

第7章 汚泥処理・処分の開発計画

7.1 汚泥処理・処分開発のフレームワーク

(1) 開発目標及び戦略

本調査における汚泥処理・処分開発の目標年次は 2020 年である。汚泥処理・処分開発の目標を達成する基本戦略は下記の通りである。

1) 短期（全目標期間の四分の一相当期間以内に達成）：

下水処理システムの機能を確実にする安全、かつ、健全な汚泥処理・処分システムの開発。

2) 長期（目標期間以内に達成）

汚泥の有効利用、及びグリーンディスプレイの促進・探求

(2) 汚泥処理・処分のサービス区域

本汚泥処理・処分開発は、BMA 内における公共下水処理システム、コミュニティ処理システム、及びし尿処理システムの3種類の発生源からの汚泥について考える。

(3) 汚泥発生の予測

1) 公共下水処理場からの汚泥

公共下水処理場から発生する汚泥は生物処理汚泥とリン除去汚泥に分類される。微生物分解に伴い発生するバイオマス、自己消化に伴うバイオマスの減少、流入水中及び流出水中の無機性固形分を設定することにより、流入 BOD 当たりの汚泥発生率 (R_1 , kg-DS/kg-BOD) を求めることができる。流入下水水質に関する検討に基づく代表 BOD (S_0) は 110 mg/l である。想定される下水処理施設の運転条件に対して汚泥発生率 (R_1) 0.58~0.77 が得られる。

リン除去により発生する汚泥量を求めるために、アルミニウム凝集剤を用いるリン除去を想定した。リン 1 mg-P/l 当たり 3.9 mg/l (= 122 / 31 = 3.9) のリン酸アルミニウムよりなる汚泥が発生する。汚泥発生量を計算するために、BOD を前述の 110 mg/l、また、リンをノンケム処理場計画で採用されている設計値 7 mg/l を BMA の代表水質とみなした。これよりリン除去プロセスにおける汚泥発生率 (R_2) は 0.25 (= $7 \times 1/110 \times 3.9 = 0.25$) kg-DS/kg-BOD_{inlet} と計算される。

以上の検討より、下水処理場における総合汚泥発生率 ($R = R_1 + R_2$) は生物処理汚泥とリン処理汚泥とを含め、0.83~1.02 (= (0.58~0.77)+0.25)kg-DS/kg-BOD_{inlet} となる。以上、本調査においては汚泥発生率 (R_1) 1.0 を採用する。

一方、BMA において進行中の処理場においては、これらの設計に基づくと 0.6 から 1.3 の範囲で各種の汚泥発生率(R_1)が適用されている。

2) 小規模コミュニティ処理場からの汚泥

ファイクアンコミュニティプラントについては最近の実際の汚泥発生率である 36 g DS/c/d を採用した。その他のコミュニティプラントについては AIT のフィージピリティー調査に基づいて 60 g DS/c/d を採用した。この数値は、これらの処理場が小規模区域の分流方式であることを考慮すれば妥当と考えられる。

3) し尿処理場からの汚泥

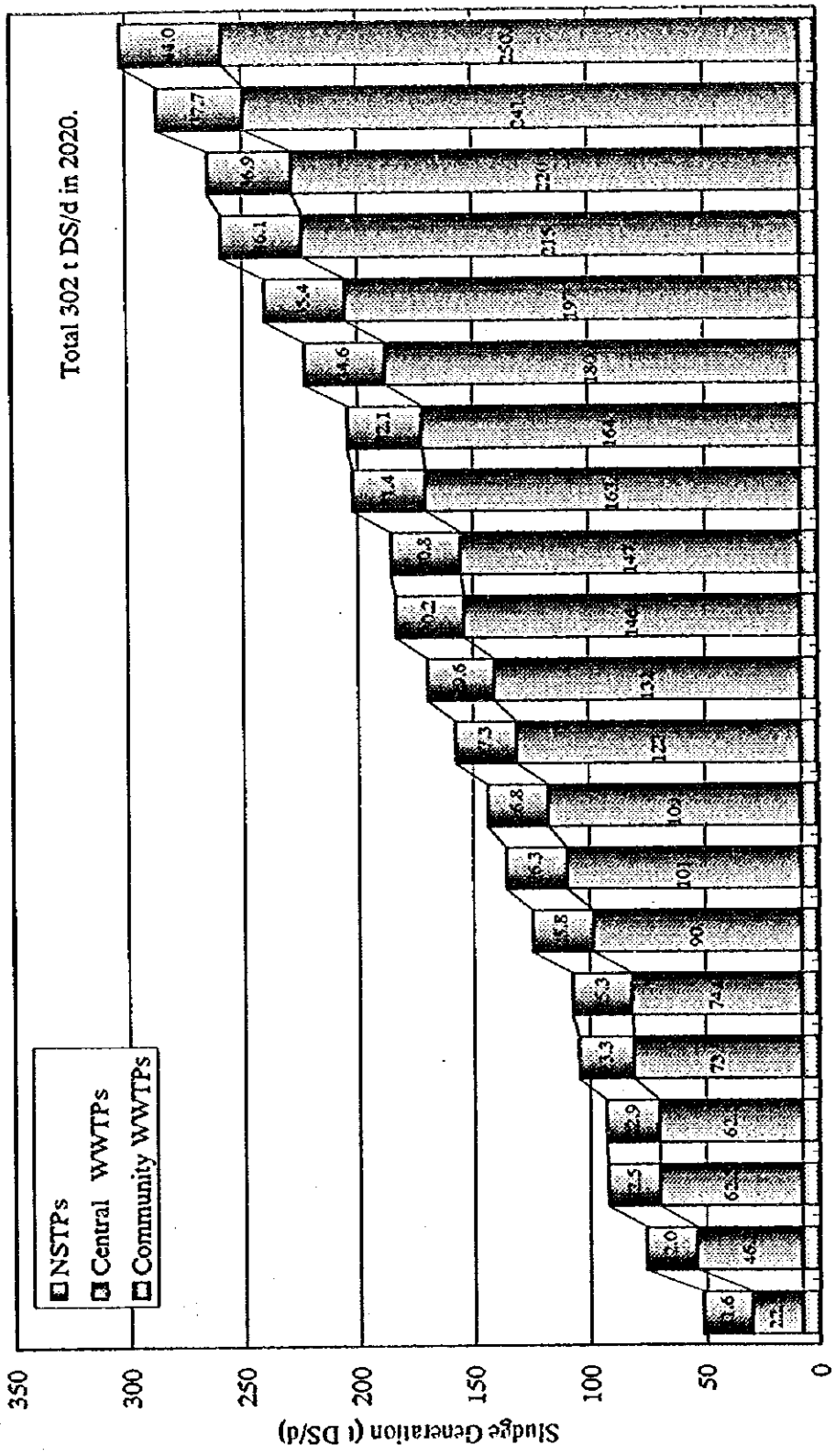
し尿処理場から発生する汚泥は、し尿中の懸濁固形物、上澄水の生物処理により生じる余剰汚泥、並びに、凝集剤に起因する少量の金属水酸化物と考えられる。収集し尿中の懸濁固形物 (SS)、及び、BOD は大幅に変動するが平均的には各々 13.4 g/l、及び、2.7 g/l とみなすことができる。

し尿汚泥の発生率を求めるにあたり、し尿収集量 1.0 l/c/d を用いる。また、し尿処理における SS の除去率を 100 %、バイオマス発生率を流入 BOD の 50 % と仮定する。これより汚泥発生率は $14.8 \text{ g DS/c/d} (13.4 + (2.7 \times 50/100) = 14.8)$ と計算される。これに収集し尿性状の大幅な変動を考慮して 20 % の余裕を見込み、汚泥発生率は $18 \text{ g DS/c/d} (14.8 \times 1.2 = 17.7, \text{ すなわち } 18)$ とする。

4) BMA における全汚泥発生

汚泥発生量を算定するにあたり、処理場計画の内、本調査で計画した処理場については、前述の汚泥発生率 $1.0 \text{ kg-DS/kg-BOD}_{\text{net}}$ を用いる。一方、既存及び進行中の処理場については、それらの設計書にある数値を用いる。また処理場への流入 BOD の 30 % 低減を適用した。

