptation	<u>Recommendable</u> for <u>immediate adaptation</u>	Recommendable as secondary consumers, as total demand is low.

Source: JICA Study Team

The potential demand of sludge recycling products by each customer has been studied and is shown in Table 2.3.3.

Table 2.3.3 Potential Demand of Sludge Recycling Products around Hanoi

	Power Company	Cement Company	Floricultural Company
Plant Capacity	Conventional coal fired, 600 MW	1. Cement: 3 million t/year 2. Cement: 300,000 t/y	
Consumption of Coal or Fertilizer	4,100t/day (1,500,000t/year)	1,050t/day (380,000t/year)	20t/day (7,000t/year)
Potential Demand	410t/day (150,000t/year) (10% Alternative Fuel)	105t/day (38,000t/year) (10% Alternative Fuel)	32t/day (11,600t/year) (50% Alternative Nitrogen of Fertilizer)

Source: JICA Study Team

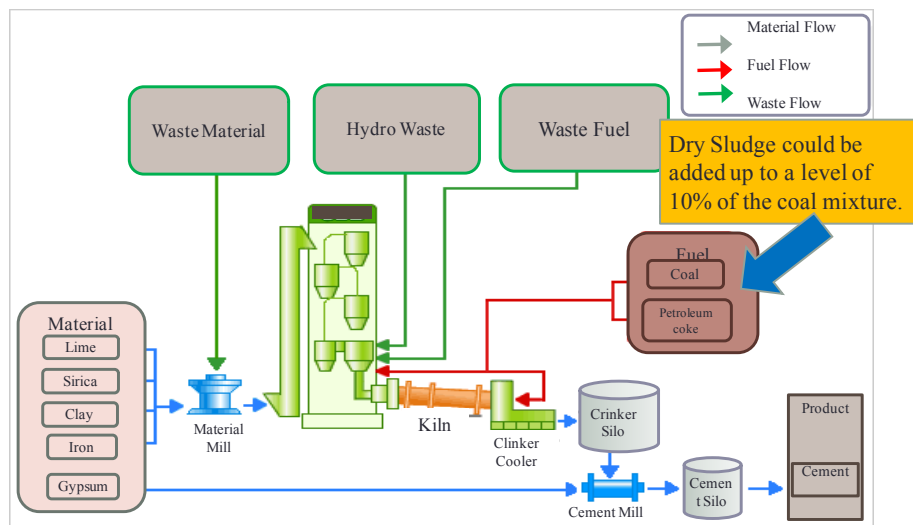
It can be said that the power company is the most potential customer followed by cement industry. However, certain adjustment is required for the power and cement

industries in order to utilize dried sludge. On the other hand, dried sludge can readily be used for greenery purpose though the demand is low and not constant year round.

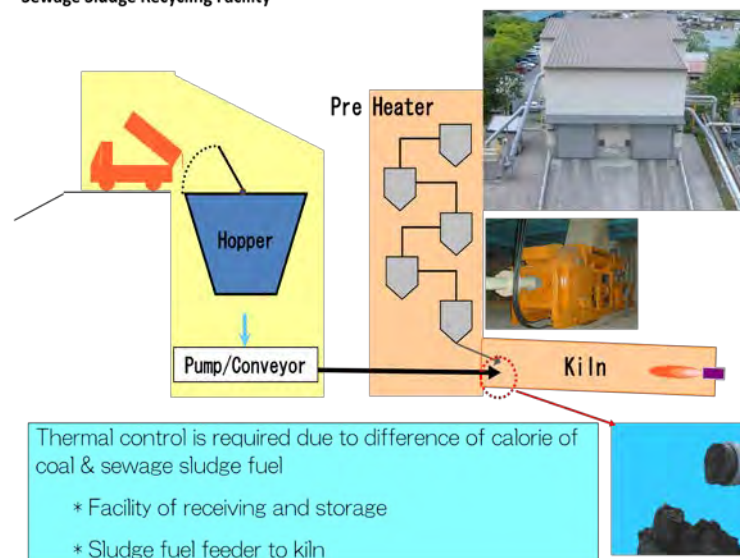
(4) Potential Use of Dried Sludge in Cement Industries in Hanoi

Based on the above discussion, it is proposed that the dry sludge will be used as alternative fuel in cement factory and for greenery in the initial years of operation.

It is proposed that the dry sludge could be added to a level of 10% of the coal mixture without any adverse impact on the production system or the product as shown in Figure 2.3.4.



Sewage Sludge Recycling Facility



Source: Compiled by JICA Study Team based on secondary data

Figure 2.3.4 Sludge Recycling Process in Cement Factory

(5) Conclusion on the end user of the Dried Sludge in Hanoi

As explained above, greenery and cement industries are proposed as the initial end user of the dried sludge.

The power companies have the highest potential as end user (ref. Table 2.3.2). As a public enterprise, Government has more direct control over the power industries. It is expected that HPC together with the BOT proponent will pursue the Ministry of Industries to make adjustments in the power plants to receive the dried sludge.

As an incentive to the cement industries, HPC can issue an Eco-mark on the product. Also, HPC should promote public awareness by brochures and public events. Also, possibility of having a pilot scheme/ demonstration model should be discussed with HPC so that cement industries can get motivation.

In principle, the BOT proponent will actively engage in the promotion of dried sludge reuse and recycle with cooperation from HPC. HPC can ensure maximum utilization of dried sludge for all greenery use of HPC. Also, HPC shall consider providing new laws and/or official introductions to utilize dry sludge in greenery, cement companies and power plants. For instance, HPC can endorse an eco mark for the cement produced having dried sludge input. It is assumed that HPC will assume lead role in promoting dried sludge reuse and recycling and SPC will provide reasonable efforts in this regard.

2.3.4 Study on Sludge Transportation

In principle, respective WWTPs will deliver the dewatered sludge to the Sludge Processing Center by covered truck. It is assumed that WWTPs will bear the cost of such delivery.

It is also assumed that dried sludge will be collected by the end users from the Sludge Processing Center and the end users will bear the related cost.

For both the cases, the WWTPs and end users can maintain their own fleet or entrust the job to a transport company through out-sourcing.

2.4 Concept Design of Biosolids Processing Center

2.4.1 Applicable Standards

For the design purpose, Vietnamese Standards are applied whenever possible. In case, no VN standard is available, Japanese Standards are applied.

Table 2.4.1 Standard Applied in the Design

Item	Standard Applied
Effluent standard	Vietnamese Standard
Exhaust standard	Vietnamese Standard
Detail of Thermal Dryer	Japanese Standard

Source: JICA Study Team

2.4.2 Design Conditions

The following design conditions have been applied in the design.

Table 2.4.2 Design Conditions Applied

Item	Design Condition	Notes
Input dewatered sludge amount	185 t/d	2/3 of the planned sludge generation under optimum scenario
Input dewatered sludge moisture content	Around 82%	In line with the design output from Yen Xa WWTP
Output dried sludge moisture content	Less than 10%	Based on the request from the cement companies (refer to Table 2.3.3)
Proposed Site	Yen So dredged soil land-reclamation site	Site is owned by HPC and can be allocated by HPC for this purpose
Available Area	3.3 Ha	Maximum available land

Source: JICA Study Team

2.4.3 Solar Green House

Input sludge amount: 185 t/day

Input sludge moisture content: 82%

Output sludge moisture content: 60%

Area loading is equivalent to 6.2t/m²/year (based on the experience of EU and South Africa)

Required drying bed area (m²)

$$= 185 \text{ t/day} * 365 \text{ days} / 6.2 \text{ t/m}^2 \text{/year} = 10,868 \text{ m}^2 \text{ (} \square \text{ 7 @ 12m*130m)}$$

Amount of output sludge from solar green house =
 $\{185 * (1-0.82)\} / (1-0.6) = 83.25 \text{ t/d}$

Deposit sludge cake = 400mm deep.

Turn daily for approx 25 days.

Efficiency of solar drying owes to climate change. Since the wet-weather season in Hanoi has high humidity and less sunny hours, drying efficiency declines. On the other hand, efficiency in dry-weather season rises due to long sunny hours. Operation mode in dry-season and wet season shall be developed through examining drying efficiency, thickness of sludge dosing and quality of dewatered sludge.

Some examples of solar drying are shown below. List of required equipment for Green House operation is shown in Table 2.4.3.







Table 2.4.3. List of the Equipment of Solar Green House

Equipment	Specification	Quantity	Remark
Solar Green House	W12m*L130m*H5m	7	
Ventilating Equipment		14	2/house
Wheel Loader	For sludge spreading, agitation, conveyance	2	
Truck Scale	For measuring dewatered sludge	1	

Source: JICA Study Team

Outline of the Solar Green House

<p>Specification</p> <ul style="list-style-type: none"> Steel frame, Acrylic plastic board (Weather proof) Exhaust equipment (5units/house), Lighting Rest station for workers, Storage of equipments Wastewater treatment facilities 	<p>Equipments</p> <ul style="list-style-type: none"> Tractor for agitating, Small track Conveyor, Forklift Weighing Machine
<p>Full view</p> 	<p>Full view</p> 
<p>Entrance</p> 	<p>Interior, Exhaust equipments</p> 

Source: JICA Study Team

2.4.4 Thermal Sludge Dryer

Input sludge amount: 83.25t/day

Input sludge moisture content: 60% (Solar dried sludge)

Output sludge moisture content: less than 10% (For use in cement industry)

Design Calculation is shown in the Table 2.4.4. List of required equipment for Thermal Sludge Drier operation is shown in Table 2.4.5.

Table 2.4.4 Design Calculation of Thermal Sludge Dryer

Item	Design Calculation
1. Design Condition Sludge Generation	Dewatered sludge 83.25 t/day Moisture content 60% (Solar dried sludge) Amount of solid 33.3 ds-t/day
2. Sludge Thermal Drying Drying Method Input sludge Input solid Dried sludge moisture content Operating days Operating hours Output of dried sludge Daily amount of water evaporation Hourly amount of water evaporation <u>Machine calculations</u> Amount of evaporation per belt area Required belt area Quantity of heat pump dryer	Direct Heating Method (Rotary Dryer) 83.25 wet-t/day 33.3 ds-t/day 10% 365 days/year 24hrs $33.3 * 100 / (100 - 10) = 37.0$ t/day $83.25 - 37.0 = 46.25$ t/day $46.25 / 24 = 1.93$ t/hr $58 \text{ kg-water/m}^2 \cdot \text{d} \sim 89 \text{ kg-water/m}^2 \cdot \text{d}$ ✕rated operation (KES standards) $1.93 \text{ t/hr} / (89 \text{ kg/ m}^2 \cdot \text{d} / 1000 / 24) = 520 \text{ m}^2$ $1 \text{ line} = 210 \text{ m}^2$ $520 \text{ m}^2 / 210 \text{ m}^2/\text{line} = 2.5 \text{ lines}$ $\Rightarrow 3 \text{ lines are needed}$ Stand by = 1 line Total including stand by = 4 lines <u>In the case of worst efficiency</u>

	<p>It is depended on sludge condition, for example high viscosity, low water cooling etc.</p> $1.93 \text{ t/hr} / (58 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{d} / 1000 / 24) = 799 \text{ m}^2$ $799 \text{ m}^2 / 210 \text{ m}^2/\text{line} = 3.8 \text{ lines (4 lines)}$ <p>⇒ OK</p> <p>If the condition will be temporarily worse, 4 line dryers would be worked and all sludge could be dried.</p>
3. Results	
Volume of heat pump dryer	Usually working 3 lines
Operating hours	1 line stand by 3 lines: 24 hr/d×365 d/y (The dryer will be controlled by frequency inverters)

Source: Study Team

Table 2.4.5 List of the Equipment for Thermal Sludge Drier

No.	Item	Specification	Number
1	Hopper of solar dried sludge		2
2	Conveyor for sludge input	Flight conveyor Hopper of solar dried sludge → Inlet of heat pump dryer	4
3	Heat pump dryer	Amount of sludge treatment;30t/d	4
4	Conveyor for transmitting dried sludge	Screw conveyor Outlet of heat pump dryer → Conveyor for transmitting dried sludge	4
5	Conveyor for transmitting dried sludge	Flight conveyor → Hopper for dried sludge	1
6	Conveyor for transmitting dried sludge	Screw conveyor Spreading to hopper for dried sludge	1
7	Hopper for dried sludge		2
8	Fan for deodorizing	Volume;30m ³ /min	1
9	Active carbon adsorption tower	Volume;30m ³ /min	1
10	Discharge pump	Volume;1.7m ³ /min	2
11	Feeding pump	Volume;1.6m ³ /min For feeding of cooling water to the dryers	2

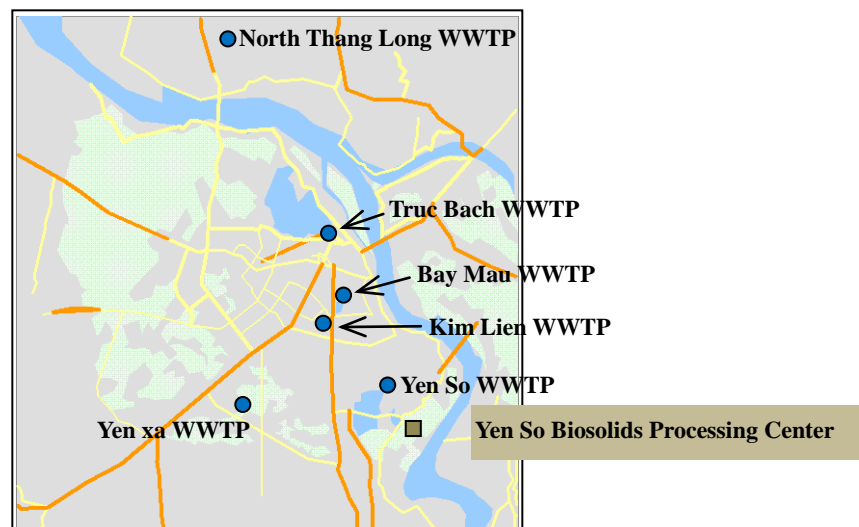
Source: Study Team

2.4.5 Location and Layout Plan

Three options were considered for the selection of the Project location, namely, Yen Xa WWTP, Yen So dredged soil land reclamation site, and Cau Dien Composting Plant. Evaluation criteria used included availability of sufficient area, traffic accessibility, environmental mitigation measure and future up-grading possibility. Yen So dredged soil reclamation site is advantageous because of availability of sufficient land area, distance from current residences and future land use plan for eliminating residences.