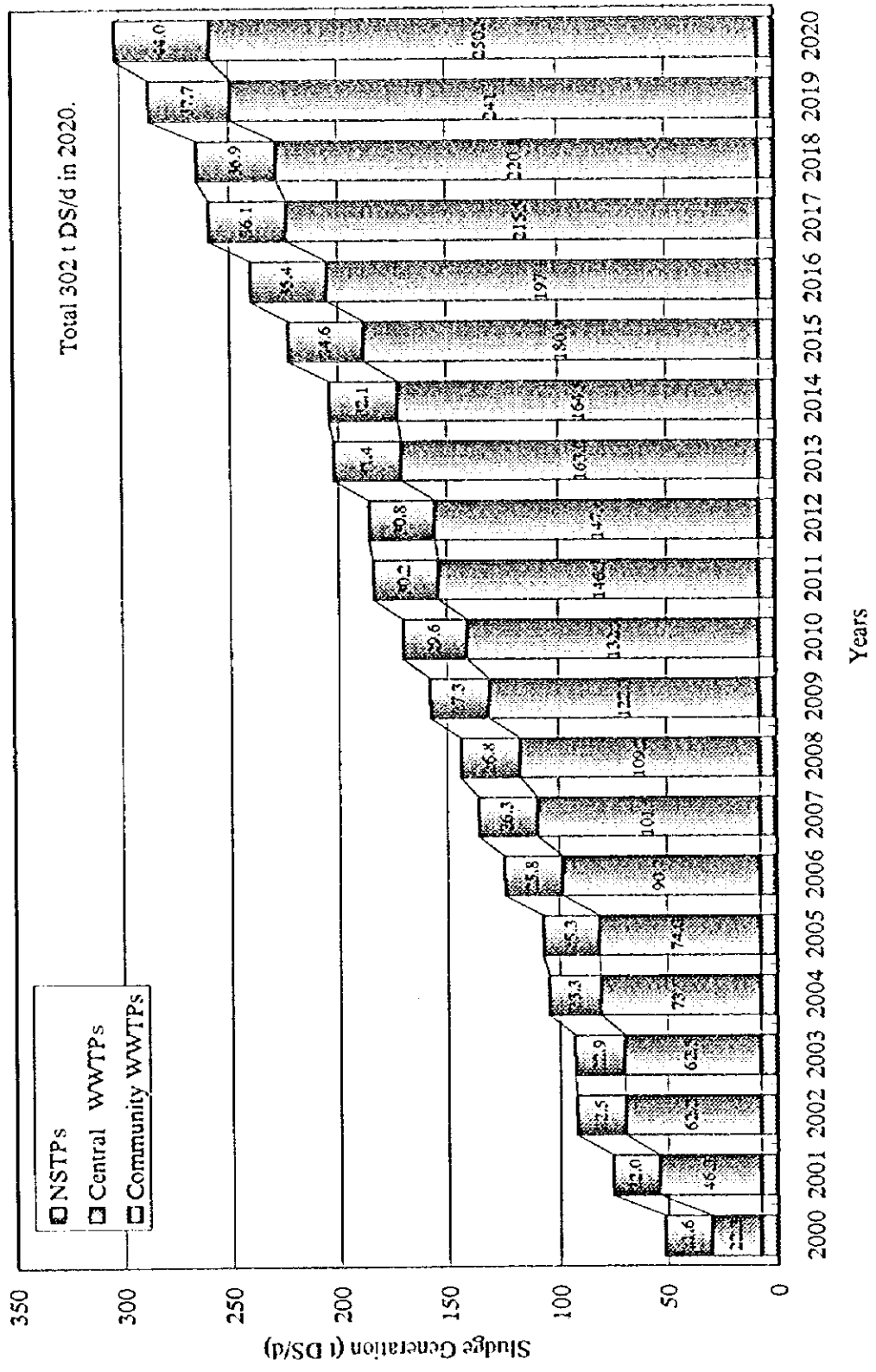
図-7.1.1 は、2000 年から目標年次 2020 年にかけての汚泥発生量の遷移を表している。2020 年における合計汚泥量は 302 t DS/d に達し、これは 1 % 濃度汚泥にすると日量 $30,200 \text{ m}^3$ に相当する。処理場からの汚泥は下水処理施設の整備・開発に応じて次第に増加し、2020 年には BMA の全発生汚泥量の 83 % を占める。し尿汚泥は現在 42 % を占めるが、2020 年には 15 % に低下する。コミュニティプラントからの発生汚泥は 4 から 7 % を占めるが、発生量は現在と変わらない。



Years

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-7.1.1
BMAにおける汚泥発生の遷移



THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-7.1.1
BMAにおける汚泥発生の変移

(4) 汚泥の特質

1) 汚泥固形分濃度

シプラヤ処理場汚泥の揮発性固形分比 (VS 比) は約 50 %と測定されている。この VS 比は BMA の下水処理施設整備の進捗、リン除去プロセスより生じるアルミニウム、または、他金属水酸化物汚泥の発生に伴い、さらに若干低下するであろう。

2) 栄養素

C/N 比、炭素濃度、及び、窒素濃度などについての測定結果に基づくと、全ての汚泥は農業利用に当たって、ほぼ適切な栄養源を含んでいることを示している。

3) 下水への重金属浸入

重金属類の測定値を日本の基準と比較すると、BMA の全ての汚泥において水銀が、また、シプラヤ処理場汚泥においては銅が、平均値で基準を超過する。また、シプラヤ処理場汚泥のニッケルと銅の平均値が AIT の提案値を超過する。さらに、し尿処理場汚泥の水銀は最大値で AIT の提案値を超過する。

将来起こりうる下水道施設への重金属浸入の程度を判定する適切な方法はない。しかし、汚泥の処分及び汚泥の利用を検討する上で、この重金属浸入を評価する必要がある。そこで、下記のリスク評価方法を用いて、関係する処理区域の重金属浸入の可能性を検討した。

この評価に当たっては、工場廃水量、工場数、汚染源工場からの負荷、毒性指標、及び、将来における対象工業の発展可能性などの基準を用いた。従い、この方法により得られた結果は、重金属に対してリスクの高い汚泥がどの場所で発生するかの可能性を示すものである。工業全種の内、各ディストリクトにおいて重金属を含む可能性の有る工場を抽出し、各下水処理区域に割り当てた。重金属排出の可能性がある 6 業種を選定し、表 - 7.1.1 に示すように評価した。

この重金属浸入のリスク評価の結果として、クロントイ東部処理区域を最高位リスクとするランキングが得られた。得られたランキング結果は、本調査において最終処分方法を選定する際の発生汚泥を選別する際の便法として利用された。当然のことではあるが、実際の重金属浸入は、プロジェクト実施の前段階での調査、および、実施段階において実際にモニタリングを行うことにより求められなければならない。

表 - 7.1.1 重金属侵入リスクの評価

Service Areas	Industry Categories										Total Weighting & Point	Total Toxic Factory Number	Total Factory Number	Average Weight Point to One Factory	Toxic Factory Ratio to All Factories	Industrial Wastewater Ratio to Total Sewage	Toxicity Point at Present	Toxicity Index at Present	Potential Growth Index of Industrial Sector	Total Toxicity Index	Risk Ranking		
	Dyeing		Machinery		Electro-plating		Cosmetic/Tooth Paste		Battery													Printing	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)												(A)	(B)
Relative Rating by Industries	3	3	3	5	1	1	1	1	1	1	3	(C)=Σ (B)	(D)=Σ (A)	(E)	(F)= (C)/(D)	(G)= (D)/(E) x100	(H) (%)	(I)= (F)x(G) x(I)	(J)= 10/16 x(I)	(L)= (J)x(K)			
Si Phraya	0	0	99	297	4	20	1	1	7	7	4	12	337	115	2.9	11.1	48	15.6	9.7	2	19.4	8	
Ratanakosin	0	0	68	204	44	220	1	1	11	11	7	21	457	131	3.5	11.2	30	11.7	7.3	3	21.9	6	
Din Daeng	2	6	524	1572	12	60	7	7	44	44	43	129	1818	632	2.9	10.8	16	5.0	3.1	3	9.4	15	
Yannawa	2	6	307	921	30	150	16	16	21	21	151	453	1567	527	3.0	9.9	31	9.2	5.7	3	17.2	9	
Nong Khaem	1	3	204	612	30	150	7	7	14	14	81	243	1029	337	3.1	10.1	25	7.7	4.8	9	43.2	2	
Ratburana	5	15	75	225	15	75	4	4	5	5	36	108	432	140	3.1	7.4	20	4.6	2.9	10	28.7	3	
Chatuchak	1	3	148	444	4	20	3	3	17	17	2	6	493	175	2.8	19.4	6	3.3	2.0	3	6.1	16	
Thonburi South	9	27	298	894	33	165	11	11	18	18	154	462	1577	523	3.0	9.1	29	8.0	5.0	4	20.0	7	
Thonburi Central	4	12	165	495	7	35	2	2	11	11	20	60	615	209	2.9	10.8	23	7.3	4.6	3	13.8	10	
Thonburi North	0	0	95	285	2	10	1	1	8	8	14	42	346	120	2.9	14.0	15	6.1	3.8	3	11.4	13	
Khlong Toey West	1	3	154	462	1	5	10	10	11	11	22	66	557	199	2.8	9.8	27	7.4	4.6	6	27.8	4	
Khlong Toey East	1	3	236	708	9	45	10	10	12	12	51	153	931	319	2.9	14.5	22	9.3	5.8	10	58.0	1	
Bang Sue	0	0	85	255	3	15	3	3	13	13	4	12	298	108	2.8	8.9	13	3.2	2.0	5	10.0	14	
Huay Kwang	1	3	105	315	0	0	7	7	4	4	9	27	356	126	2.8	18.5	16	8.4	5.2	5	26.1	5	
Wang Thong Lang	4	12	187	561	11	55	3	3	12	12	22	66	709	239	3.0	15.8	8	3.8	2.3	5	11.7	12	
Bung Kum	0	0	127	381	1	5	1	1	14	14	4	12	413	147	2.8	18.9	8	4.2	2.7	5	13.3	11	

Notes:

- 1) (A): Numbers of factories
 - 2) (B): Weighting points, = (A) x (Relative Rating by Industries)
 - 3) (H): Industrial wastewater amount to total wastewater amount derived from PCD Master Plan for the existing and ongoing projects and from Table 6.1.2 for proposed schemes.
 - 4) (K): Estimated based on Land Use Plan for the target year of 2017.
- Source: JICA Study Team

7.2 汚泥処理・処分の基本計画

(1) 汚泥最終処分のオプション

汚泥の最終処分オプションは、汚泥利用に対する直接的な意志の有無によって、下記のように単純処分と有効利用とに分類される。

1) 単純処分

- 埋立処分
- 海洋投棄

これらの内、BMA においては埋立処分が現実的なオプションである。

2) 有効利用

有効利用オプションにおいては、汚泥中の特定の物質、例えば無機物、有機物、或いは栄養源などが下記のような特定の目的のために利用される。

- 有機肥料
- 建設資材
- 消化ガスの回収
- 同時焼却における燃料

これらの内、建設資材や同時焼却における有効利用は、BMA の開発前半期にあっては現実性は薄いと考えられる。

(2) 優先すべき汚泥最終処分オプションの選定

最終処分の分類において、時系列的な汚泥処分の優先性は下記のように結論付けられる。

1) 短期的視点において：

- 既存及び今後開発される埋立処分場を使い、安全、かつ、健全な埋立処分システムを確立する
- 他方においては、汚泥コンポスト需要に応じて、できる限りの農業利用を押し進める
- 消化ガスの回収を確立する

2) 長期的視点において：

- 自然環境、及び、人の健康に十分配慮した埋立処分の推進
- 農業利用の継続、及び、一層の拡大
- 汚泥の極限的な減量化、技術研究・開発を伴う多様な有効利用の促進