Though Yen So dredged soil reclamation site is located outside the dyke area, the current land elevation is as high as existing nearby residential areas. Since the center should have measures against accidental pollution run-off, such measures should be elaborated in F/S and D/D stage. Since the proposed site is far from the nearby residents, it would be possible to maintain the buffer zone against offensive odor as required by Vietnamese Law.

The recommended location of the proposed Biosolids Processing Center is shown in Figure 2.4.1.



Source: JICA Study Team (Picture courtesy of Google Map)

Figure 2.4.1 Location Map

The current condition of the proposed site is shown in the picture below.



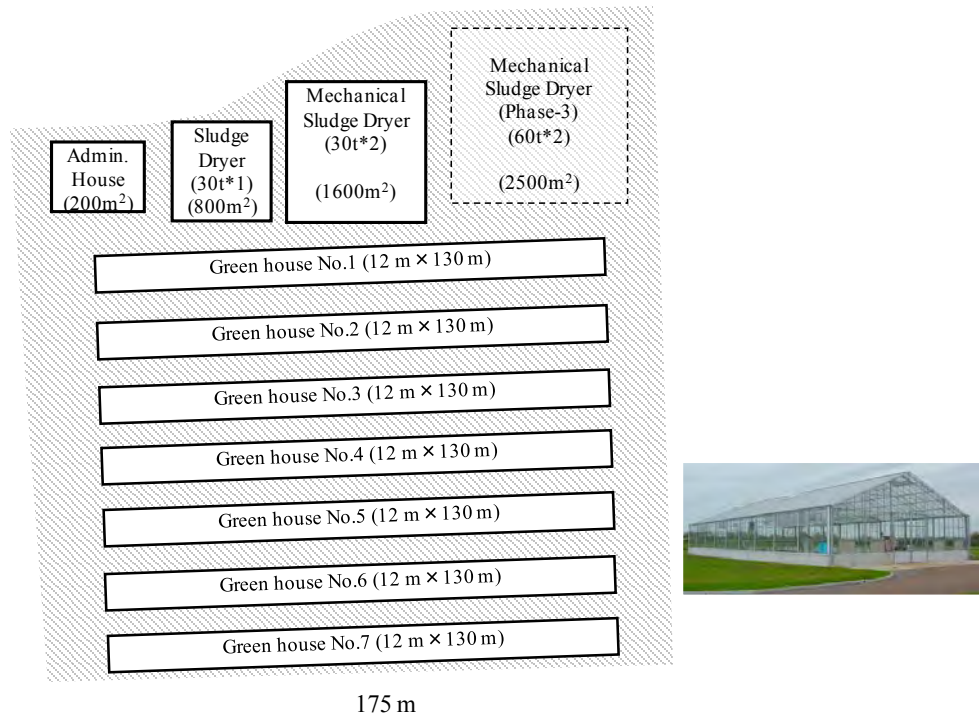
Source: JICA Study Team

Figure 2.4.2 Current Condition of the Proposed Site

The layout plan of the sludge processing center is proposed as shown in Figure 2.4.3. The area of the site is about 3.3ha (around 180 m x 180 m). The center facilities include seven (7) green houses, four (4) units of thermal dryer and an administration house.

The plan view of the Sludge Processing Center, technical plot plan of the thermal dryer units, flow diagram of the thermal dryer units, and plan of the solar green house are shown in Figure 2.4.4, 2.4.5, 2.4.6 and 2.4.7, respectively.

Yen So Sludge Recycle Center



Source: JICA Study Team

Figure 2.4.3 Sludge Recycling Process in Cement Factory

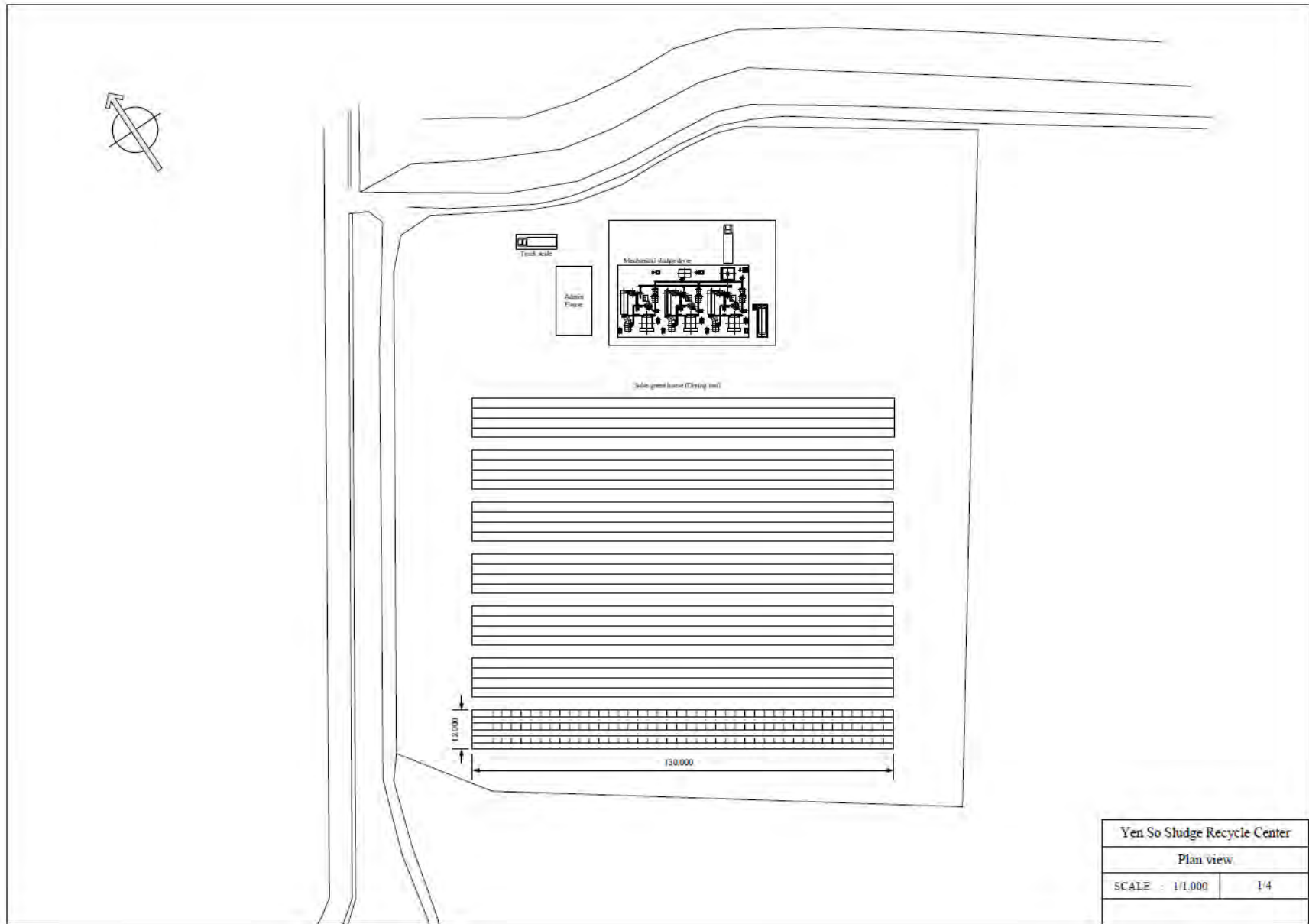
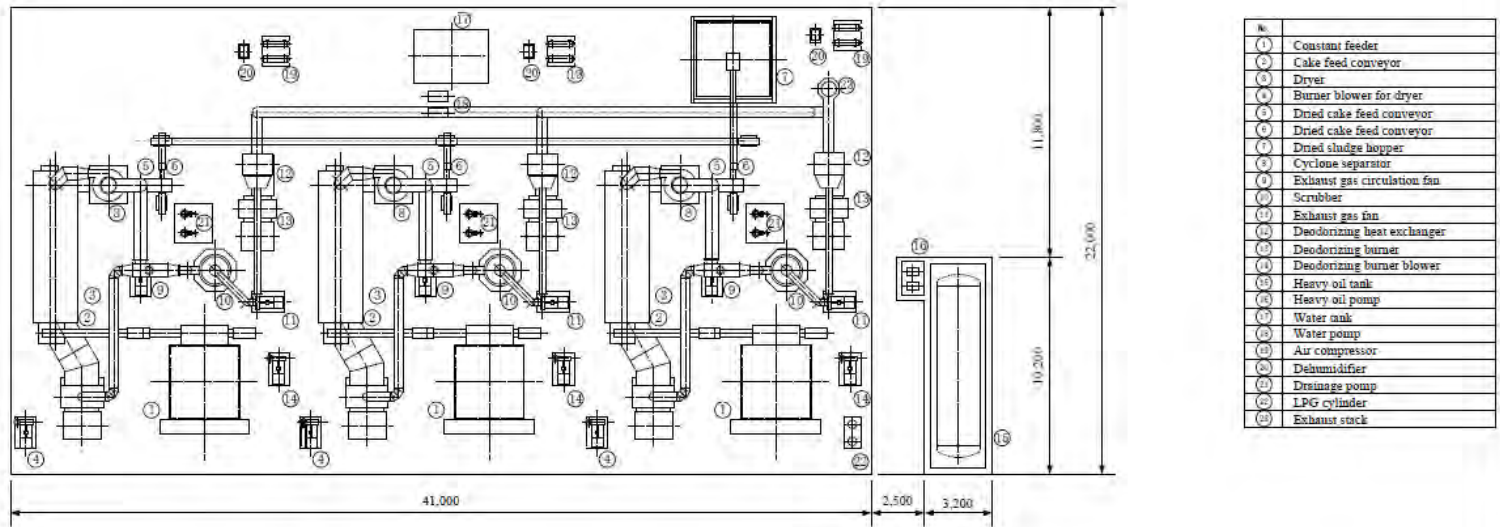


Figure 2.4.4 Plan View of the Sludge Processing Center (Source: JICA Study Team)



No.	
1	Constant feeder
2	Cake feed conveyor
3	Dryer
4	Burner blower for dryer
5	Dried cake feed conveyor
6	Dried cake feed conveyor
7	Dried sludge hopper
8	Cyclone separator
9	Exhaust gas circulation fan
10	Scrubber
11	Exhaust gas fan
12	Deodorizing heat exchanger
13	Deodorizing burner
14	Deodorizing burner blower
15	Heavy oil tank
16	Heavy oil pump
17	Water tank
18	Water pump
19	Air compressor
20	Dehumidifier
21	Drainage pump
22	LPG cylinder
23	Exhaust stack

Sludge Drying Facility	
Plot Plan Drawing	
SCALE : 1/200	2/4

Figure 2.4.5 Plot Plan of Mechanical Facilities (Source: JICA Study Team)

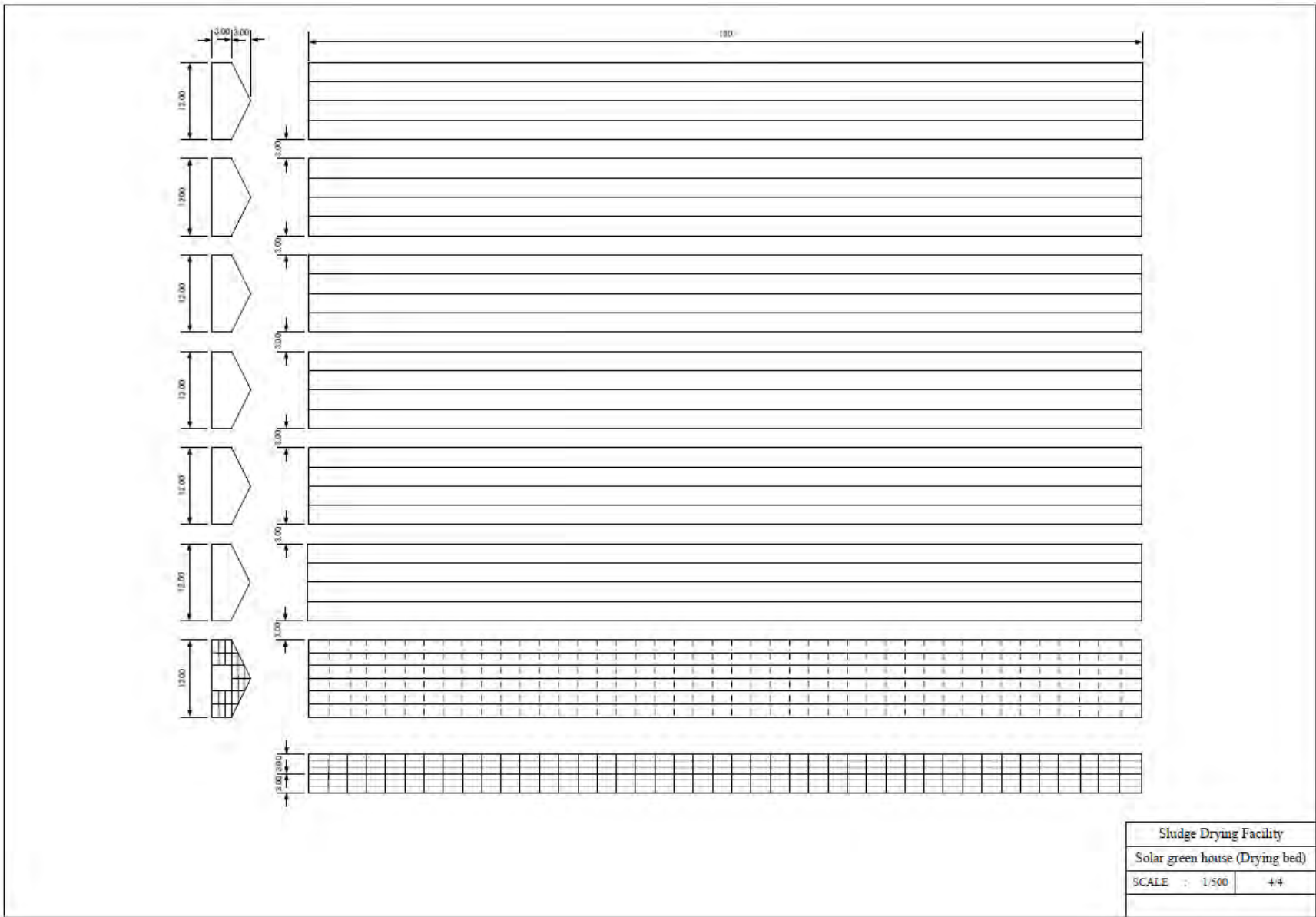


Figure 2.4.7 Plan of the Solar Green House (Source: JICA Study Team)