(3) 埋立処分に関する計画

1) 埋立処分場の将来見通し

BMA 内、及び、近隣においてカンバンセン、ラドクラバンやサムプラカンに既存の埋立処分場がある。これらの内、ナコンバトム県のカンバンセン処分場は現在主として都市廃棄物用として使われているが、約 3,800 百万 m³ の埋立容量を有しており、将来とも有力な処分場である。BMA からの発生汚泥は、都市廃棄物との共同埋立により、ここに処分されることになる。これ以外の既存及び計画中の処分場を考慮すると、今後 2020 年までの期間において埋立処分場が不足することはないものと考えられる。

2) 埋立処分に関連する基準・法規

日本においては、公共下水処理より発生する汚泥は、危険性物質を含む可能性のある工業廃棄物とほぼ同様に特別な配慮のもとに取り扱われている。このように、埋立汚泥は下記の入口条件を満たすことが義務付けられている。

- 85 %以下の含水率以下に脱水すること、又は、灼熱減量 15 %以下に焼却すること
- 通常水を用いた溶出試験による制限値を超える重金属や有機溶剤のような危険性物質を含まないこと

汚泥中に危険性物質が含まれる場合は、セメント固化、焼却、或いは、溶融などにより基準値以下に処理することが義務付けられている。それ以外の場合は、汚泥は外界と完全に遮断された構造の遮断型埋立場に処分しなければならない。

正常な汚泥の場合は適切な貯留構造、遮水構造、浸出水集水・処理システム、水質監視システム、防災施設などを備えた管理型埋立場において、指定された方法に従って処分することができる。埋立技術基準では、消化汚泥については汚泥層は 3.0 m であること、また、未消化脱水汚泥の場合は 0.5 m であることが指定されている。

BMA においては、現在、下水道施設からの汚泥に対する入口基準は設定されていないが、関係部署において策定準備中と報告されている。また、目下のところ、汚泥を対象とした埋立方法は策定されていない。このように、現在のところ BMA は汚泥の埋立処分に関連する基準・法規という面で、今後増加する汚泥への対策は十分ではない。

3) 埋立処分のための汚泥性状

BMA においては、埋立処分に当たって必要とされる性状を定める基準・法規が準備されていない。先進諸国の経験に基づくと、少なくとも含水率 85 %以下の汚泥であることが望ましい。また、重金属類、有機溶剤、或いは、有機塩素などの危険性物質

を考慮すると、グリーンデイスポーザルを推し進めるためには、一定の適切な制限を設けることが必要である。

(4) 農業利用に関する計画

1) 農業利用の展望

汚泥の有効利用の最も有望なオプションは、農地への有機肥料、或いは、土壌改良剤としての利用であることが、先進諸国の経験より知ることができる。ここで、本調査においては農業、園芸、林業、公園の植栽、或いは、ゴルフコースの芝養生などにおいて、肥料、或いは、土壌改良剤として利用する一連の活動を農業利用と称している。

本調査団が実施した需要・市場調査によれば、近隣 10 県において日量約 600 t DS のコンポスト需要が見込まれる。これは 2020 年において BMA から発生する汚泥量日量 300 t DS のを遥かに上回る。

2) 農業利用に関する基準・法規

日本においては、汚泥は、殆どの場合コンポスト化施設において適切に処理された後、コンポストの形態で農業利用されている。基本的に汚泥コンポストは、下記に示す項目について一定の品質を有することが求められている：

- 重金属類などの有害物質
- C/N 比、有機物比などの一般性状

また、土壌中の重金属類の蓄積を防止する管理基準が定められている。

アメリカ合衆国においては、環境保護局により汚泥の農業利用に当たって遵守すべき汚泥の品質、及び、管理規則が定められている。これはクラス A とクラス B とに分類した病原性菌の削減に関する条項も備えたものである。

3) BMA における AIT の調査

BMA より発生する汚泥に関して、その農業利用の実現性を探る目的で大規模な調査が AIT によって実施された。この調査は草、花、観賞用植物や野菜についての施用実験を含むものである。調査の結果として、BMA における汚泥施用の基準の提案を行っている。

4) BMA における現状と課題

タイ国においては、現在、汚泥の農業利用についての基準・法規が整備されていない。汚泥肥料として使用を推進し、また、自然環境や人の健康を保護するために適

切な基準・法規を制定することが必要とされる。この中には、地域特有の慣習、必要要件、各種条件、並びに、制限などが適切に考慮されるべきである。

5) 農業利用汚泥に要求される汚泥性状

汚泥を農業利用する場合、コンポスト化汚泥、乾燥汚泥、脱水汚泥、並びに、焼却汚泥の4種類の形態が考えられる。これらを肥料として比較する目的で、肥料としての価値、取扱い・貯蔵性、製造コスト、環境・人の健康への影響などの評価項目を設けた。加重評価点数法による比較結果に基づくと、最適な汚泥形態はコンポスト化汚泥である。

(5) 汚泥最終処分方法の構想

汚泥の最終処分計画を立案する目的で、各種不確定要素に対して下記のような仮定を便法として設定した。

1) 重金属の含有率：

リスクランキングにおいて中位のシプラヤ処理場を境に上位に位置する汚泥は農業に利用できない「高リスク汚泥」とみなした。また、中位以下に位置する汚泥は、農業利用が可能な「低リスク汚泥」とみなした。この仮定の下では、高リスク汚泥量は2020年において日量114 t DSとなり、これは、ノンケムSTCの処理能力である120 t DSに概ね等しい。また、2010年以降において環境に優しい埋立を推進するために、埋立汚泥に対する一定の重金属類入口基準が設けられるものと想定した。

2) 汚泥肥料の販売量

BMA内、及び、周辺において汚泥肥料の大きな需要が見込まれてはいるが、将来における実際の販売量は不確実である。これは、基本的には市場原理に基づいた需要と供給との関係に依存する。そこで本調査においては、低リスク汚泥の全量が販売されるケースと、また、半量が販売されるケースとの2ケースを想定した。

このような重金属含有率と汚泥肥料の販売についての仮定に基づいて、表-7.2.1に示す汚泥最終処分についての3種類のシナリオを想定する。

- シナリオ1：(全量農業利用)
低リスク汚泥の全量を汚泥肥料として利用する。
- シナリオ2：(焼却の導入)
2020年以降、高リスク汚泥の25%相当を対象として焼却を導入する。
- シナリオ3：(50%農業利用)
低リスク汚泥の50%を汚泥肥料として利用する。

この3種のシナリオに関連しては、下記事項に留意する必要がある。

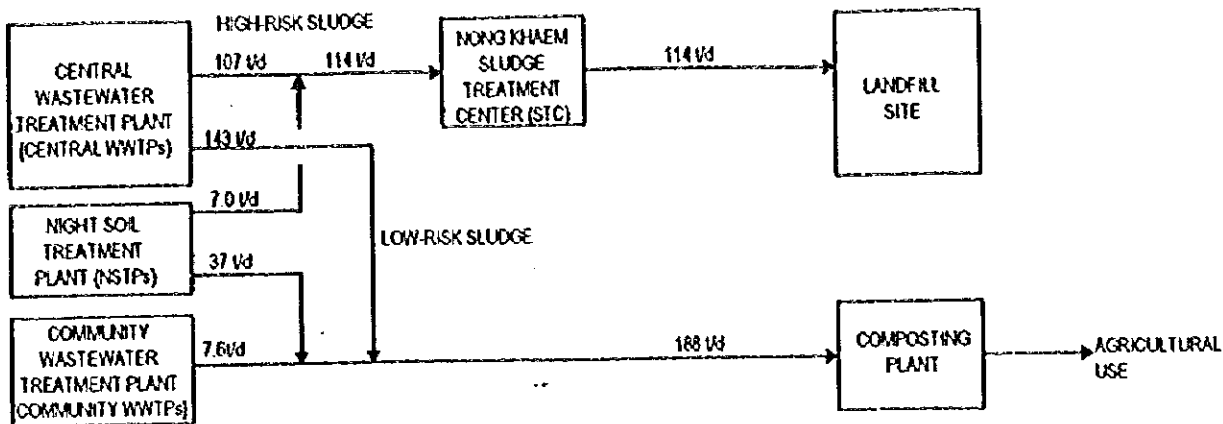
- 高リスク汚泥量（2020年において約38%）は、前述のリスク評価により求めたもので、便法として使われている。実際の段階でのこの比率は下水道施設への重金属浸入を防止する適切な対策を講じることによって軽減できる。
- 汚泥肥料として販売される実際の汚泥比率は、肥料の品質、販売価格、関連する技術的、商業的促進努力などにより大きく左右される。

3種のシナリオについての汚泥バランスを図-7.2.1に示す。

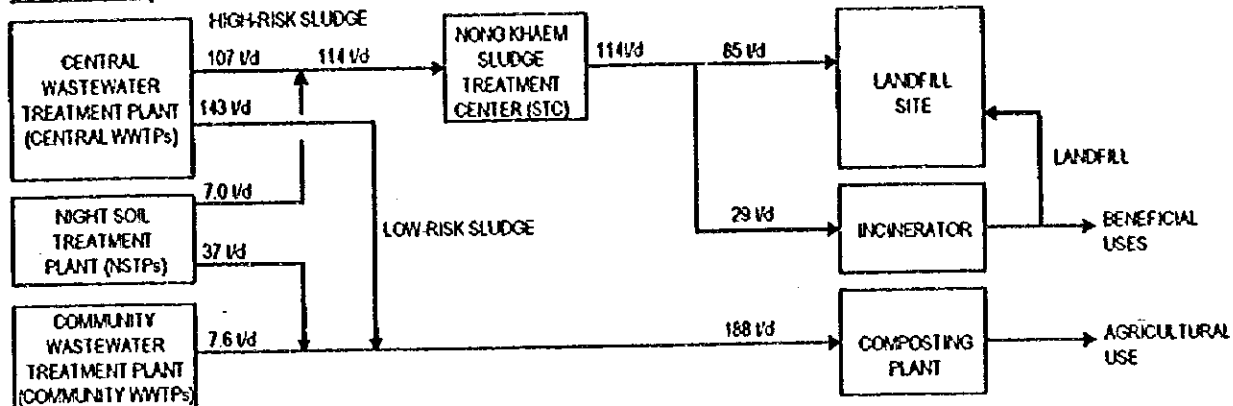
表-7.2.1 BMAにおける汚泥最終処分シナリオ

Scenario	Risk Categories for Heavy Metal		Remarks
	Low-Risk Sludge	High-Risk Sludge	
Scenario 1 (Full Agriculture Use)	All the sludges are used for organic fertilizer after composting.	All the sludges are disposed to the landfill site after dewatering.	
Scenario 2 (Incineration Introduction)	All the sludges are used for organic fertilizer after composting.	Up to 2009: All the sludges are disposed to the landfill site after dewatering. After 2010: 75 % of sludge are disposed to the landfill site after dewatering. The rest (25 %) is incinerated.	The incineration of sludge is assumed to be called for the period afterward 2010, under the following situations: A: Regulations or standards for the landfill disposal of heavy-metal-containing sludge are applied, B: Maximum volume reduction and beneficial uses of sludge are needed.
Scenario 3 (50 % Agricultural Use)	50 % of sludge is used for organic fertilizer after composting. The rest (50 %) of sludge is disposed to the landfill site after dewatering.	All the sludge are disposed to the landfill site after dewatering.	The selling of sludge compost is limited to 50 % of the generation quantity of usable sludge.