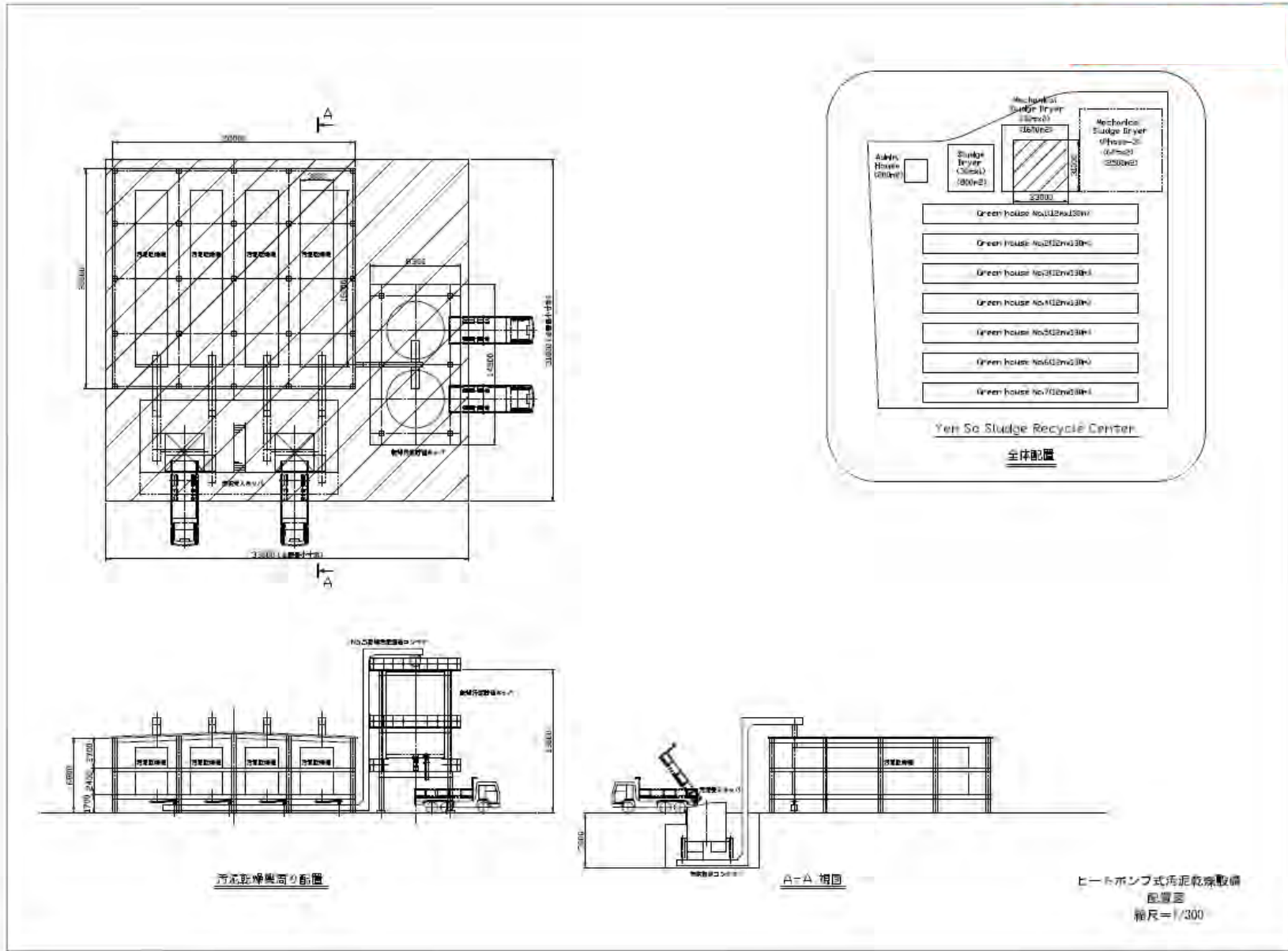


Figure 2.4.8 Plot Plan of the Sludge Dryer (Heat Pump Type) (Source: JICA Study Team)

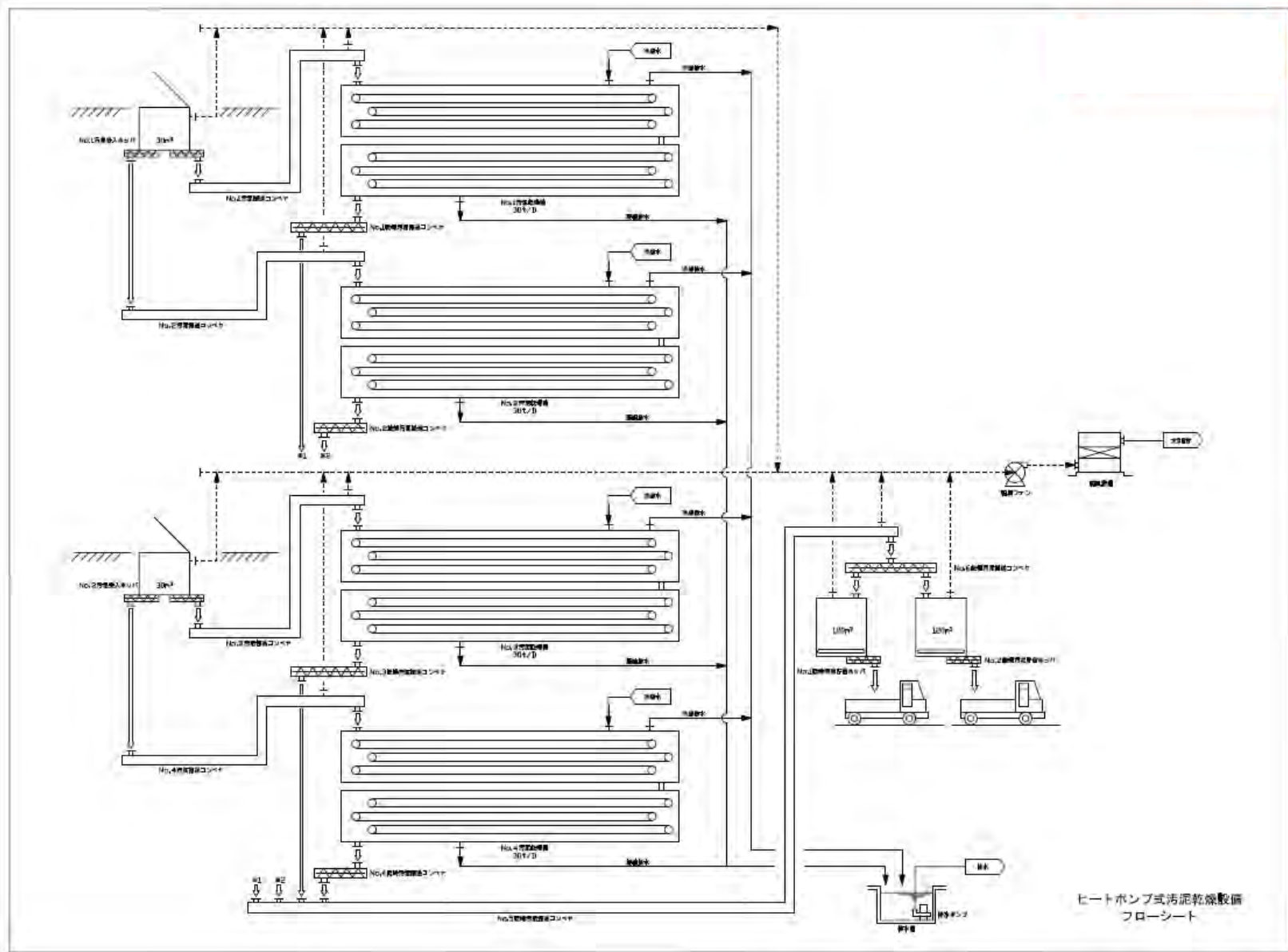


Figure 2.4.9 Flow Diagram of the Thermal Dryer Units (Source: JICA Study Team)

2.5 Plant Operation

During the operation stage, the required number of staffs are shown in the following table.

Table 2.5.1 Required Operation Staff for Sludge Processing Center

	Works items	Jobs Category	Numbers
1	Director	Wastewater treatment	1
2	General affairs	Manager	1
		General	0
		Procurement	0
		Sub total	1
4	Drying Beds	Manager	1
		Water analysis	0
		Monitoring & Control	0
		Daily check & Round	2
		Sub total	3
5	Maintenance	Manager	1
		Drying Beds	0
		Drying Machines	1
		Sub total	2
6	Drying Machines	Manager	1
		Operation	8
		Daily check & Round	3
		Sludge disposal	
		Sub total	12
7	Guards	Manager	0
		Guards	4
		Environmental Equip.	
		Sub total	4
Total			23

Chapter 3 Preliminary Cost Estimation

3.1 Basic Condition

The basic conditions, definitions and assumptions applied for the cost estimate are presented in this section.

(1) Project Execution Method

The Feasibility Study for the BOT project will be executed by outsourcing the task to a reputed Japanese/ Vietnamese consulting company.

The design, procurement, construction will be executed by outsourcing the tasks to a reputed Japanese EPC Contractor.

The operation will be entrusted to the proposed Joint Company for sewerage sector O&M expected to form comprising HSDC and the BOT proponent.

(2) Price Level

The cost is estimated based on the price level of April 2011.

(3) Foreign Currency

For this Proposal, United States Dollar (USD) is used as only currency. Japanese Yen (JPY) and Vietnam Dong (VND) are converted to USD.

(4) Exchange Rate

The foreign currency exchange rates used are,

- VND/US\$ = 20,944
- JPY/US\$ = 83.15, and
- JPY/VND = 0.00397

(5) Unit Price

The construction cost is based on Vietnamese standard price and Japanese standard price as follows:

- Costs of general civil works are based on Vietnamese standard price of 2008 as

used in the JICA Yen Xa WWTP F/S after applying a price escalation from 2008 to 2011.

- Costs of green house, wheel loader, thermal dryer, administration house, storage, track scale and firefighting station are based on quotation from Japanese manufacturers.

3.2 Preparatory Cost

The cost required until the start of the EPC contract can be termed as preparatory cost. The items include,

- Establishment of SPC
- Establishment of Office
- Mobilization of SPC staff
- Feasibility Study
- EIA and environmental clearance
- Contract negotiation for EPC contract

The estimated cost is USD 4.9 million.

3.3 EPC Cost

It is proposed that engineering, procurement and construction will be carried out through one EPC contract.

(1) Direct Construction Cost

The work items of construction works are as follows:

- Civil Works: Solar green house, Administration house with storage, Fire fighting station, Land preparation, Road, General utilities, others
- Mechanical and Electrical Works: Thermal sludge dryer, Wheel loader

Table 3.3.1 shows the breakdown of construction cost. The direct construction cost is around USD 48 million.

Table 3.3.1 Breakdown list of EPC Cost of sludge drying facilities

Item	Unit	Quantity	Unit Price (US\$)	Cost (US\$)	Remarks
1. Solar Green House					
(1) Civil Works					
1) Green House (12m x 130m x 7unit)	m ²	10,920	481	5,252,520	Japanese Standard
2) Concrete Foundation	m ³	5,460	72	393,120	Code No.6111
3) Form Work for Foundation	m ²	994	4.8	4,771	Code No.6311
4) Reinforcement Work for Foundation	t	51	1,683	85,833	Code No.6411
(2) Electrical and Mechanical Works					
1) Wheel Loader	nos	3	120,000	360,000	Japanese Standard
(3) Others					
	L.S.	1	609,624	609,624	10% of (1)+(2)
Sub-Total				6,705,868	
				6,706,000	round to nearest 1,000
2. Thermal Sludge Dryer					
(1) Electrical and Mechanical Works					
1) Drying Facilities (Capacity = 120t) (Heat Pump Style)	L.S.	1	21,528,000	21,528,000	Japanese mfr.
2) Wastewater Treatment Facilities	L.S.	1	1,251,000	1,251,000	Japanese mfr.
(2) Civil Works					
1) House for Drying Facilities	L.S.	1	2,839,000	2,839,000	Japanese mfr.
Sub-Total				25,618,000	
				25,618,000	round to nearest 1,000
3. General Structures					
(1) Civil Works					
1) Land Preparation					
i) General Clearance	m ²	32,400	1.5	48,600	Code No.1211
ii) Stripping of top soil	m ³	16,200	1.2	19,440	Code No.2101
iii) Stripping of top soil(Spoiled material)	m ³	4,860	0.5	2,430	Code No.2101 -1
iv) Embankment by imported sandy material	m ³	81,000	5.1	413,100	Code No.2102
v) Disposal	m ³	21,060	2.5	52,650	Code No.2105
2) Concrete Foundation for Administration House	m ³	100	72	7,200	Code No.6111
3) Form Work for Foundation	m ²	40	4.8	192	Code No.6311
4) Reinforcement Work for Foundation	t	0.5	1,683	842	Code No.6411
5) Concrete for Retaining Wall	m ³	54	84	4,536	Code No.6121
6) Form Work for Wall	m ²	40	6.1	244	Code No.6321
7) Reinforcement Work for Wall	t	1.2	1,697	2,036	Code No.6421
8) Road (Asphalt Pavement)	m ²	18,080	26	470,080	Code No.7120
9) Fence	m	720	109	78,480	Code No.7321
10) Gate	nos	1	8,558	8,558	Code No.7311
11) Administration House	m ²	100	1,203	120,300	Japanese Standard
12) Storage	m ²	100	601	60,100	Japanese Standard
13) Track Scale	nos	1	60,132	60,132	Japanese Standard
14) Firefighting Station	L.S.	1	120,300	120,300	Japanese Standard
15) General Utilities	L.S.	1	293,844	293,844	20% of 1) - 13)
16) Miscellaneous work	L.S.	1	352,613	352,613	20% of 1) - 14)
Sub-Total				2,115,677	
				2,116,000	round to nearest 1,000
Grand-Total				34,440,000	

Source: JICA Study Team

(2) Total EPC Cost

The total EPC cost comprises the construction and procurement cost, engineering

service cost, physical contingency, and various taxes and duties. The direct construction cost is explained above; the other components are assumed as certain percentage of direct construction cost as explained below.