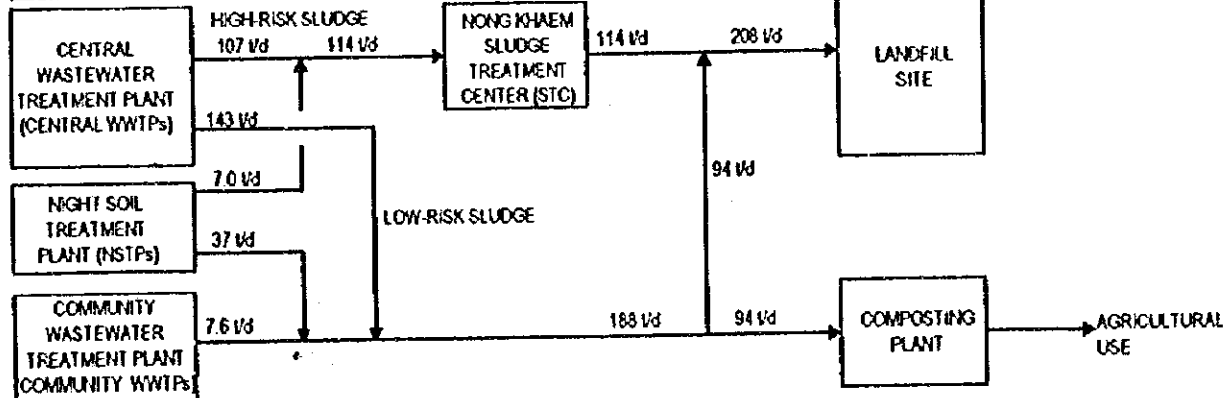
SCENARIO 1 (TOTAL SLUDGE 302 tDS/d)



SCENARIO 2 (TOTAL SLUDGE 302 tDS/d)



SCENARIO 3 (TOTAL SLUDGE 302 tDS/d)



Note :

1) The values of sludge flow are based on the generated sludge, without accounting the Dry Solids reduction in digestion and incineration.

2) The unit : Tonne Dry Sludge.

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-7.2.1
2020年における汚泥マスフローバランス

(6) 汚泥処理計画

1) 汚泥処理プロセスの選定

各汚泥の最終処分計画において要求される汚泥性状は、前述の検討において次のように結論づけられた。

- 埋立処分の場合： 脱水又は焼却されること
- 農業利用の場合： コンポスト化されること

図-7.2.2 は汚泥の消化と焼却を含めて、埋立処分用（頭文字に「L」を付す）、並びに、農業利用（頭文字に「A」を付す）を目的とした合計6種類の汚泥処理プロセスを表している。仮に20tDS/d（1%汚泥として2,000m³/d）の能力の汚泥処理施設を設定し、各オプションの比較を行った。各オプションについて、施設の建設費、運転・維持費、及び回収費を含めて経済的比較を行った結果を表-7.2.2に示した。

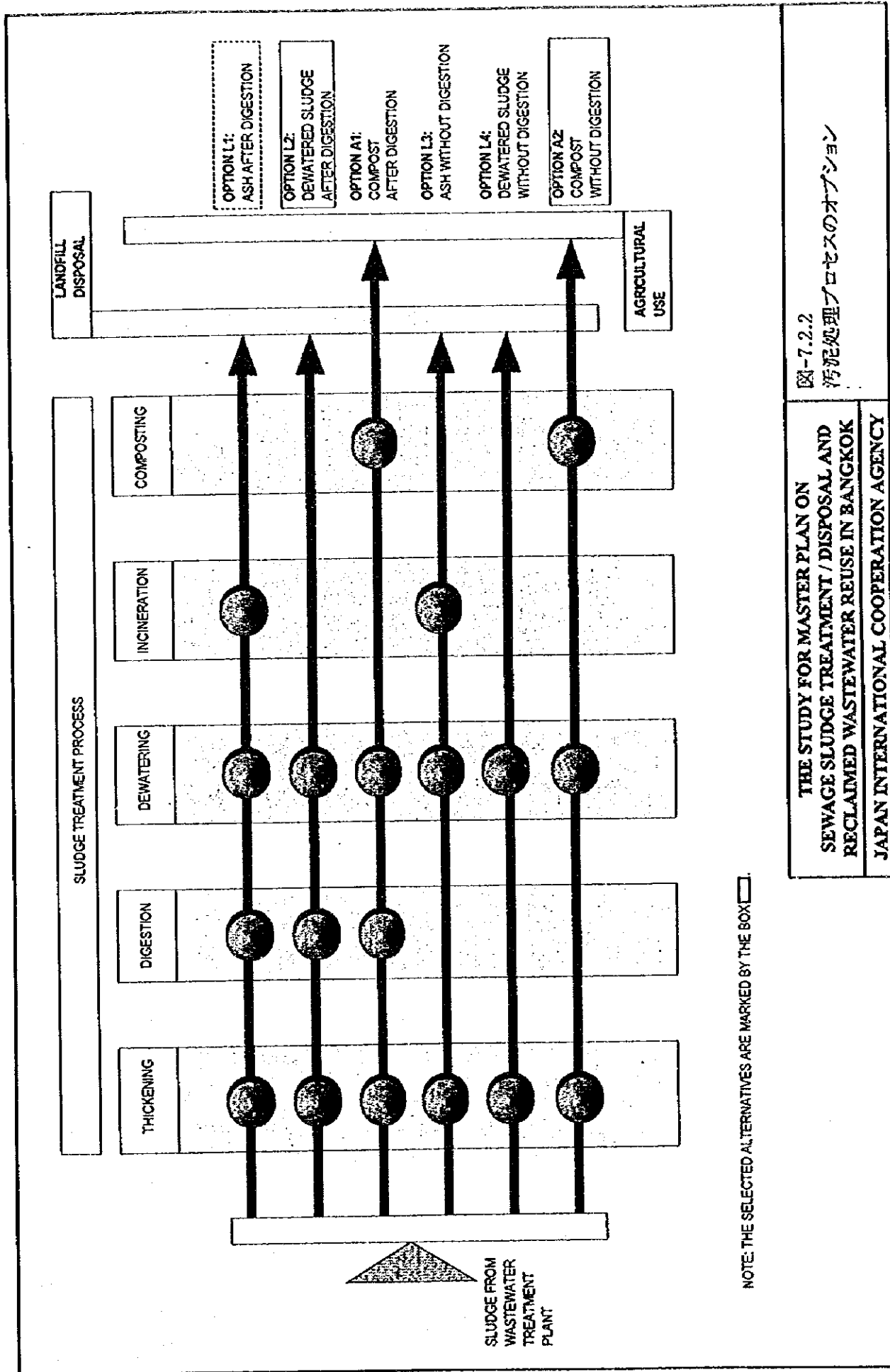
表-7.2.2 汚泥処理プロセスオプションのコスト比較

Options		Total treatment expenses (US\$/d)	Ratio
Option L1	Landfill of ash: after Digestion and Incineration	8,500	100
Option L2	Landfill of dewatered sludge: after Digestion	3,120	37
Option L3	Landfill of ash: after Incineration	9,965	117
Option L4	Landfill of dewatered sludge: Neither digestion nor incineration	3,540	42
Option A1	Agricultural use of compost: after Digestion	1,843	22
Option A2	Agricultural use of compost: No digestion	430	5.1

Note: The total treatment expenses include construction, O & M and the recovering cost in each treatment step.

コスト比較の結果に基づいて、次の最適汚泥処理プロセスを選定した。

- 埋立汚泥についてオプション L2
- 焼却導入においてオプション L1
- 農業利用汚泥についてオプション A2



NOTE: THE SELECTED ALTERNATIVES ARE MARKED BY THE BOX

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-7.2.2
汚泥処理プロセスのオプション

2) 汚泥処理ユニットプロセスの選定

汚泥処理施設を構成する濃縮、消化、脱水、焼却、及び、コンポスト化などのユニットプロセスには各種の形式が用いられている。これらの内、各国において広く使用されている形式を抽出し、BMA に最適な形式を選定した。

下記の評価パラメータに対して「1 (劣る)」から「5 (優れている)」までの素点を与えて加重評価点数法を用いて、各形式を評価した。

- 一般性能の信頼性 (加重率: 6)
- BMA の汚泥性状に対する適性 (加重率: 5)
- 運転・維持の容易さ (加重率: 4)
- コスト性能 (加重率: 3)
- 設置空間の必要性 (加重率: 2)

比較検討の結果として、BMA において用いられる汚泥処理について最適なユニットプロセスが次のように選定された。

- 濃縮としては浮上濃縮装置
- 消化としては中温消化装置
- 脱水としてはベルトプレス脱水機
- 焼却としては流動床炉
- コンポスト化としては横型発酵装置

この結論は、BMA の一般的条件に基づいて得られた例示的なものとみなされるべきである。実際のユニットプロセスの選定は各計画の実際の条件や要件に基づいて行われるべきである。

(7) 汚泥の輸送

汚泥輸送において重要な要件は、輸送が経済的に、かつ、環境に優しく行われることである。この内、BMA においては汚泥からの悪臭発生が重大な関心となる。汚泥からの悪臭発生は通常の下処理施設の運転を適切に行うことによって防止できる場合が多い。石灰添加や薬品使用による悪臭対策は、通常の実施運転における対策が有効でない場合にとられるべきものである。