- The engineering service cost for detailed design and construction supervision is estimated as 10 % of total construction and procurement cost.
- The tax and duties include VAT and income tax, which is assumed to be 10% of the sum of construction and procurement cost, and engineering service cost.

The preliminary cost estimates for the EPC is shown in Table 3.3.2, which is around USD 64 million.

Table 3.3.2 Initial cost of sludge drying facilities

Item	Amount (1,000US\$)	Remarks
(1) Construction Cost		
1) Solar Green House	6,706	
2) Thermal Sludge Dryer	25,618	
3) General Structures	2,116	
Sub-Total	34,440	
(2) Engineering Fee	3,444	10% of (1)
(3) Tax	3,788	10% of ((1)+(2))
Total	41,672	

Source: JICA Study Team

3.4 O&M Cost (Routine O&M, Repair and Replacement)

The work items of O&M works can be divided into two broad categories.

- To receive dewatered sludge from WWTPs, to operate green house and thermal drier to make dried sludge, and to provide the dried sludge to end users, and
- To maintain all equipments of the sludge processing facilities (including repair and replacement)

The items of O&M cost is shown as below.

Table 3.4.1 Items of O&M Cost

No.	Items	Contents
1	Labor Cost	
2	Utilities	Electricity consumption cost Oils Consumables
3	Monitoring and inspection cost	
4	Major Repair	
5	Cleaning and yard maintenance	

No.	Items	Contents
6	Other Expenses	Small scale repairs Rental car fee Telephone fee Business equipment rental fee Office supplies Others (water supply, etc.)
7	O&M Consultant	
8	Insurance	
9	Provisional sum for contingency	
10	Overhead	
11	Replacement	

Source: JICA Study Team

Breakdown of some of the items are elaborated further.

- Labor cost

	Works items	Jobs Category	Numbers (Persons)	Labor unit cost(/year)		Sub total(/year)	
				VND	US\$	VND	US\$
1	Director	Wastewater treatment	1	376,992,000	18,000	376,992,000	18,000
2	General affairs	Manager	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400
		General	0	75,398,400	3,600	0	0
		Proqurement	0	75,398,400	3,600	0	0
		Sub total	1			175,929,600	8,400
4	Drying Beds	Manager	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400
		Water anaysis	0	75,398,400	3,600	0	0
		Monitoring & Control	0	75,398,400	3,600	0	0
		Daily check & Round	2	75,398,400	3,600	150,796,800	7,200
		Sub total	3			326,726,400	15,600
5	Maintenance	Manager	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400
		Drying Beds	0	75,398,400	3,600	0	0
		Drying Machines	1	75,398,400	3,600	75,398,400	3,600
		Sub total	2			251,328,000	12,000
6	Drying Machines	Manager	1	175,929,600	8,400	175,929,600	8,400
		Operation	8	75,398,400	3,600	603,187,200	28,800
		Daily check & Round	3	75,398,400	3,600	226,195,200	10,800
		Sludge disposal					
		Sub total	12			1,005,312,000	48,000
7	Guards	Manager	0	175,929,600	8,400	0	0
		Guards	4	75,398,400	3,600	301,593,600	14,400
		Environmental Equip.					
		Sub total	4			301,593,600	14,400
Total			23			2,437,881,600	116,400

- Electricity consumption cost

Cost by category	Unit cost, as of April 2011 (VND)
Off peak hours (13hr)	1,139
Low load hours (6hr)	708
Peak hours (5hr)	2,061

- Oil cost : The cost of diesel oil as of April 2011 is 21,000 VND/L.

- Monitoring and inspection cost

	Items	Unit price
1	Inspection Equipment	1,000 US\$/year
2	Sludge quality analysis as TCVN5945-2005 (12 times/year)	50,000,000 VND/time
	Firefighting equipment	1,000 US\$/year

- Other Expenses

Items	Price	Unit
Small-scale repair	50,000	US\$/year
Rental car fee (car + gasoline)	272,101	US\$/year
Telephone fee	3,000	US\$/year
Business equipment rental fee	10,000	US\$/year
Office supply	5,000	US\$/year
Others (water supply etc.)	40,000	US\$/year
Total	380,101	US\$/year

- Replacement cost : The total proposed O&M period is 22years (2016 – 2037). A replacement is required at 11th year (2026).

The O&M cost is shown in Table 3.4.2. The total O&M cost is around USD 86 million. The average O&M cost per year is USD 3.9 million including the replacement cost in 11th yaer.

Table 3.4.2 O&M Cost

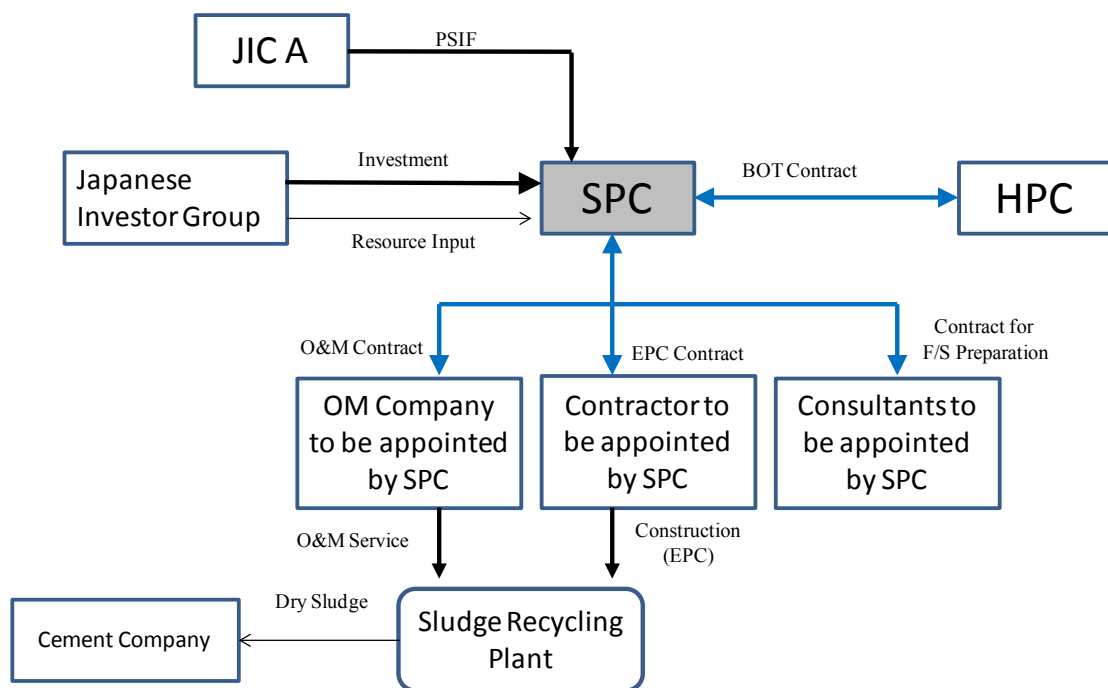
Items	Contents	Year												Sub Total												
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027		2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037		
1	Labor cost	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	2,561	
	Electricity consumption cost	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	8,069
	Oils	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	331
2	Consumables	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	8,583
	Sub-Total	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	16,983
3	Legal inspection cost	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	674
4	Repairs	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	433	9,526
5	Cleaning and yard maintenance	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	106
6	Expenses	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	8,362
7	O&M Consultant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Insurance	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	153
9	Sub-Total(1-8)	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	1,744	38,365
	Provisional sum for Contingency (5% of 1-8)	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	1,918
10	Overhead (6.5% of 1-8)	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	2,494
11	Total	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	42,777
	Replacement																									20,000
	Grand Total	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	1,945	62,779

Chapter 4 Proposed Project Scheme

4.1 Outline of BOT Scheme

4.1.1 Structure of BOT Scheme

A Built-Operate-Transfer (BOT) scheme is proposed for the Yen So Biosolids Processing Center. The main advantages of such scheme are elaborated in Section 1.2.4. The proposed operation time is 22 years. After that the facilities will be transferred to HPC. The structure of the proposed scheme is shown in Figure 4.1.1.



Source: JICA Study Team

Figure 4.1.1 Structure of Proposed Project Scheme

4.1.2 Outline of SPC

It is proposed that a Special Purpose Company (SPC) will be formed who will be the executor of the BOT scheme. The SPC will be comprised of a consortium of Japanese firms arranged by ORIX Corporation.

The tasks of the SPC after the establishment of the SPC, are as below;

- 1) F/S preparation and approval (from October, 2013, to September, 2014)
- 2) Design and Construction (from October, 2014, to December, 2015)
- 3) O&M (from January, 2016, to December, 2034)

As shown in Figure 4.1.1, SPC will subcontract above three works. The SPC will outsource F/S preparation and approval to Japanese and Vietnamese consultants, and outsource the design and construction works to a contractor through an Engineering, Procurement and Construction (EPC) contract. In addition, the SPC will also outsource O&M of the Center to the O&M Company, which is supposed to be established by HSDC and a Japanese consortium.

Under these situations, the SPC is required to have management and administration staff only. The required staff of the SPC is shown in Table 4.1.1.

Table 4.1.1 Required Staff of SPC

Position	Nationality/Status	Number
Chairman	Japanese/Full-time	1
General Director	Japanese/Full-time	1
Chief of Technical Affairs	Japanese/Part-time	1
General Staff	Vietnamese/Full-time	1

Source: JICA Study Team

It is to be noted that the member entities of the Japanese consortium in the O&M company is preferably identical to that of SPC.

4.1.3 Equity and Debt

As shown in Table 3.2.2, the construction cost of the sludge recycling facility is estimated to be 41.7 million US\$. The expenditure in the first 2 years (before operation stage) is estimated to be 13.9 million US\$, which consists of 3.0 million US\$ of initial development cost, 0.75 million US\$ of SPC administrative expense and 10.15 million US\$ of other expense. Required fund for the project is therefore estimated and it will be provided as below;

Required Fund:	55.6 million US\$
Equity (30%) :	16.7 million US\$
Debt: PSIF (70%) :	38.9 million US\$

As for the share of the equity, ORIX Corporation will arrange the share of the equity with other Japanese companies.

4.1.4 Investors

It is proposed that ORIX, KOBELCO and Nippon Koei to be the investors of the Project and they will be the partners of the Special Purpose Company (SPC).

(Corporate profiles of each firm have been attached with this document.)

4.2 Proposed Project Implementation Schedule

The proposed Yen Xo Biosolids Processing Center is essential to manage the huge dewatered sludge coming out from existing WWTPs and the WWTPs to be completed. The dewatered sludge productions from existing WWTPs are low and can be managed with current disposal practice. After completion of Yen So WWTP and Yen Xa WWTP, the amount of dewatered sludge will be increased rapidly, so that the center should be constructed before completion of the both WWTPs.

Yen So WWTP will generate sludge soon, but those are digested sludge, so they will have less organic matter. Such sludge is less appropriate for use as alternate fuel in cement industry. To confirm sludge recycling process, additional study is required by using sludge digested in Yen So WWTP.

For the Project implementation, the following schedule is proposed:

- March 2012 Preparation of Draft Proposal of BOT Project
MOU for Selection of Investor of BOT Project
- August 2012 Commencement of Additional study by using digested
sludge from Yen So WWTP
- September 2012 Approval by relevant ministries after addition to national
BOT Project List
- March 2013 Selection of Investor of BOT Project
- August 2013 Submission of Application for Business Registration and
Investment Certificate to HAPI
- September 2013 Issuance of Business Registration and
Investment Certificate by HPC (Establishment of SPC)
- September 2013 Commencement of Feasibility Study
- September 2014 Approval of Feasibility Study
- September 2014 Commencement of Detailed Design
- January 2015 Commencement of Construction
- January 2016 Commencement of Operation

The implementation schedule of this BOT Project in relation with other projects (like Yen Xa WWTP and O&M Joint Company) is shown in the Figure 4.2.1.

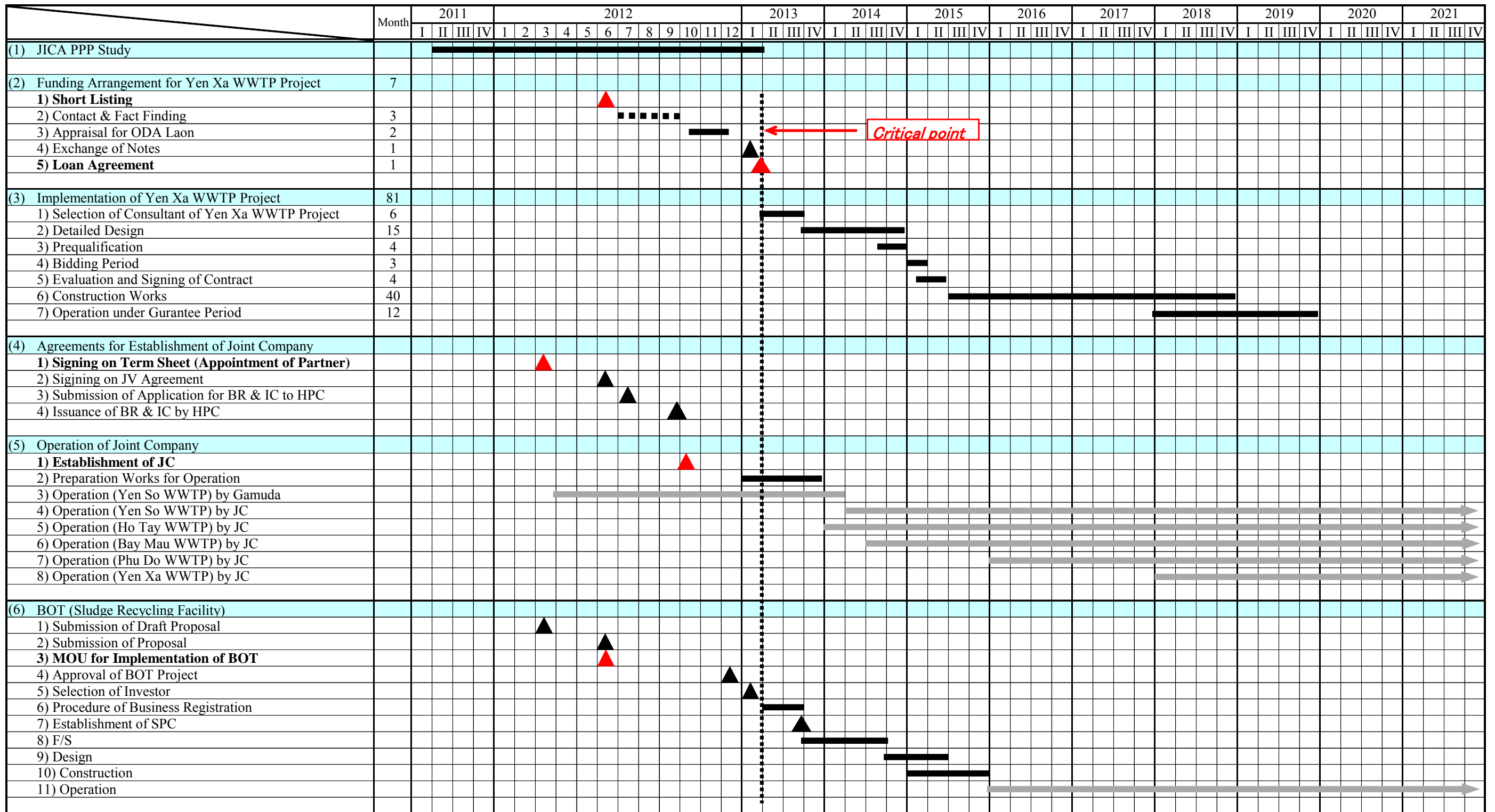


Figure 4.2.1 Proposed Implementation Schedule of Yen Xa WWTP Project and Relevant Projects

Chapter 5 Financial Analysis

5.1 Methodology of Financial Analysis

To conduct the financial analysis, we prepared a financial model for the “Yen So Central Bio-solid Processing Center” (The Facility) to be conducted under the Built-Operate-Transfer scheme (“BOT Project”). The financial model is structured so that analysis of many cases can be done by changing several assumptions as described in the section “5.2 Conditions and Assumptions” below. Outputs are summary of i) Balance Sheet, ii) Profit and Loss Statement, and iii) Cash Flow Statement. Certain financial ratios to evaluate the financial viability are also calculated in the financial model.

5.2 Conditions and Assumptions

Assumptions in the financial model consist of 6 areas, i.e., i) Business plan (schedule and scope), ii) Taxes, iii) Financing, iv) Initial Development and Construction Cost v) Operation and Maintenance Cost, vi) Revenues, and vii) Reserve accounts.

Currency for calculation is US dollars.

Table 5.2.1 Business Plan Assumptions

Item	Assumption
Sharing of Roles among Related Parties in relation to the BOT Project	<p><u>HPC</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - To grant long term license to SPC to construct, own, operate, and maintain the Facility effective during the period of the BOT Project. - Subject to performance by SPC in accordance with the pre-agreed operating standard, to pay to SPC the tariff for its operation of the Facility. - To be transferred the Facility by SPC at the expiry of the period of the BOT Project with no consideration. - To cooperate with SPC for smooth production and absorption of the bio-solid in accordance with the agreement for production and offtake of dry sludge (regarding the preliminary terms and conditions of the agreement, see Appendix-B2.).

Item	Assumption
	<p><u>SPC</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - To build, own, and operate and maintain in accordance with the pre-agreed operating standard, the Facility during the period of the BOT Project (maintenance of the Facility to include to take responsibility for replacements with taking the risk of functional deterioration. SPC will do necessary replacement of the facilities with receiving “pre agreed” service charge include replacement.). - To transfer the Facility to HPC at the expiry of the period of the BOT Project with no consideration. - To cooperate with HPC for smooth production and absorption of the bio-solid in accordance with the agreement for production and offtake of dry sludge as mentioned above. <p><u>JC</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - In accordance with certain long term O&M sub-contract with SPC, to operate and maintain the Facility (maintenance of the Facility to include replacement works but JC does not take the risk of functional deterioration. JC will replace the facilities with the money which it will receive then.).
Schedule	<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of entities <ul style="list-style-type: none"> - SPC: <u>January 1, 2014</u> ; JC: <u>January 1, 2013</u> • Construction Period: <u>one year (year 2015)</u> • Period of O&M (operation and maintenance): <ul style="list-style-type: none"> <u>22 years from January 1, 2016</u> · Period of operation and maintenance is assumed to end the same date as the end date of JC’s O&M contract for Yen Xa WWTP (which is assumed as 20th anniversary of the assumed starting date of the Yen Xa O&M contract, i.e., January 1, 2018). • Project Period: Construction period plus period of O&M
Capacity of the Facility	The Facility is assumed to treat up to 184m ³ per day of raw sludge to be transported to the Facility from the WWTPs in Hanoi.

Item	Assumption															
Operating ratio	<p>In the beginning 3 years in the operation period, less than 100% of operation is assumed. Thereafter, full operation is assumed.</p> <p><Operating Ratio Assumption></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>thereafter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operating Ratio</td> <td>64%</td> <td>64%</td> <td>98%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Annual Treatment Volume ('000m3)</td> <td>43.2</td> <td>43.1</td> <td>66.0</td> <td>67.4</td> </tr> </tbody> </table>	Year	2016	2017	2018	thereafter	Operating Ratio	64%	64%	98%	100%	Annual Treatment Volume ('000m3)	43.2	43.1	66.0	67.4
Year	2016	2017	2018	thereafter												
Operating Ratio	64%	64%	98%	100%												
Annual Treatment Volume ('000m3)	43.2	43.1	66.0	67.4												
Scheme	<p>BOT scheme is assumed, where SPC, established solely for the purpose of conducting this BOT Project, shall build, own, operate, and maintain the Facility during the Project Period, and transfer the Facility to HPC at the expiry of the Project Period without consideration.</p>															

Table 5.2.2 Tax Assumptions

Item	Assumption																
Taxes and rates	<ul style="list-style-type: none"> Value added tax : 10% Income tax : According to the following tax incentive Property tax : None 																
Income tax incentive	<ul style="list-style-type: none"> Applicable income tax rate <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Until 15th anniversary of operation</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Thereafter (until 45th anniversary of operation)</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table> Further reduction of tax rate from the above <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Until 4th anniversary of operation</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Until 9th anniversary of operation thereafter</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table> Applicable income tax rate after above incentives <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Until 4th anniversary of operation</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Until 9th anniversary of operation thereafter</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>Until 15th anniversary of operation thereafter</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Thereafter (until 45th anniversary of operation)</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table> 	Until 15th anniversary of operation	10%	Thereafter (until 45th anniversary of operation)	25%	Until 4 th anniversary of operation	100%	Until 9 th anniversary of operation thereafter	50%	Until 4 th anniversary of operation	0%	Until 9 th anniversary of operation thereafter	5%	Until 15 th anniversary of operation thereafter	10%	Thereafter (until 45th anniversary of operation)	25%
Until 15th anniversary of operation	10%																
Thereafter (until 45th anniversary of operation)	25%																
Until 4 th anniversary of operation	100%																
Until 9 th anniversary of operation thereafter	50%																
Until 4 th anniversary of operation	0%																
Until 9 th anniversary of operation thereafter	5%																
Until 15 th anniversary of operation thereafter	10%																
Thereafter (until 45th anniversary of operation)	25%																

Table 5.2.3 Financing Assumptions

Item	Assumption
Minimum cash amount held in SPC	<ul style="list-style-type: none"> - USD 1 million during Construction Period - USD 8 million during O&M Period
Schedule for equity investment to SPC	<ul style="list-style-type: none"> - Initial Investment: USD 5 million in 2015 to compensate initial development cost (USD 4 million) plus cash (USD 1million) - Thereafter: additional investment to pay for the construction cost etc. during Construction Period
Equity IRR	<ul style="list-style-type: none"> - Equity IRR (“EIRR”) in this analysis is defined as the internal return rate of dividends and final equity return (after expiry of Project Period) to the initial equity investment to SPC by the shareholders of SPC. - In this analysis, 15% EIRR is assumed as the Target EIRR, i.e., the level of tariff revenue is set so that the Target EIRR is expected to be realized.
Subsidy	<ul style="list-style-type: none"> - No subsidy is assumed.
Financing	<p><u>Debt : Equity ratio is assumed as 70 : 30</u></p> <p><u>Equity</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Equity investment is assumed to be made during Construction Period up to 30 % of the total funding amount and in accordance with the schedule for equity investment to SPC as described above. <p><u>Debt</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - SPC is assumed to obtain long term loan in accordance with the following conditions: <ul style="list-style-type: none"> · Signing: Year 2014 · Source: Private Sector Investment Finance program (PSIF) provided by JICA · Currency: Japanese Yen (converted in its effect to USD loan using currency swap transaction) · Grace Period: until end of 2018 · Repayment Conditions: Principal repayments 19 years’ equal principal payment from 2019 (ending in 2037, the last year of Project Period)

	<ul style="list-style-type: none"> · Fees: Not assumed · Interest rate: 5% (USD base after currency swap)
Inflation	- 3% p.a. of inflation (USD base) is assumed.

Table 5.2.4 Initial Development and Construction Cost Assumptions

Item	Assumption
Construction Cost	<ul style="list-style-type: none"> - Construction cost is assumed as USD 41,672 thousand, inclusive of 10% tax. (Amount described here is fixed price, i.e., Amounts actually assumed in the financial model is the same as the amount described here.) - Construction cost is assumed to be paid once at completion of the Facility in 2015.
Initial Development Cost	<ul style="list-style-type: none"> - USD3,000 thousand of initial development cost in 2014, as well as USD750 thousand p.a. of SPC administrative expense in 2014 and 2015 are assumed to be paid. (Amounts described here are both 2011 price, i.e., Amounts actually assumed in the financial model reflect the effect of inflation after 2011.)
Depreciation	<ul style="list-style-type: none"> - For accounting and tax calculation purpose, construction cost and replacement cost is assumed to be booked as fixed asset at completion of construction and replacement, and to be depreciated over the remaining years of the Project Period so that the fixed asset so booked at the end of the Project Period becomes zero.

O&M cost is divided into i)variable cost, ii)fixed cost, and iii)replacement cost and assumed respectively. The amounts so assumed each year (all 2011 price) are described in Attachment 1. (Please note, however, that Attachment 1 does not include SPC's administration cost which in this financial model is assumed as USD 750,000 p.a. (2011 price).)

The mine cost items included in the O&M cost are as follows:

Table 5.5.5 O&M Cost Assumptions

Variable cost	Utility (electricity), Chemicals, etc.
Fixed cost	Labor cost, Legal inspection cost, Repair cost, Cleaning and yard maintenance cost, O&M Consultant Fee, Insurance cost, SPC administrative cost
Replacement Cost	Cost necessary to replace functionally deteriorated equipments etc..

In addition to the cost above, JC's profit portion (which constitutes 5% of JC's O&M cost) is added to SPC's O&M cost.

Tariff revenue and interest income revenue from cash deposit to reserve accounts is assumed.

Table 5.2.6 Assumptions for revenues

Tariff revenue (Revenue from HPC)	<ul style="list-style-type: none"> - As is usual with this type of long term contracts, the revenue which SPC will receive from HPC is assumed to be composed by several sub-charges each of which is intended to cover corresponding cost items. For details, please refer to Attachment 2. - As described in the section of "Financial Assumptions" above, the level of tariff revenue is set so that the Target EIRR (which in this financial analysis is 15%) is expected to be realized.
Other revenue	<ul style="list-style-type: none"> - Income earned from cash deposit is assumed as follows: <ul style="list-style-type: none"> · On the amount deposited into reserve accounts, 1% p.a. of interest income is assumed. · On the amount deposited into other accounts (i.e., unrestricted cash amount), no interest income is assumed.

Two reserve accounts is assumed to be established to which cash is deposited and reserved for future debt service (interest payment and principal repayment of loan) and future replacement in relation to the Facility. They are typical in this type of transaction.

Table 5.2.7 Assumptions for Reserve accounts

Replacement Reserve Account (RRA)	<ul style="list-style-type: none"> - In RRA, cash necessary to compensate future replacement works is assumed to be deposited. - The amount in each year which is to be deposited in RRA is calculated so that the cash outflow in each year for the purpose of replacement is leveled as much as realistically possible.
Debt Service Reserve Account (DSRA)	<ul style="list-style-type: none"> - In DSRA, cash amount equivalent up to 6 months' debt service (interest payment and principal repayment) is deposited in preparation for debt service in case operating cash flow is not sufficient for it.

5.3 Results of Financial Analysis

5.3.1 Tariff

The chart below shows summary of operation and tariff based on the assumptions described in the above. Tariff (expressed in 2011 price) is calculated to be USD 136.84 per m³ of raw sludge to be transferred to the Facility.