液状、或いは、固体状ケーキの汚泥を運搬するにはトラック輸送、パイプライン輸送、バージ輸送、及び、鉄道輸送などがある。

7.3 埋立処分汚泥の処理計画

(1) 概説

BMA で発生する汚泥の内、重金属浸入に対して高リスクとみなした汚泥は埋立場に最終処分される。リスクランキングの第 8 順位までの処理場からの汚泥を暫定的に高リスク汚泥とみなすこととする。

ここで、埋立処分汚泥についての最適処理プロセスは次の通りである。

(原汚泥)-----[濃縮]-----[消化]-----[脱水]-----[埋立]

一方、現実的はノンケムにおいて汚泥処理センター建設工事が 2001 年の完成を目標に既に進行中である。このノンケム STC 施設は最適埋立汚泥処理プロセスに必要とする消化プロセスを有しているので、全ての高リスク汚泥を、ここに運搬し、処理することとする。

シナリオ 1 においては、全高リスク汚泥を脱水後、埋立処分することとする。シナリオ 2 においては高リスク汚泥の内、25 %相当を脱水後、焼却することとする。この焼却は埋立基準が厳しくなることへの対策、最大限度の汚泥減量化への対応、または、有効利用が促進されることへの対応を目的とする。シナリオ 3 においては、低リスク汚泥の内 50 %相当が脱水後、埋立処分される。

(2) 計画条件

初期設計によると、ノンケム STC への汚泥は各処理場において脱水された後トラックにより輸送される。故に、埋立処分汚泥の処理施設は、各処理場とノンケム STC とに各々設けられる。これらの計画条件は次の通りである。

- 汚泥量 (2020 年) :
 - 各処理場からの汚泥量: 合計 11,400 m³/d (99 %水分), (114 t DS/d)
 - 焼却炉への汚泥量: 120 t/d (80 %水分)
(シナリオ 2 における脱水汚泥の 25 %)
- 汚泥性状: VS 43 - 48 %
- プロセス性能:
 - 消化での VS 除去: 50 %
 - 脱水汚泥の水分: 80 %
 - 消化ガスの発生: 0.6 Nm³/kg-Removed VS
 - 発生ガス熱量: 5,000 kcal/ Nm³
 - ガスエンジン効率: 35 %
 - 発電効率: 95 %

(3) 各処理場における汚泥処理施設

汚泥は浮上濃縮装置とベルトプレスフィルターによって脱水ケーキの形態に処理される。これらの施設諸元は下記の設計パラメータに基づいて決められる。

- 浮上濃縮装置の水面積負荷： 130 kg DS/m²/d
- ベルトプレスフィルターのろ過速度： 150 kg DS/m/h

(4) ノンケム汚泥処理センター

1) 主仕様

初期設計書によると進行中のノンケム汚泥処理センターの概要は下記の通りである：

- 入口汚泥量： 合計 120 t DS/d： 80 %水分，
VS 比 53 %
(ノンケム WWTP からの汚泥はスラリー)
- 希釈・溶解システム：
 - 汚泥貯留タンク： 合計 324 m³
 - 重力ベルト濃縮装置： 2 台
 - 汚泥ケーキ貯留タンク： 合計 15,000 m³
 - 汚泥混合タンク： 合計 46 m³
- 嫌気消化装置： 合計 45,000 m³ (2 基)
- ベルトプレスフィルター： 2.5 m 幅 x 5 台
- ボイラー及び熱交換器： 合計 4,000 kW

合計 114 t DS/d (2020 年において)の高リスク汚泥がこれらの施設において処理されることとなる。図-7.3.1 は初期設計に基づくノンケム STC のフローダイアグラムを表しており、2010 年以降に提案されている焼却炉、及び、消化ガス回収システムを追記している。

2) 汚泥輸送の代案

ノンケム STC は、既に各処理場からの汚泥輸送をトラックで行うように計画されているが、パイプラインによるポンプ輸送が代案として考えられる。そこで、下記の代案を検討した。

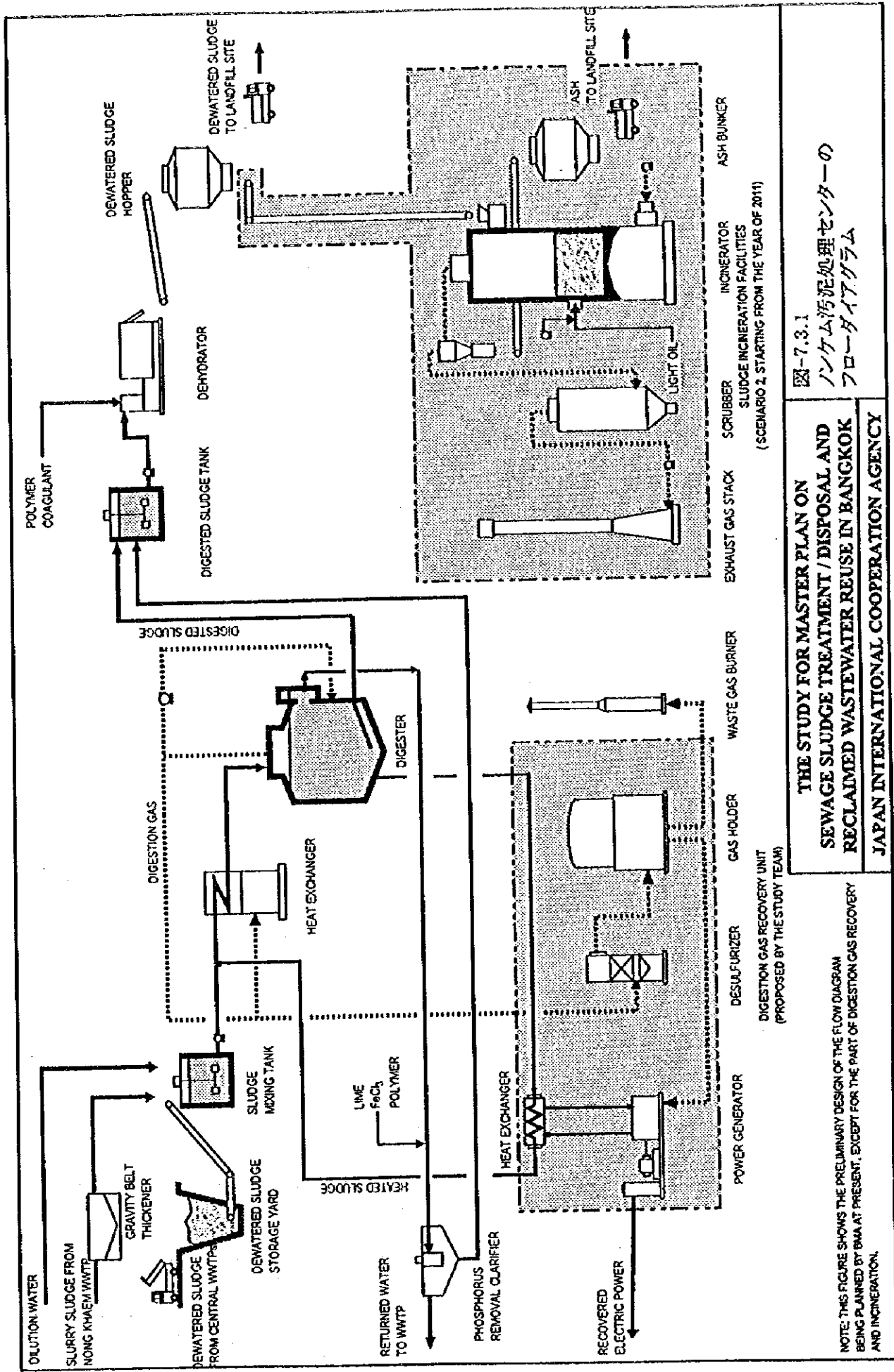


FIG-7.3.1
 THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
 SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
 RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-7.3.1
 バンナム汚泥処理センターの
 プロダクトデザイングラム

NOTE: THIS FIGURE SHOWS THE PRELIMINARY DESIGN OF THE FLOW DIAGRAM
 BEING PLANNED BY BMA AT PRESENT, EXCEPT FOR THE PART OF DIGESTION GAS RECOVERY
 AND INCINERATION.

DIGESTION GAS RECOVERY UNIT
 (PROPOSED BY THE STUDY TEAM)

a) 代案 T1: トラック輸送 (現計画)

(原汚泥)-----[濃縮]-----[脱水]-----トラック輸送-----[ノンケム STC]

b) 代案 T2: パイプラインポンプ輸送

(原汚泥)----パイプラインポンプ輸送--- [ノンケム STC]-----[濃縮]-----[汚泥処理]

双方の代案についてのコスト比較より、パイプラインポンプ輸送の日間費用はトラック輸送の 87 % ですむことになる。実際にパイプラインポンプ輸送を採用する場合、脱水機なしでの運転におけるリスク、あるいはチャオプラヤ川横断に要する建設費等について詳細な検討を行う必要がある。現在進行中のノンケム STC の基本計画は既に BMA によって認可されているので、当面はトラック輸送が行われるであろう。しかし、将来計画として、パイプラインポンプ輸送を詳細に検討すべきである。

(5) 消化ガスによる発電

調査団は、経済的観点から消化ガスを利用した発電施設を設けることを提案する。これらの諸元は次の通りである。

- 消化ガスの発生: 16,100 Nm³/d (2020 年)
- ガスホルダー: 8,000 m³ x 2 基
- ガスエンジン出力: 1,370 kW (2020 年)
- 定格出力: 700 kW x 2 台 (2020 年)
- 実効出力: 1,300 kW

発電を実施する場合、消化装置前の原汚泥の加温はガスエンジンの廃熱を利用して行うものとする。

(6) 汚泥焼却

シナリオ 2 において、ノンケム STC において処理される汚泥の 25 % 相当は焼却処理を受けることとなる。

焼却炉の形式としては、現在各国において広く利用されている流動床焼却炉を想定した。これの主要諸元は次の通りである。

- 流動床焼却炉: 2 基
処理能力 60 t Dewatered Sludge/d x 2 基
燃焼温度 700 to 900 °C

- 付施設:
 - 汚泥供給装置,
 - 補助燃焼装置,
 - 燃料供給装置,
 - 灰貯留ホッパー,
 - 排ガス処理装置.

(7) 埋立処分施設

BMA は、有害物質を含む汚泥に対する入口条件についての法規、及び、汚泥処分に当たっての適正な埋立基準を制定する必要がある。

BMA における汚泥埋立は都市廃棄物との共同埋立となるものと予測されるので、処分場の構造、及び、埋立方法は双方に対して安全なものであるべきである。汚泥は大量の水分と有機物を含んでいるので、少なくとも土により被覆し適切な厚さに分離した層状で処分されるべきである。また、処分施設は、自然環境や人の健康に有害な影響を及ぼさないように適切な施設を具備しなければならない。

7.4 農業利用汚泥の処理計画

(1) 概説

BMA から発生する汚泥の内、低リスク汚泥とみなされた汚泥は BMA 近隣において有機肥料として利用されるものとする。リスクランキングの第9順位以降の処理場から発生する汚泥を、暫定的に低リスク汚泥とみなすものとする。

農業利用汚泥についての最適処理プロセスは次の通りである。

(原汚泥)-----[濃縮]-----[脱水]-----[コンポスト化]----- (有機肥料)

シナリオ 1、及び、2 においては、全ての低リスクが農業用の有機肥料として利用される。一方、シナリオ 3 においては低リスク汚泥の 50 % が農業利用され、残りは脱水後、埋立処分されるものとする。

(2) 計画条件

低リスク汚泥の汚泥処理施設の計画条件は次のように要約される。

- 汚泥量 (2020 年)
 - 処理場からの汚泥: 合計 14,300 m³/d (as 99 %水分)
 - し尿処理場からの汚泥: 合計 185 t/d (as 80 %水分)
 - コミュニティー WWTP からの汚泥: 合計 36.5 t/d (as 80 %水分)
- 汚泥性状: VS 50 - 60 %

- プロセス性能:
 - 脱水汚泥水分: 80 %
 - コンポスト化での VS 除去: 50 %
 - コンポスト化での水分蒸発: 50 %

(3) 各処理場における汚泥処理施設

1) 汚泥処理の代案

殆どの処理場は必要とする施設を極めて限られたスペースに設置しなければならない。集中汚泥処理施設を設けることにより、各処理場のスペースを節約でき、また、スケールアップ効果により処理コストを削減できる可能性がある。このような観点から、次のような代案を想定し、汚泥の輸送を含めてそれらについての経済的実現性を検討した。

- 代案 C1: 個別処理
(原汚泥)-----[濃縮 (個別)]-----[脱水 (個別)]----- (脱水汚泥)
- 代案 C2: 集中汚泥処理
(原汚泥)--パイプラインポンプ輸送--[濃縮 (集中)]--[脱水 (集中)]---- (脱水汚泥)

コスト比較の結果、個別処理の方が集中処理にくらべて遥かに有利であった。これは、集中処理施設が濃縮と脱水に限定されているためにスケールアップ効果がそれほど大きくないためである。それ故、農業利用汚泥の処理としては個別処理方式を提案する。

2) 汚泥処理施設の主要仕様

各処理場において、汚泥は浮上濃縮装置、及び、ベルトプレスフィルターにより脱水ケーキの形態まで処理される。汚泥処理施設は下記の設計パラメータを用いて設計される。

- 浮上濃縮装置の水面積負荷: 130 kg DS/m²/d
- ベルトプレスフィルターのろ過速度: 150 kg DS/m/h

(4) 汚泥コンポスト化施設

コンポスト化施設の実際の設置場所は実施段階において諸条件を考慮して決められるべきであるが、本調査では暫定的に汚泥肥料の消費地となる下記の3箇所に設置するものとした。

- 北部プラント: BMA の北部方面
- 東部プラント: BMA の東部方面
- 西部プラント: BMA の西部方面 (ノンケムを含む)

表-7.4.1 はこれらコンポスト化施設の製造能力をあらわしている。

表-7.4.1 汚泥コンポスト化施設の製造能力

Name	Dewatered Sludge Input in 2020 (and Output in 2020)		Sludge Sources
	Scenario 1 and 2	Scenario 3	
North Plant	334 t Wet/d (334 t Product/d)	167 t Wet/d (167 t Product/d)	Bang Sue Chatuchak Din Daeng Community WWTPs
East Plant	218 t Wet/d (218 t Product/d)	109 t Wet/d (109 t Product/d)	Bung Kum Wang Thong Lang On-Nut (Night soil) Community WWTPs
West Plant	389 t Wet/d (389 t Product/d)	195 t Wet/d (195 t Product/d)	Thonburi North Thonburi Central Nong Khaem (Night soil) Yannawa (Sewage) Yannawa (Night soil) Community WWTPs

コンポスト化施設としては、コンポストの品質や経済性を考慮して、走行バドル型切替し装置を備えた横型発酵装置を提案する。図-7.4.1 はコンポスト化施設のフローを表している。

7.5 BMA における汚泥処理・処分計画の提案

(1) 総合汚泥処理・処分フロー

図-7.5.1、及び、図-7.5.2 は 2020 年における全体の計画とマスフローを表している。シナリオ 1、2、及び、3 よりなる 3 種のシナリオは、汚泥処理・処分において求められる必須の要件、並びに、汚泥の有効利用に対する需要の規模に考慮して、構想されている。これらは、具体的には、汚泥の農業利用に関する基準、埋立汚泥に対する入口基準、汚泥減量化の必要性、各種汚泥の有効利用における需要、並びに、汚泥コンポストに対する需要などである。