Table 5.3.1 Summary of Operation and Tarrifs

		All	SPC Part	JC Part
Operational	Operation from	2016		
	Operation Period	22 yrs.		
	Maximum Capacity ('000 m ³ /day)	0		
	Capacity Factor(%)	100%		
	Usage(%)	96.6%		
	Treatment Volume ('000 m ³ /day)	0.178		
	SPC Scope of work for Replacement(*)	○		
Financial	Tarrif (US\$/m ³ , 2011 price)	136.84	91.14	45.70
	Use			
	Opex	28.11	-	28.11
	Replacement Cost (after reserve account effect)	16.38	2.43	13.95
	Other Costs	16.00	14.65	1.35
	Tax	13.50	13.70	-0.20
	Return of Investment	25.33	22.85	2.48
(Less:Other (Interest) Income)	(0.96)	(0.96)	-	

* ○ : JC will take responsibility, △ : JC will do replacement works but will not take the risk of obsolescence,

— : JC will not do replacement works.

5.3.2 Cash Flow and Financial Forecast of SPC

The chart below shows summary of SPC financial results based on the assumptions described in the above. As far as the resultant financial ratios are concerned, the level of those ratios (e.g.: minimum DSCR, EIRR, etc.) could to certain extent satisfy foreign financiers and investors.

For details of SPC financial result, refer to Attachment 3

Table 5.3.2 Summary of SPC Financial Results

		(USD million)
	Item	Amount/Ratio
Profit & Loss	Revenue	309.9
	Pre Tax Income	87.1
	Net Income	76.3
Cash Flow	Net Income	76.3
	+ Depreciation	75.0
	+ Interestment Expense	25.7
	Cash Flow before Debt Service, Investment, and Financing	176.9
	– Initial Investment	-41.7
	– Replacement Cost	-33.3
	+ Equity Investment	16.7
	+ PSIF	38.9
	Cash Flow bef. Debt Service	157.5
	– Interest Expense	-25.7
	– Principal Repayment	-38.9
	Cash Flow after Debt Service (Dividend and Equity Return)	93.0
	– Dividend	-76.3
– Equity Return	-16.7	
Financial Ratios	Debt Service Coverage Ratio (Loan Life)	2.14
	Minimum Debt Service Coverage Ratio	1.36
	Equity IRR	15.0%
	Minimum Equity to Equity + Loan Ratio	30.1%
	Minimum Cash (excluding reserve accounts)	1.0
	Minimum Cash During O&M Period (excluding reserve accounts)	8.0

5.3.3 Proposal of Service Charge and Payment Condition

The Study Team estimated costs required for implementation of the BOT project for Sludge Recycling Facility. The cost consists of construction cost, daily operation and maintenance cost, repair cost for structures and equipments. The result of cost estimate is shown in Figure 5.3.1. As shown in the figure, significant costs are construction cost (64 million US\$) and repair cost (18 million US\$) in 12th year of operation period. The O&M and repair will be carried out by the Joint Company. It is assumed that the Joint Company will charge to SPC

its own O&M and repair cost plus profit which constitutes 5% of the cost.

The service charge is calculated based on the conditions as shown Table 5.3.1. The service charge is arranged to be uniformity on yearly basis as shown in Figure 5.3.2. It will be charged to HPC by SPC.

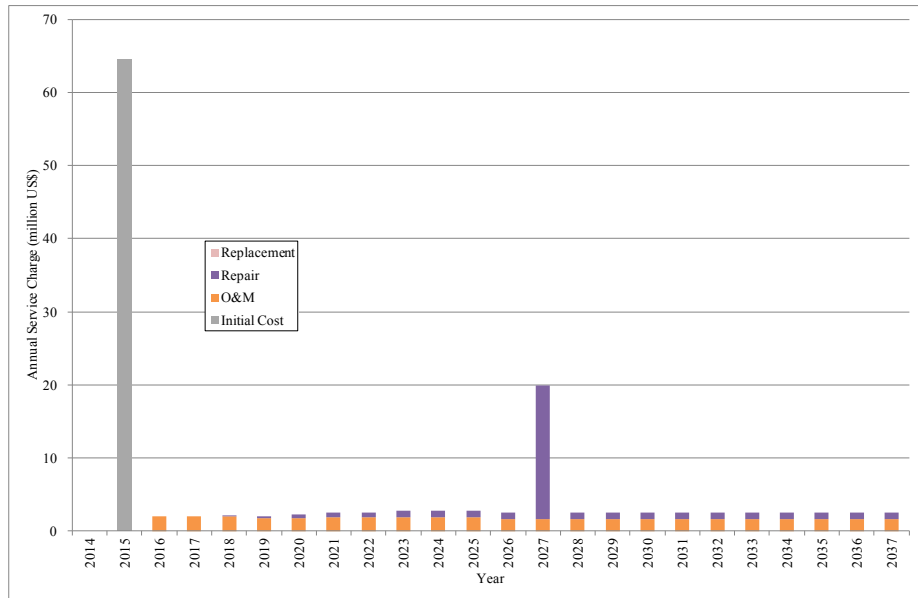


Figure 5.3.1 Actual Expenditure of Construction/O&M/Repair of Sludge Recycling Facility

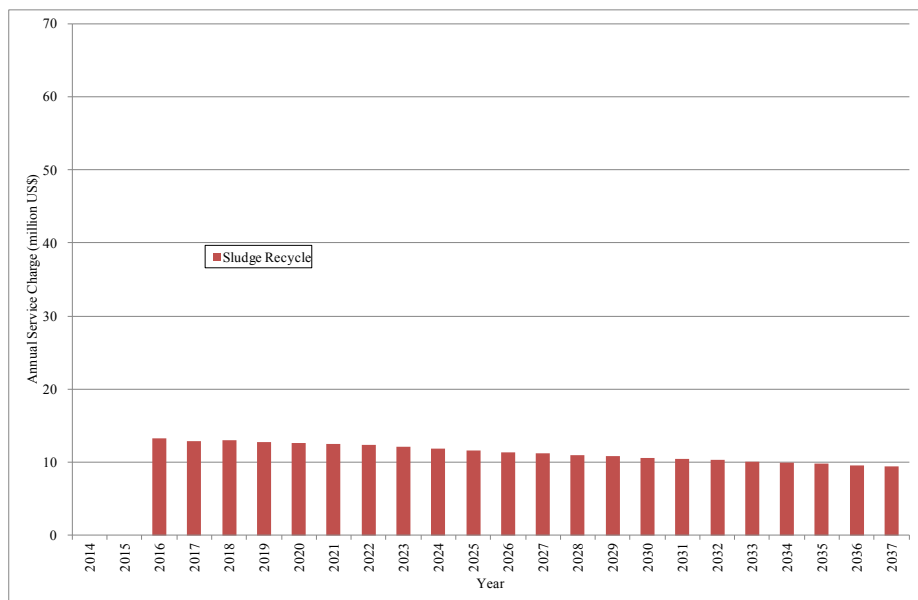


Figure 5.3.2 Service Charge to be paid by HPC for BOT of Sludge Recycling facility

The average service charge to HPC and payment for O&M to the JC are as below;

- Average Service Charge to HPC (11.6 million US\$/year, 145 US\$/m³ of dewatered sludge)

- Expected Average Payment for O&M cost to JC (3.2 million US\$/year, 40 US\$/m³ of dewatered sludge)

Regarding this, we summarized the contents in the attached “Preliminary Terms and Conditions for Production and Offtake of Dry Sludge” (Appendix-B2). Please refer to it.

Table 5.3.3 Operational Assumptions of Yen So Central Bio-solid Processing Center

	Total	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037		
Days		365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	366	365	366	365	
Capacity and Operating Assumptions																											
Maximum Capacity (m ³ /day)	4061.2			185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
Capacity Factor(%)	100.00%			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Usage(%)	96.64%			64.00%	64.00%	98.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Sludge reuse Volume ('000 m ³ p.a.)	1433.5			43	43	66	67	68	67	67	67	68	67	67	67	68	67	67	67	68	67	67	67	68	67	68	67
O&M Cost Assumptions																											
Utility (\$/000m ³)	13,966	-	-	21,045	21,103	13,781	13,506	13,469	13,506	13,506	13,506	13,469	13,506	13,506	13,469	13,506	13,506	13,506	13,469	13,506	13,506	13,506	13,469	13,506	13,506	13,469	13,506
Other Variable(\$/000m ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maintenance ('S000/year)	16144	-	-	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	627	627	627	627	627	627	627	627	627	627	627	627	627	627
Other Fixed Cost ('S000/year)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inflation for Costs		3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
Replacement Cost Assumptions																											
Replacement Cost		-	-	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	11,037	11,037	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510
Inflation of Replacement Cost		3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%

Table 5.3.4 Revenue Structure

Sub-charge Category		Corresponding O&M Cost	Unit (example)	Example of calculation (in 2016, <u>assuming 21000 as VDN/USD exchange rate</u>)	Payment condition (example)	Adjustment of unit charge amount during operation period	
						Adjustment by Inflation	Adjustment by Foreign exchange fluctuation
Variable Payment	Foreign Cost Portion	Variable and foreign currency indexed O&M cost (e.g.: imported fuel)	per m ³	0.046419 (USD/m ³) * 190,000 (m ³ /day) *365 (days) *75% (Usage) = 2,414 thou USD =50,701 mil VDN	To be paid based on the actual amount (m ³) treated	Yes (Based on the inflation in the country using the indexing currency)	Yes (Adjustment will be done so that the amount paid in VND is equivalent to the amount which would be otherwise paid in the indexed currency)
	Domestic Cost Portion	Variable and domestic O&M cost (e.g.: utility)	per m ³			Yes (Based on the inflation in Viet Nam)	None

Sub-charge Category		Corresponding O&M Cost	Unit (example)	Example of calculation (in 2016, <u>assuming 21000 as VDN/USD exchange rate</u>)	Payment condition (example)	Adjustment of unit charge amount during operation period	
						Adjustment by Inflation	Adjustment by Foreign exchange fluctuation
Availability Payment 1	Foreign Cost Portion	Fixed and foreign currency indexed O&M Cost (e.g.: cost for imported spare parts)	per month	5.45661(USD/m3/month) *190,000 (m ³ /day) *12 (month) *100% (Availability) = 12,441 thou USD =261,263 mil VDN	To be paid based on the actual availability of the facility. (e.g.: The amount may be reduced in case of a material accidental shutdown)	Yes (Based on the inflation in the country using the indexing currency)	Yes (Adjustment will be done so that the amount paid in VND is equivalent to the amount which would be otherwise paid in the indexed currency)
	Domestic Portion	Fixed and domestic O&M cost (e.g.: payroll)	per month			Yes (Based on the inflation in Viet Nam)	None
Availability Payment 2	Foreign Cost Portion	Equity investment, Foreign currency indexed loan	per month			None	Yes (Adjustment will be done so that the amount paid in VND is equivalent to the amount which would be otherwise paid in the indexed currency)
	Domestic Portion	Domestic currency indexed loan	per month			(Not assumed so far)	None

Note that detailed analysis of O&M costs has yet to be done to determine the structure of the Revenue in detail.

Table 5.3.5 SPC Summary Financial Forecast

		IRR for Equity 14.99%											2023	2028	2033		
(in USD million)		TOTAL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	to 2027 (ave.)	to 2032 (ave.)	to 2037 (ave.)	2038
Pro -fit and Loss	Revenue	310	-	-	-	-	11.9	12.1	12.6	12.7	12.9	13.1	13.2	13.7	14.7	15.8	-
	Opex	103	-	-	4.1	0.8	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	4.2	4.9	5.6	-
	Depreciation	75	-	-	-	-	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.2	5.1	5.1	-
	VAT	21	-	-	-	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	-
	Interest Expense for PSIF	-	-	-	-4.1	-4.9	-0.9	0.0	0.0	1.6	4.5	7.3	10.2	18.5	13.9	1.3	-0.0
	Other	24	-	-	4.1	4.9	2.9	1.9	1.9	0.3	-2.7	-5.7	-8.7	-17.4	-13.0	-1.0	0.0
	Pre Tax Income	87	-	-	-4.1	-0.8	4.0	4.1	4.5	4.6	4.7	4.9	5.1	5.3	3.0	3.8	-
	Income Tax	11	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	0.9	-
Net Income	76	-	-	-4.1	-0.8	4.0	4.1	4.2	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	2.3	2.8	-	
Cash Flow	Net Income	76	-	-	-4.1	-0.8	4.0	4.1	4.2	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	2.3	2.8	-
	+ Depreciation	75	-	-	-	-	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.2	5.1	5.1	-
	+ Int. Expense	26	-	-	-	-	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.3	0.8	0.3	-
	± Reserve account	-	-	-	-	-1.0	-2.8	-2.8	-3.8	-2.7	-2.7	-2.7	-2.7	3.9	0.1	0.3	-
	CF bef. DS, Invest. & Fin	177	-	-	-4.1	-1.8	5.1	5.2	4.3	5.5	5.5	5.6	5.7	12.5	8.3	8.5	-
	- Initial Investment	-42	-	-	-	-41.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	- Replacement Cost	-33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.7	-	-	-
	+ Equity Investment	17	-	-	5.1	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	+ PSIF	39	-	-	-	38.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cash Flow bef. Debt Service	158	-	-	1.0	7.0	5.1	5.2	4.3	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8	8.3	8.5	-
	- Interest Expense	-26	-	-	-	-	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.9	-1.8	-1.7	-1.3	-0.8	-0.3	-
	- Principal Repayment	-39	-	-	-	-	-	-	-	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-
Cash Flow aft. Debt Service	93	-	-	1.0	7.0	3.1	3.2	2.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.4	5.4	6.1	-	
- Dividend	-76	-	-	-	-	-	-3.1	-4.2	-2.8	-1.6	-1.8	-1.9	-2.4	-5.4	-4.4	-0.0	
- Equity Return	-17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-16.7	
Net Cash Flow	-	-	-	1.0	7.0	3.1	0.1	-1.9	-1.3	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	1.7	-16.7	
Bal -ance Sheet	Unrestricted Cash		-	-	1.0	8.0	11.1	11.2	9.3	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	16.7	-
	Cash in Reserve A/Cs		-	-	-	1.0	3.8	6.5	10.3	13.1	15.8	18.5	21.2	1.5	1.3	-	-
	Total Asset		-	-	1.0	50.7	54.7	55.6	55.7	55.2	56.0	56.8	57.6	60.3	34.7	16.7	-
	PSIF		-	-	-	38.9	38.9	38.9	38.9	36.9	34.8	32.8	30.7	20.5	10.2	-	-
	Total Liability		-	-	-	38.9	38.9	38.9	38.9	36.9	34.8	32.8	30.7	20.5	10.2	-	-
	Paid in Capital		-	-	5.1	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	-
Retained Earnings		-	-	-4.1	-4.9	-0.9	0.0	0.0	1.6	4.5	7.3	10.2	23.1	7.7	0.0	-	
Total Equity		-	-	1.0	11.8	15.8	16.7	16.8	18.3	21.2	24.1	26.9	39.8	24.4	16.7	-	
Ra- tios	DSCR ("Total" column = LLCR)	2.14	-	-	-	-	2.58	2.61	2.18	1.36	1.41	1.47	1.53	1.71	2.88	3.62	-
	Equity to Debt+Equity		0%	0%	100%	30%	30%	30%	30%	31%	32%	34%	35%	45%	62%	100%	0%

Chapter 6 Project Evaluation

6.1 Technical Evaluation

This is the first project for sludge recycling in Vietnam. The Study Team proposes the Bio-solid Processing Center with hybrid process of sludge drying which consists of “Solar Green House” and “Mechanical Thermal Sludge Dryer”. In the discussion in Chapter 2, it is estimated that the cost of the process is reasonable and it will be operated effectively.