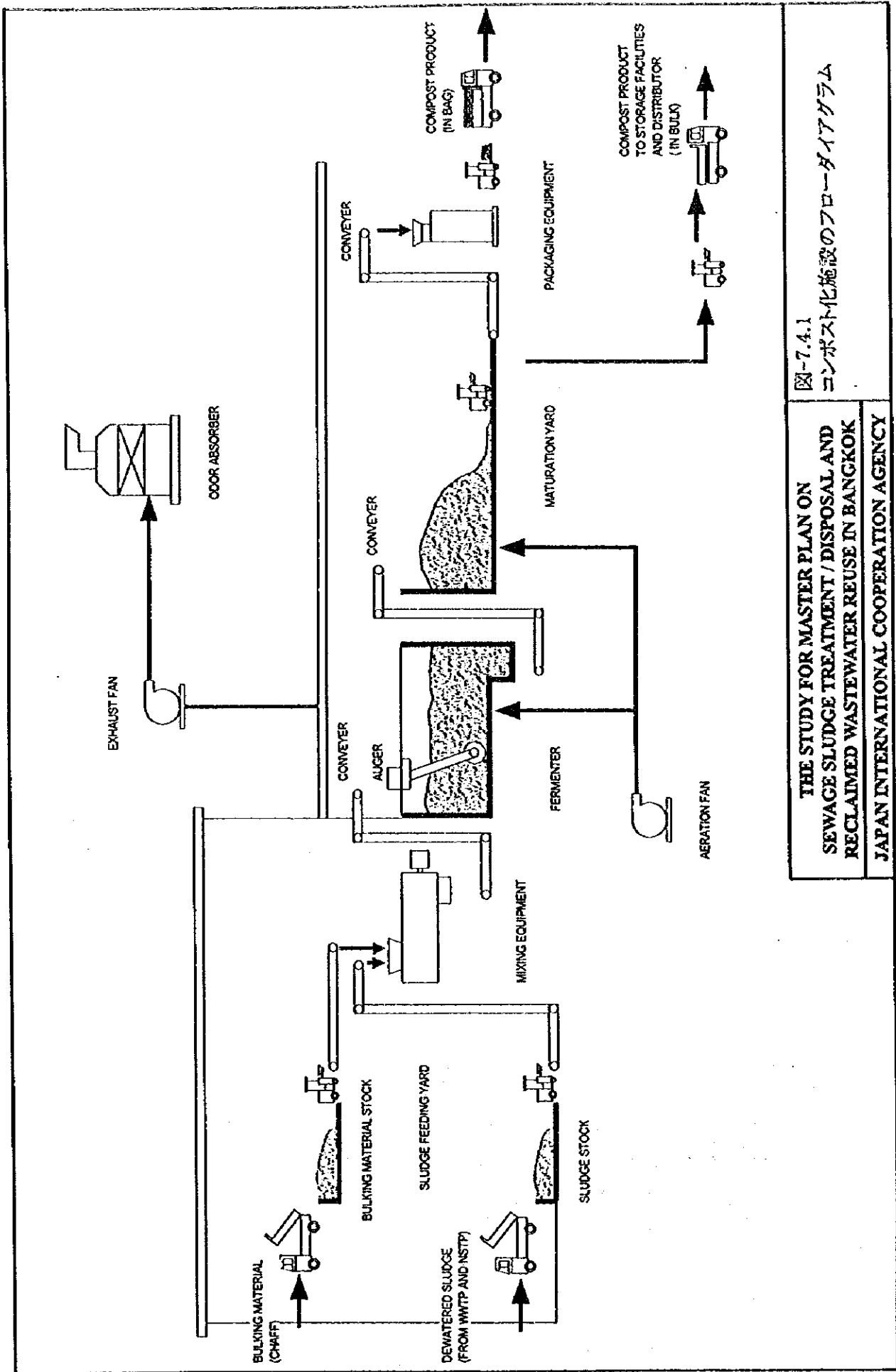


図-7.4.1
コンポスト化施設のフローダイアグラム

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

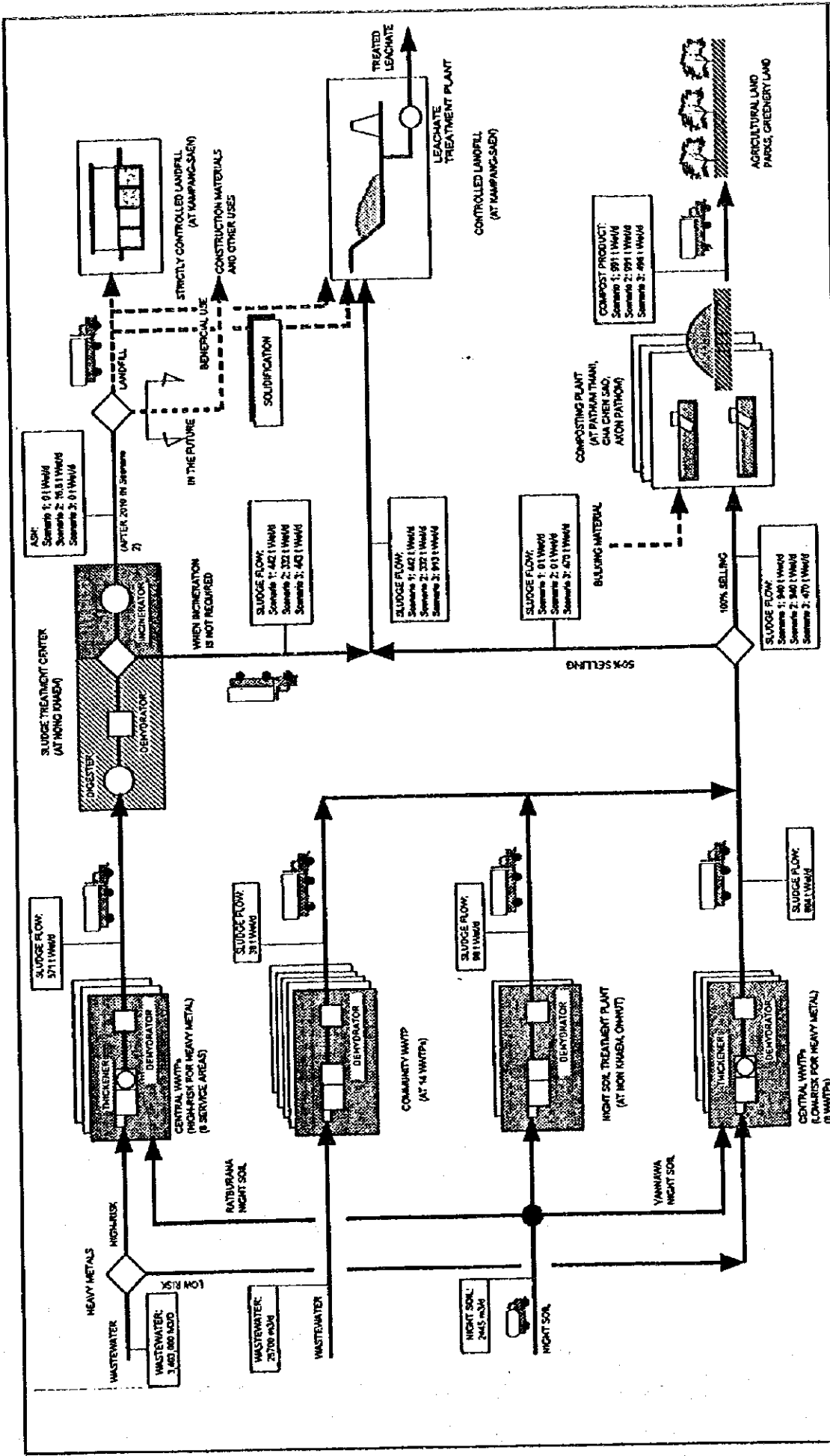
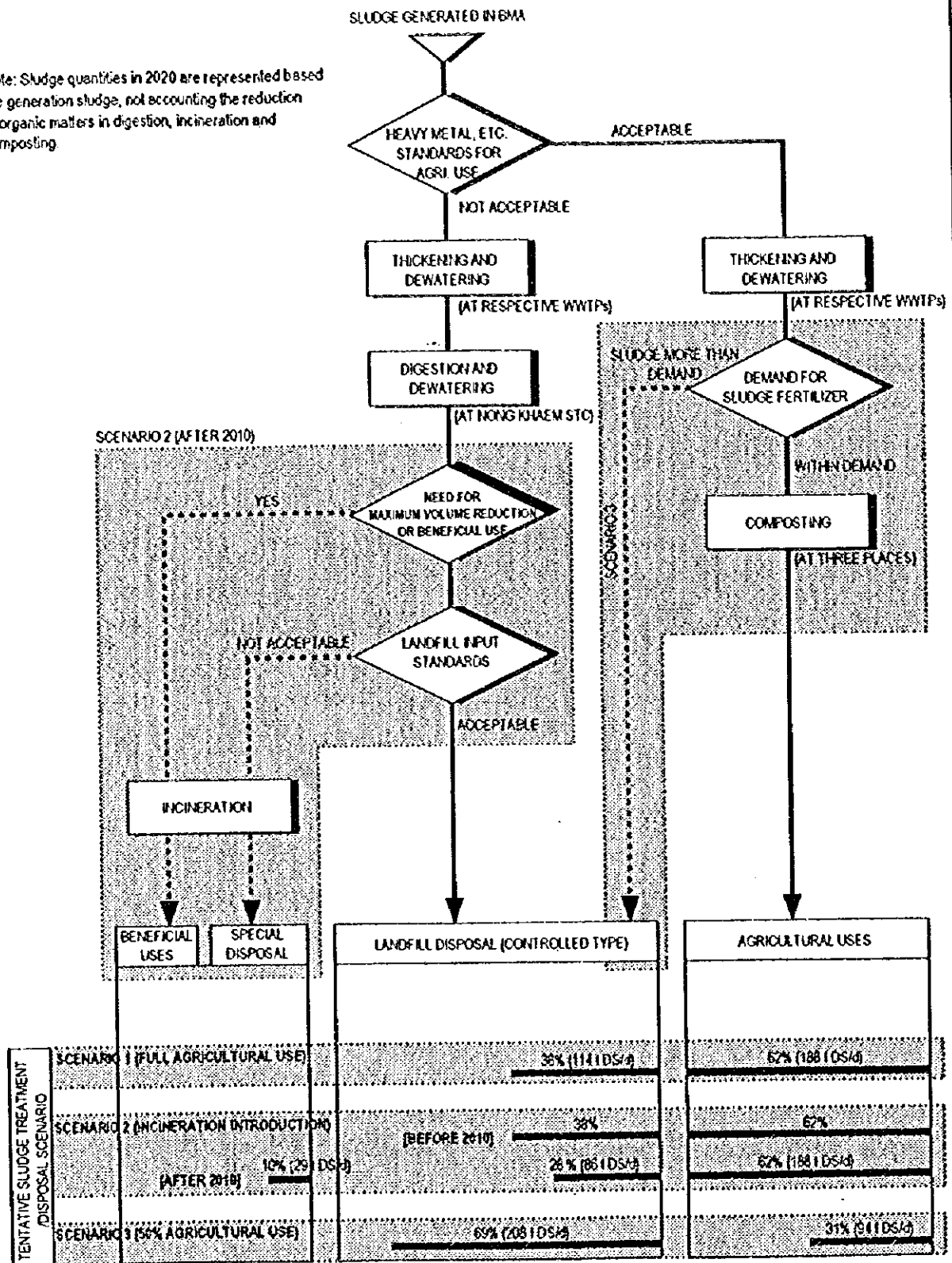


図-7.5.1
2020年における総合汚泥処理・処分
フローダイアグラム

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

Note: Sludge quantities in 2020 are represented based the generation sludge, not accounting the reduction of organic matters in digestion, incineration and composting.



The sludge quantities are represented on the basis of generated sludge without the consideration for the reduction in digestion and composting process.

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK

図-7.5.2 汚泥処理・処分の概念フロー

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

シナリオ 1（全量農業利用）においては、品質基準に合致する全ての汚泥（全発生汚泥量の 62 %）が農業利用される。残りの汚泥（全汚泥量の 38 %）は埋立場において処分される。シナリオ 2（焼却導入）においては、2010 年以降、埋立処分汚泥の内、全発生汚泥量の約 10 %（埋立汚泥量の 25 %相当）が焼却される。最大限の汚泥減量化、汚泥の各種有効利用の促進、並びに、埋立汚泥の入口品質基準の実効が、この焼却導入の理由である。

シナリオ 3（50 %農業利用）においては、農業利用に適する性状の汚泥の内、50 %のみ、即ち全汚泥発生量 31 %をコンポストとして利用する。これは、実際に販売できる汚泥コンポスト量が、見込まれる最大需要に満たない場合を想定したものである。

図 - 7.5.3 は、シナリオ 1 における埋立汚泥と農業利用汚泥との動線を表している。

(2) 埋立用の汚泥処理・処分システム提案

暫定的に高リスク汚泥とみなされた埋立汚泥は表 - 7.5.1 に要約されたシナリオ 1、2、及び、3 ごとに示すシステムによって処理・処分される。このシステムにおいて、各処理場の汚泥は脱水後、ノンケム STC に集約・処理され、カンバンセン埋立処分場へ向かう。し尿が処理場において高リスク汚泥と混合処理される場合、このし尿汚泥も高リスク汚泥とみなされる。

現在進行中のノンケム STC は脱水ケーキ受入・貯留、汚泥希釈、汚泥消化、及び、汚泥脱水施設より構成される。この処理能力は 120 t DS/d と予定されている。調査団は経済的観点から、消化ガスを利用した発電施設（予想合計出力 1,400 kW）を設けることを提案する。

各処理場からノンケム STC までの汚泥は、現在計画されているように、当初はトラックにより輸送されることになろう。しかし、これを経済的に実施する観点から、将来、各 WWTP において脱水することなしに、パイプラインポンプ輸送についての詳細検討を実施するべきである。

シナリオ 2 の特徴は 2010 年以降、処理能力 120 t Wet/d の焼却炉を導入することである。この目的は、埋立汚泥についての入口性状規制に対応した重金属など有害物質への対策を講じることである。この場合、焼却炉からの灰は密閉型処理場、または、管理型処理場において処分されるが、規制する性状基準により、処分前に固化プロセスが必要とされる可能性もある。また、焼却炉は最大限の汚泥減量化の要求を想定したものであり、また、各種有効利用に先立つ前処理としての機能を果たす可能性も含む。