The offtaker of the Dry Sludge is proposed to be But Son Cement Company. At present, But Son Cement Company is considering the offtake of the Dry Sludge positively, however, the company has still considered conditions of the offtake, and it may take a few years to achieve the agreement through many discussions and technical considerations. Under these situations, the Study Team is considering a plan of JICA technical assistant program on promotion of sludge recycling activities for smooth implementation of the Project

6.2 Financial Evaluation

In the Study, the service charge of the BOT Project is estimated at 133 US\$/ton of dewatered sludge, in order to achieve the Equity IRR of 15%. It is equivalent to 0.058 US\$/m³ of wastewater. The service charge of wastewater treatment service (including replacement cost) is expected between 0.243 – 0.447 US\$/m³ (0.248 US\$/m³ in average), which are depending on scale of WWTP. It means the service charge of the sludge recycling is additionally required around 13 – 24 % of service charge of wastewater treatment. The Project FIRR (Financial rate of Return) is estimated around 12 %. The Project shall be financially quite feasible, if proposed service charge is accepted by HPC.

6.3 Economic Evaluation

At present, dewatered sludge is disposed (landfilled) at Nam Son Landfill site and Tieu Ky disposal site. The cost of the landfill is low at the present, however, it is supposed to be forbidden near future, because of land availability and environmental reason. In the Study, it is assumed that the landfill of the dewatered sludge will be forbidden and the dewatered sludge should be dried to reduce the volume. Under these conditions, the Study Team proposed the BOT Project, which adopts the lowest cost method of sludge drying.

The service cost of the BOT Project is estimated around 133 US\$/ton, which is much higher than the current disposal cost of dewatered sludge. In the current conditions in Hanoi, the landfill cost is estimated less than 50 US\$. If there is a possibility of disposal/ landfill of dewatered sludge outside of the dyke in Hanoi, the economic benefit is not expected to meet the cost of the BOT Project. Only in the case that landfill site is not available, or the land cost become much more expensive, the economic benefit will meet the cost of the BOT Project, and will become economically feasible.

6.4 Environmental and Social Evaluation

It is proposed that a Feasibility Study will be conducted after the approval of the BOT scheme. An Environmental Impact Assessment (EIA) will be carried out during the F/S. An Environmental Management Plan (EMP) will also be prepared to address any negative impact found.

A preliminary environmental assessment indicates the following positive and negative impacts.

Positive impacts

- Proposed project will ensure much better environmental disposal of sewage sludge compared to land filling.
- The project will provide opportunities for resources recovery (fuel, soil nutrient).
- This project will also contribute to global warming reduction by reducing methane production as compared to land filling.

Negative impacts

- Offensive odor if buffer zone is not maintained properly
- Heavy metals might accumulate in soil, if dried sludge is used as soil conditioner.

The project location is selected in a way to ensure the required buffer zone as required by the Vietnamese law. So, odor will not be an issue.

To understand the chemical composition of the dewatered sludge, JICA Study Team carried out chemical analysis during April 2011 by taking dewatered sludge samples from 3 existing WWTPs, namely, Kim Lien, Truc Bach, and North Thang Long. The result is shown in the following table. The result shows that only Hg cross the allowable limit.

Table 6.5.1 Chemical Composition of Dewatered Sludge

Parameter	Unit	Kim Lien WWTP	Truc Bach WWTP	North Thang Long WWTP	Maximum allowable limit by Japanese Standard ^{*1}	Note
Cd	mg/kg	1.65	1.83	1.54	0.005%	
Ni	mg/kg	61.26	37.1	181.55	0.03%	
Pb	mg/kg	67.45	77.68	91.04	0.01%	
Cr	mg/kg	88.65	37.1	181.55	0.05%	
Hg	mg/kg	22.96	12.51	11.52	0.0002%	NG

Source: JICA Study Team

*1: There is not Vietnamese fertilizer official standard on sewage sludge, so Japanese standard is applied.

6.5 Institutional Evaluation

The SPC is the executor of the BOT Project. The SPC will outsource his major works, such as F/S preparation and approval, Design and Construction, and O&M, to reliable companies, and the SPC will take all responsibilities of the works. The work performance will highly depend on selection of the outsourcing companies. The outsourcing companies shall be selected carefully.

Chapter 7 Qualifications of the Proposal/ Risk Management

7.1 Risk Matrix

The risk matrix of the BOT Project is shown in Table 7.1.1.

Table 7.1.1 Risk Matrix (BOT Project)

Phase	Classification	Risk	Impact to the project	Comment	SPC	HPC	Insurance
Common	Financial Arrangement		Cost increase Project delay/halt		○		
	Site	Land contamination, defect and so on	Cost increase Project delay/halt	If the risk occurs due to grounds attributable to SPC, SPC is to bear the risk and the cost.		○	
		The choice of the proper site for the facility	Project delay/halt Project termination	If the risk occurs due to grounds attributable to SPC, SPC is to bear the risk and the cost.		○	
	Licenses and charters	The delay on procedures for setting up JC and gaining licenses	Cost increase Project delay/halt		○		
	Change of laws	The change or establishment of regulations and laws related to the construction, operation and maintenance for the facility	Cost increase Project delay/halt	JC is incapable of controlling the situation		○	
		Except above, the change or establishment of regulations and laws applied in general	Cost increase Project delay/halt	JC is incapable of controlling the situation The scope for the risk JC takes is to be determined in the documentation	△	△	
	Tax reforms	The change of the tax coverage and tax rate, or the establishment of the new tax code	Cost increase Project delay/halt	JC is incapable of controlling the situation	—	○	
	Licenses	The delay on gaining licenses which HPC should proceed	Cost increase Project delay/halt			○	
		The delay on gaining licenses which SPC should proceed	Cost increase Project delay/halt			○	
		Incapable of gaining licenses caused by HPC	Project termination				○
		Incapable of gaining licenses caused by SPC	Project termination			○	
	Politics	The policy change and political matter	Project delay/halt Project termination	JC is incapable of controlling the situation		○	
	Sabotage and pressure by industrial group	The difficult situation to continue the facility operation caused by the acts of sabotage by industrial group	Cost increase Project delay/halt Project termination			○	
	Infrastructure	Inadequate infrastructure to operate the facility, such as the lack of enough electricity, water supply, roads and so on.	Cost increase Project delay/halt Project termination			○	○
Neighborhood	The lawsuits, claims and riots from neighborhood	Cost increase Project delay/halt Project termination	If the risk occurs due to grounds attributable to SPC, SPC is to bear the risk and the cost.		○		
Environment	Environmental problems influenced by the instruction or requirement from HPC	Cost increase Project delay/halt Project termination			○	○	

		Environmental problems caused by SPC conducts, for instance toxic substance release	Cost increase Project delay/halt Project termination		○		○	
	Third party liability	The damage to the third party caused by the conduct attributable to HPC	Cost increase			○	○	
		The damage to the third party caused by the conduct attributable to SPC	Cost increase		○	—	○	
	Interest rate fluctuations		Cost increase	No assumption for borrowing	○			
	Foreign exchange fluctuations /Price fluctuations		Cost increase	The risk to be shared with the calculating formula in the Service Charge	○	○		
	Force majeure	Natural disaster, war, terror, strikes, riots, civil commotions and so on	Cost increase Project delay/halt Project termination	The definition of "force majeure" needs to be discussed JC is incapable of controlling the situation		○	○	
	HPC default		Cost increase Project delay/halt Project termination			○		
	SPC default		Cost increase Project delay/halt Project termination		○			
Planning & design	Planning & design	The delay and the increase of the cost due to the significant design change, exceeding the demand standard, requested by HPC	Cost increase Project delay/halt			○		
		The request for the significant design change from SPC	Cost increase Project delay/halt		○			
Construction	Construction period	The delay on the completion date, or incompleteness of the facility, caused by HPC	Cost increase Project delay/halt			○		
		The delay on the completion date, or incompleteness of the facility, caused by SPC	Cost increase Project delay/halt		○			
	Construction cost	Cost overrun caused by HPC, for instance, the instruction issued by HPC	Cost increase				○	
		Cost overrun caused by SPC	Cost increase		○			
	Construction management	The failure on supervision of the construction process	Cost increase Project delay/halt		○			
	Damage to the facility	The damage to the facility caused by the contractor during the construction period expect the force majeure	Cost increase Project delay/halt		○			
		The damage to the facility caused by HPC during the construction period expect the force majeure (if any)	Cost increase Project delay/halt			○		
	Facility performance	Not to meet the requirement including shoddy construction	Cost increase Project delay/halt		○			

		Not to meet the qualification for performance test	Cost increase Project delay/halt		○			
	Cost control for the operation of the facility	The increase of the operation cost due to the poor management done by SPC	Cost increase	SPC offsets the risk with JC under O&M agreement	○			
		Price fluctuations/ foreign rate fluctuations	Cost increase	The risk to be shared with the calculating formula in the Service Charge	○	○		
	Replacement cost for the facility	Price fluctuations/ foreign rate fluctuations	Cost increase	The risk to be shared with the calculating formula in the Service Charge	○	○		
		The increase of the replacement cost due to the poor management done by SPC	Cost increase		○			
		The increase of the replacement cost due to more frequent replacements than estimated	Cost increase		○			
	Demand volatility	The volatility on the amount of dewatered sludge carried in to the facility	Cost increase	The risk to be shared with the calculating formula in the Service Charge (Capacity Payment)	○	○		
	Disposal of dry sludge	The refusal to accept the dry sludge from anyone despite the best efforts by SPC	Cost increase			○		
	Lower quality of the processed water (than the demand standard)	Not to meet the requirement for the ability/performance projected, caused by HPC	Cost increase Project delay/halt				○	
		Not to meet the requirement for the ability/performance projected, caused by SPC	Cost increase Project delay/halt			○		
		Not to meet the requirement for the ability/performance due to the force majeure	Cost increase Project delay/halt	The definition of "force majeure" needs to be discussed JC is incapable of controlling the situation			○	
	Over capacity in the facility	To exceed the ability/capacity to process dry sludge in the facility	Project delay/halt	JC does not accept the excess sludge over capacity			○	
	Labor management	The negative reputation accompanied with the employee scandal, corruption,	Cost increase			○		
	Crisis management	Imperfect manuals for the crisis Disconnected communication in the crisis	Cost increase Project delay/halt			○		
		The increase of the cost caused by mismanaging the strikes, the natural disaster, the pandemic and so on	Cost increase Project delay/halt			○		
	Damage to and deterioration of the facility, machines and equipment	The damage to the facility, machines and equipment caused by SPC misconduct	Cost increase	SPC offsets the risk with JC under O&M agreement		○		
The damage to the facility, machines and equipment caused by HPC		Cost increase				○	○	
The damage to the facility, machines and equipment due		Cost increase Project delay/halt	The definition of "force majeure" needs to be discussed			○	○	

Appendix-B1

		to the force majeure		JC is incapable of controlling the situation			
		The damage by having machineries and valuables stolen	Cost increase Project delay/halt		○		○
	Facility defect	The repair cost for fixing the defect discovered during the defect liability period	Cost increase Project delay/halt		○	—	—
		The repair cost for fixing the defect discovered beyond the defect liability period	Cost increase Project delay/halt		○	—	—
Termination	Contract termination (during the contract period and at the expiry of the contract)	Incapable of terminating the contract and operation	Cost increase		○		
		The increase of the cost at the termination of the contract, caused by HPC	Cost increase			○	
		The increase of the cost at the termination of the contract, caused by JC	Cost increase		○		
		The increase of the cost at the termination of the contract, due to the force majeure	Cost increase	The definition of "force majeure" needs to be discussed JC is incapable of controlling the situation			○
	Title transfer	Not to meet the condition stipulated at the date of the title transfer	Cost increase		○		

APPENDIX-B2

Draft of Preliminary Terms and Conditions for Production and Offtake of Dry Sludge

Draft of Preliminary Terms and Conditions for Production and Offtake of Dry Sludge

(FOR DISCUSSION PURPOSE)

This document illustrates preliminary terms and conditions for production and offtake of dry sludge to be produced in the Yen So Bio-Solid Processing Center (“the Center”) to be constructed.

Parties	Hanoi People’s Committee (“HPC”) and a special purpose company (“SPC”) to be established for construction, operation, and maintenance of the Center under the BOT scheme (“Project”).
Capacity of the Center	The Center shall have the capacity of drying Raw Sludge up to 185 ton per day (“Maximum Treatment Volume”) and producing dry sludge (“Dry Sludge”) up to 37 ton per day (“Maximum Production Volume”).
Dewatered Sludge	<p>The Center shall treat the Dewatered sludge to be produced and transported from the following waste water treatment facilities (“Source WWTPs”):</p> <p style="padding-left: 40px;">Eight wastewater treatment plant: 1) Truc Bach WWTP, 2) Kim Lien WWTP, 3) North Thang Long WWTP, 4) Yen So WWTP, 5) Ho Tay WWTP, 6) Bay Mou WWTP , 7) Phu Do WWTP and 8) Yen Xa WWTP</p>
Moisture Contents of Sludge	<p>Dewatered Sludge (Input): not more than 82%</p> <p>Dry Sludge (Output): not more than 10%</p>
Schedule of the Project	<p>Establishment of SPC: September, 2013</p> <p>Commencement Date of Production and Offtake: January, 2016</p> <p>End Date of Production and Offtake: December, 2037</p>

Operation Period	Period from the commencement date of Production and Offtake to the end date thereof.
Basic obligations of SPC	<p>The Basic obligations of SPC include the following:</p> <ol style="list-style-type: none">1. To complete the Center before the Planned Commencement Date of Production and Offtake2. To produce the Dry Sludge up to certain amount not exceeding the Maximum Production Volume during Operation Period, subject enough supply of Raw Sludge by HPC3. To own, operate and maintain the Center during the Operation Period observing the operational standard to be defined later4. To transfer the Center to HPC immediately after the Project Period [without any consideration thereof]5. To cooperate with HPC for the day to day operation of the Center in accordance with the Daily Operating Procedure and Dry Sludge Offtake Procedure6. To obtain and maintain necessary permits and approvals which are necessary to fulfill the obligations of SPC hereunder and are appropriate to be obtained and maintained by SPC
Basic Obligations of HPC	<p>The Basic obligations of HPC include the following</p> <ol style="list-style-type: none">1. To deliver the land with necessary utilities (water supply and power supply utilities) for SPC to design, construct, own, operate and maintain the Center without any consideration, without any charge and without any encumbrance for SPC.2. To supply the Dewatered Sludge up to the amount not exceeding Maximum Treatment Volume and in accordance with the Daily Operating Procedure.3. To transport the Dewatered Sludge from the sites of the Source WWTPs to the site of the Center4. To pay the Service Charge in accordance with the

conditions of payments thereof.

5. To own the Center from SPC immediately after the Project Period
6. To cooperate with SPC for the day to day operation of the Center in accordance with Daily Operating Procedure and Dry Sludge Offtake Procedure
7. To obtain and maintain necessary permits and approvals which are necessary to fulfill the obligations of HPC and SPC hereunder and are appropriate to be obtained and maintained by HPC.
8. To support SPC to obtain and maintain necessary permits and approvals which are necessary to fulfill the obligations of SPC hereunder and are appropriate to be obtained and maintained by SPC

Daily Operating Procedure	[to be defined later. including day to day procedure to determine I]the treatment/production volume of the Center and ii)the schedule for scheduled maintenance.]
Dry Sludge Offtake Procedure	[to be determined later, the outline being described in Attachment 1]
Service Charge	HPC shall pay to SPC Service Charge calculated in accordance with the formula described in Attachment 2
Remarks	THIS DOCUMENT WAS PREPARED AS A DRAFT FOR PRELIMINARY DISCUSSION ONLY. ANY PARTY IS NOT BOUND BY THE TERMS AND CONDITIONS HEREIN. IN ADDITION, DESCRIPTIONS HEREIN ARE NOT COMPREHENSIVE MAY CHANGE, AND INTENTIONALLY OMIT CERTAIN CLAUSES WHICH ARE USUALLY INCLUDED IN THIS TYPE OF DOCUMENTS, INCLUDING "EVENT OF DEFAULTS", "GOVERNING LAWS", "COVENANTS", "REPRESENTATIONS AND WARRANTIES", ETC..

Attachment 1: Dry Sludge Offtake Procedure

1 Continuous Marketing of Potential Dry Sludge Offtakers

1.1 SPC's Responsibility for Marketing

SPC shall be responsible to continuously make efforts which it can reasonably do, to research, find, contact, and negotiate with the potential offtakers of the Dry Sludge around Hanoi City

As of the date when this document is prepared, the situation of the marketing efforts by the potential sponsors of SPC is as follows:

Potential Offtakers: But Son Cement Company

Situation of Negotiation: Waiting for answer from But Son Cement Company on the Proponent's proposal

Proposed Dry sludge offtake plan

Volume: 37 ton of dry sludge per day as maximum (The volume will depend on receiving volume of dewatered sludge from wastewater treatment plants in Hanoi)

Condition: The SPC will hand over the dry sludge to But Son Cement Company without any charge, and But Son Cement will transport the dry sludge from the Bio-solid Processing Center to the company with their own cost.

1.2 HPC's Support for Marketing

As long as SPC makes reasonable efforts as described in Clause 1.1 above, HPC shall continuously provide necessary supports for SPC to do the activities as described therein.

2 Preparation of Dry Sludge Offtake Plan

2.1 SPC's responsibility for Dry Sludge Offtake Plan

SPC shall be responsible for the preparation and implementation of a plan (the "Dry Sludge Offtake Plan") according to which the Dry Sludge is planned to be offtaken. The Dry Sludge Offtake Plan shall be prepared and submitted to HPC according to the following schedule:

- i) By [6] months prior to the Operation Period, in relation to the whole Operation Period;
- ii) By [3] months prior to each operating year in the Project Period, in relation to the next operating year; and
- iii) By [2] month prior to each quarter of operation in the Project Period, in relation to the next 2 consecutive quarter of operation (required only if the plan deviates from the annual plan as referred to in "ii)" above).

2.2 Contents of Dry Sludge Offtake Plan

The Dry Sludge Offtake Plan shall at least include the following contents and shall be required to be prepared considering i) to observe the applicable law in Hanoi ii) to maximize economical benefit for HPC, and iii) to minimize the environmental adverse effect.

- i) Names and outline of business of the potential offtakers;
- ii) Status of negotiation with and such potential offtakers;
- iii) (Where appropriate) summary terms and conditions of offtake by such potential offtakers
- iv) Dry sludge offtake plan (volume, price, cost, etc.) for the period;
- v) Amount and period of which such shortfall shall be created, and measures which SPC is taking to minimize such shortfall, if there is a shortfall of the volume so offtaken according to the Dry Sludge Offtake Plan to the pre-agreed production volume.

2.3 Discussion on the Dry Sludge Offtake Plan

After submission by SPC of the Dry Sludge Offtake Plan, if HPC deems it necessary to discuss about the plan, HPC and SPC shall discuss the plan. If HPC and SPC agree that the plan can be improved in accordance with clause 1 above, SPC shall make efforts (which it can reasonably do before the beginning of the implementation of the plan) to improve the plan and submit it again to HPC.

3 HPC's backup for Offtake

If, despite the exercise of reasonable diligence by SPC, it cannot make all of the Dry Sludge offtaken by third parties, HPC shall offtake the shortfall ("Shortfall") of the Dry Sludge not being offtaken, if and to the extent that i) such shortfall materially adversely affects the ability of SPC to operate the Center, ii) SPC has taken all reasonable due care and reasonable alternative measures in order to avoid the effect of such shortfall on SPC's ability to operate the Center iii) such shortfall is not the direct or indirect result of the failure of SPC to perform any of its obligations hereunder, and iv) SPC has given HPC prompt notice describing such shortfall and its effect upon the ability of SPC to operate the Center.

4 Dry Sludge Offtake Fee and Cost

4.1 Fees

All fees receivable in relation to the offtake of Dry Sludge shall be on account of HPC.

4.2 Costs

All costs payable in relation to the offtake of Dry Sludge shall be on account of the parties as described below:

- i) Up to [****] per year, on account of SPC
- ii) Costs after applying "i)" above is on account of HPC

Attachment 2: Service Charge payment Formula

1 Payment Structure

The Service Charge to be paid shall consist of three parts, as follows

1.1 Variable Payment

This Part of the Service Charge shall represent payment for the actual volume to treat the Raw Sludge and shall consist of Component A 1and Component A2.

1.2 Availability Payment

This Part of the Service Charge shall represent payment for the availability (capacity) to treat the Raw Sludge and shall consist of Component B1, Component B2, Component B3, and Component B4.

1.3 Other payment

[Start up charge, additional charge if Raw Sludge from Source WWTPs does not meet the Quality of Raw Sludge etc., to be defined later]

2 Payment Formulas

2.1 Variable Payment

2.1.1 Component A1

Component A1 is designated to cover variable and foreign currency indexed O&M Cost (e.g.: imported fuel)

For each billing period, Component A1 is the amount calculated in accordance with the following formula:

$$\text{Component A1n} = \text{TVn} * \text{A1R} * (\text{UCPI}[\text{UWPI}]_n / \text{UCPI}[\text{UWPI}]) * \text{EXn} / \text{EX}$$

Where:

Component A1n = Amount to be paid as Component A1 for billing period n

TVn = Actual treatment volume of sludge in the Center for billing

		period n
A1R	=	Component A1 unit charge in VDN per m ³ , which shall be pre-determined
UCPI[UWPI] _n	=	Consumer [Wholesale] Price Index for USA applicable for the billing period
UCPI[UWPI]	=	Consumer [Wholesale] Price Index for USA when A1R, B1R, and B3R is determined
EX _n	=	Exchange rate to exchange 1 [US Dollar] to Vietnam Don for the billing period
EX	=	Exchange rate to exchange 1 [US Dollar] to Vietnam Don when A1R, B1R, and B3R is determined

2.1.2 Component A2

Component A2 is designated to cover variable and VDN indexed O&M Cost (e.g.: utility)

For each billing period, Component A2 is the amount calculated in accordance with the following formula:

$$\boxed{\text{Component A2}_n = \text{TV}_n * \text{A2R} * (\text{VCPI}[\text{VWPI}]_n / \text{VCPI}[\text{VWPI}])}$$

Where:

Component A2 _n	=	Amount to be paid as Component A2 for billing period n
TV _n	=	See 2.1.2
A2R	=	Component A2 unit charge in VDN per m ³ , which shall be pre-determined
VCPI[VWPI] _n	=	Consumer [Wholesale] Price Index for Vietnam applicable for the billing period
VCPI[VWPI]	=	Consumer [Wholesale] Price Index for Vietnam when A2R, B2R, and B4R is determined

2.2 Availability Payment

2.2.1 Component B1

Component B1 is designated to cover fixed and foreign currency indexed O&M Cost (e.g.: cost for imported spare parts)

For each billing period, Component B1 is the amount calculated in accordance with the following formula:

$$\text{Component B1n} = \frac{\text{TCn} * (\text{Hn} / \text{Ha}) * \text{B1R} * \text{AFn} * \{100\% + (\text{AFn} - \text{AFpn}) * \text{ADB1\%}\} * (\text{UCPI}[\text{UWPI}]_n / \text{UCPI}[\text{UWPI}]} * \text{EXn} / \text{EX}}$$

Where:

- Component B1n = Amount to be paid as Component B1 for billing period n
- TCn = Treatment capacity of the Center as most recently determined and applicable for the billing period n, which in principle do not exceed Maximum Treatment Capacity
- Hn = Total Hours in the billing period n
- Ha = Hours in the year in which the billing period falls in
- B1R = Component B1 unit charge in VDN per m³ per year, which shall be pre-determined
- AFn = Actual availability factor for the billing period
- AFpn = Projected availability factor for the billing period as agreed between HPT and SPC
- ADB1% = If AFn > AFpn [**] %, which represents additional charge percentage for exceeding the planned availability factor (AFpn) for the billing period
- If AFn < AFpn, 0%

UCPI[UWPI]_n, UCPI[UWPI], EX_n, EX = See 2.1.1

2.2.2 Component B2

Component B2 is designated to cover fixed and domestic O&M cost

For each billing period, Component B2 is the amount calculated in accordance with the following formula:

$$\text{Component B2n} = \text{TCn} * (\text{Hn} / \text{Ha}) * \text{B2R} * \text{AFn} * \{100\% + (\text{AFn} - \text{AFpn}) * \text{ADB2\%}\} * (\text{VCPI}[\text{VWPI}]_n / \text{VCPI}[\text{VWPI}])$$

Where:

Component B2n = Amount to be paid as Component B2 for billing period n

TCn, Hn, Ha, AFn, AFpn = See 2.2.1

B2R = Component B2 unit charge in VDN per m³ per year, which shall be pre-determined

ADB2% = If AFn > AFpn [**] %, which represents additional charge percentage for exceeding the planned availability factor (AFpn) for the billing period

If AFn < AFpn, 0%

VCPI[VWPI]_n, VCPI[VWPI] = See 2.1.2

2.2.3 Component B3

Component B3 is designated to cover foreign currency denominated capital cost

For each billing period, Component B3 is the amount calculated in accordance with the following formula:

$$\text{Component B3n} = \text{TCn} * (\text{Hn} / \text{Ha}) * \text{B3R} * \text{AFn} * \{100\% + (\text{AFn} - \text{AFpn}) * \text{ADB3\%}\} * \text{EXn} / \text{EX}$$

Where:

Component B3n = Amount to be paid as Component B4 for billing period n

TCn, Hn, Ha, AFn, AFpn = See 2.2.1

B3R = Component B4 unit charge in VDN per m³ per year, which shall be pre-determined

ADB3% = If AFn > AFpn [**] %, which represents additional charge percentage for exceeding the planned availability factor

(AF_{pn}) for the billing period

If AF_n < AF_{pn}, [**%], which represents penalty percentage for not achieving the planned availability factor (AF_{pn}) for the billing period

EX_n, EX = See 2.1.1

2.2.4 Component B4

Component B4 is designated to cover VDN denominated capital cost

For each billing period, Component B4 is the amount calculated in accordance with the following formula:

$$\text{Component B4n} = \text{TCn} * (\text{Hn} / \text{Ha}) * \text{B4R} * \text{AFn} * \{100\% + (\text{AFn} - \text{AFpn}) * \text{ADB4}\%$$

Where:

Component B4n = Amount to be paid as Component B4 for billing period n

TCn, Hn, Ha, AFn, AFpn = See 2.2.1

B4R = Component B4 unit charge in VDN per m³ per year, which shall be pre-determined

ADB4% = If AF_n > AF_{pn} [**] %, which represents additional charge percentage for exceeding the planned availability factor (AF_{pn}) for the billing period

If AF_n < AF_{pn}, [**%], which represents penalty percentage for not achieving the planned availability factor (AF_{pn}) for the billing period