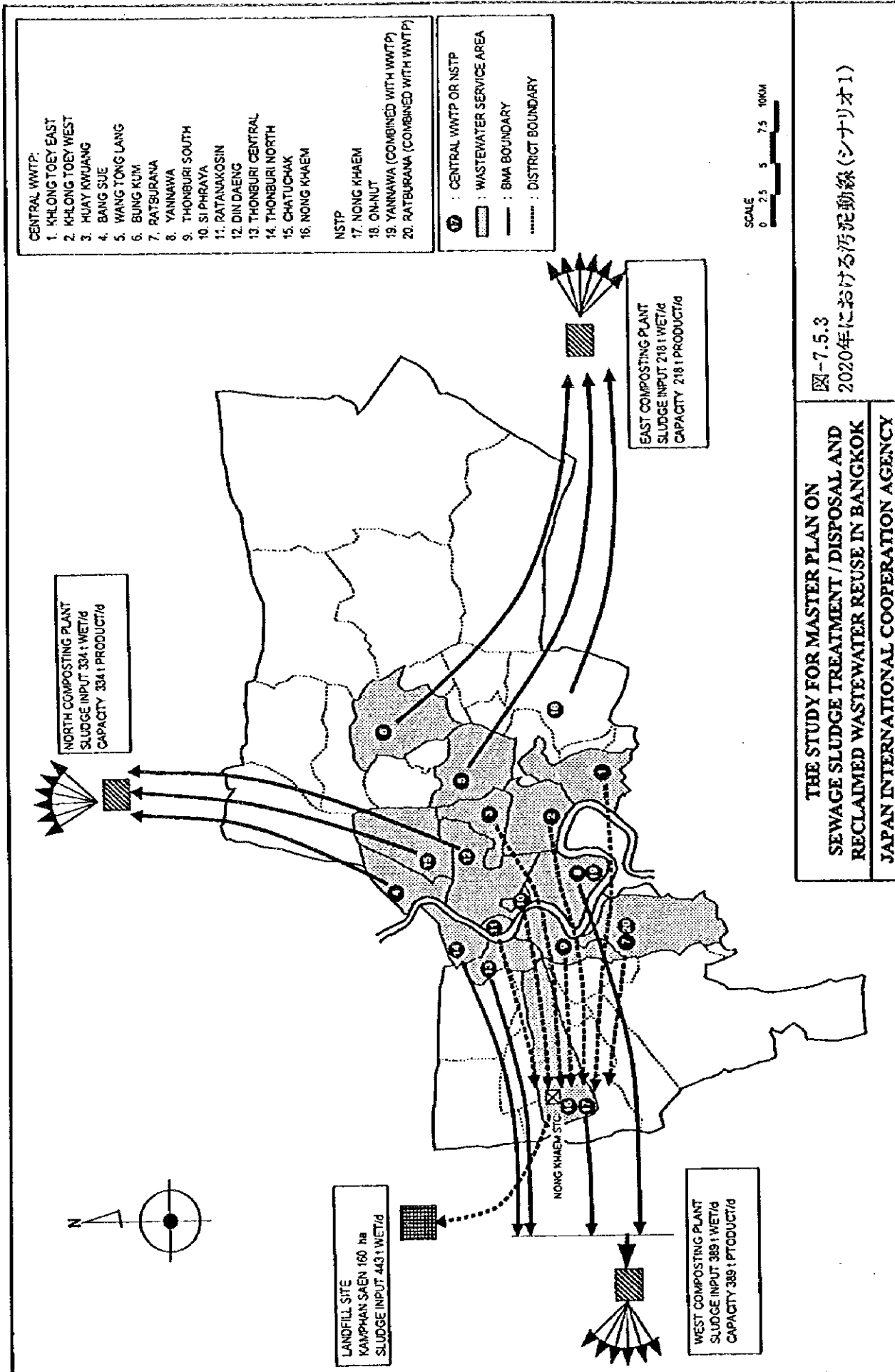


図-7.5.3
2020年における汚泥動線(シナリオ1)

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

表 - 7.5.1 埋立汚泥の処理・処分システムの提案

No.	Activities / Treatment	Locations	Facilities and Works	
			Scenario 1 / Scenario 3	Scenario 2
L-1	Sewage sludge thickening and dewatering	Central WWTPs (8 places)	[L-1]: Thickeners and dehydrators	
L-2	Sludge transport by trucks	Central WWTPs → Nong Khaem STC	[L-2]: Transport of dewatered sludge (quantity: 571 t Wet/d in 2020)	
L-3	Sludge dilution, digestion, dewatering and incineration	Nong Khaem STC	[L-3A]: Dilution equipment, digester and dehydrator (capacity: 120 t DS/d in 2020)	[L-3B]: Dilution equipment, digester and dehydrator (capacity: 120 t DS/d in 2020)
			[L-3C]: After 2010: Incineration added (capacity: 120 t Wet/d in 2020)	
L-4	Sludge transport	Nong Khaem STC →Kampangsaen landfill site	[L-4A]: Transport of dewatered sludge (quantity: 403 t Wet/d in 2020)	[L-4B]: Transport of dewatered sludge (quantity: 332 t Wet/d in 2020)
			[L-4C]: After 2010: Transport of ash (quantity: 16.6 t Wet/d in 2020) added	
L-5	Landfill disposal	Kampangsaen landfill site	[L-5A]: Controlled landfill disposal (quantity: 443 t Wet/d in 2020)	[L-5B]: Controlled landfill disposal of dewatered sludge (quantity: 332 t Wet/d in 2020)
			[L-5C]: After 2010: controlled landfill disposal of ash (quantity: 16.6 t Wet/d)	

Note: The numbers marked by [] stand for the item number to specify a certain facility or work in this system.

埋立処分について、調査団は、BMA において汚泥の入口規制がなされる必要性を明らかにした。また、廃水から発生する汚泥に関する埋立方法についての適正な基準を設定する必要がある。

(3) 農業利用の汚泥処理・処分システム提案

暫定的に低リスク汚泥とみなされた汚泥について、表-7.5.2 のシナリオ 1、2、及び、3 ごとに示すシステムによって処理・処分することを提案する。処理場、し尿処理プラント、及び、コミュニティープラントの各サイトにおいて脱水された汚泥を、コンポスト化プラントに運搬する。

シナリオ 1、及び、2 における汚泥コンポスト量は 2020 年において約 940 t Product/d である。シナリオ 3 においては、汚泥コンポスト量は 470 t Product/d であり、残りの低リスク汚泥は各汚泥発生源から直接、カンバンセン埋立場に向かう。

コンポスト化施設は暫定的に BMA の北部方面、東部方面、並びに西部方面の 3ヶ所に設置することとする。コンポスト化施設の実際の設置場所は、事業の実施に先立ち、コンポストの消費地域、副資材の入手先、運転員の確保、並びに、近隣的环境条件などを勘案し定めるものとする。

コンポスト化施設は汚泥貯留ヤード、発酵装置、熟成装置、及び、脱臭装置などよりなる。各種のコンポスト化施設の形式があるが、調査団は、処理性能、運転・維持の容易さ、所要設置スペースなど総合的に検討した結果、BMA においては、横型発酵装置が最適であると考えられる。

汚泥コンポスト化に必要とする副資材は近隣地域において調達され、コンポスト化施設に輸送される。

表 - 7.5.2 農業利用汚泥の処理・処分システムの提案

No.	Activities / Treatment	Locations	Facilities and Works	
			Scenario 1 Scenario 2	Scenario 3
A-1	Sewage sludge thickening and dewatering	Central WWTPs (8 places)	[A-1]: Thickeners and dehydrators	
A-2	Sludge transport by trucks	Central WWTPs, NSTPs, Community WWTPs→ Composting Plants (3 places)	[A-2A]: Transport of dewatered sludge to North Plant (quantity: 334 t Wet/d in 2020) [A-2B]: Transport of dewatered sludge to East Plant (quantity: 218 t Wet/d in 2020) [A-2C]: Transport of dewatered sludge to West Plant (quantity: 389 t Wet/d in 2020)	[A-2D]: Transport of dewatered sludge to North Plant (quantity: 167 t Wet/d in 2020) [A-2E]: Transport of dewatered sludge to East Plant (quantity: 109 t Wet/d in 2020) [A-2F]: Transport of dewatered sludge to West Plant (quantity: 195 t Wet/d in 2020)
		WWTPs, NSTPs, Community WWTPs→ Kampansaen landfill site	None	[A-2G]: Transport of dewatered sludge to Kampansaen (quantity: 495 t Wet/d in 2020)
A-3	Composting	Northern Area	[A-3A]: North Plant (Capacity: 400 t Wet/d in 2020)	[A-3D]: North Plant (Capacity: 200 t Wet/d in 2020)
		Eastern Area	[A-3B]: East Plant (Capacity: 240 t Wet/d in 2020)	[A-3E]: East Plant (Capacity: 120 t Wet/d in 2020)
		Western Area	[A-3C]: West Plant (Capacity: 400 t Wet/d in 2020)	[A-3F]: West Plant (Capacity: 200 t Wet/d in 2020)
A-4	Selling of sludge compost	From 3 composting plants	[A-4A]: Product 941 t Wet/d in 2020	[A-4B]: Product 471 t Wet/d in 2020

Note: The numbers marked by [] stand for the item number to specify a certain facility or work in this system.

7.6 提言

(1) 下水の流入管理

下水汚泥を埋立処分する場合であっても、また、農業利用する場合であっても、流入下水の水質は監視・規制されなければならない。農業利用にあつては、汚泥肥料としての適正な基準が予め制定されることが必要である。このような基準を遵守するために、発生源からの汚泥性状は、図-7.6.1 に示すように、下水道の計画段階において、また、運転段階において判定されなければならない。

一方、下水道への有害物質の浸入の実態を詳細に把握し、また、障害となる事態に対処するために、定期的な流入下水、及び、汚泥のモニタリングが必要とされる。

(2) 環境に優しい埋立処分の推進

環境に優しい埋立処分を促進するために、下記事項について整備・策定を必要とする。

- 汚泥中の重金属、有機塩素など有害物質の環境への放出を防止するために、埋立汚泥の性状を規定する規準の実効
- 安全、かつ、衛生的な埋立処分を促進するため、汚泥を目的とした適切な埋立方法・規準の策定

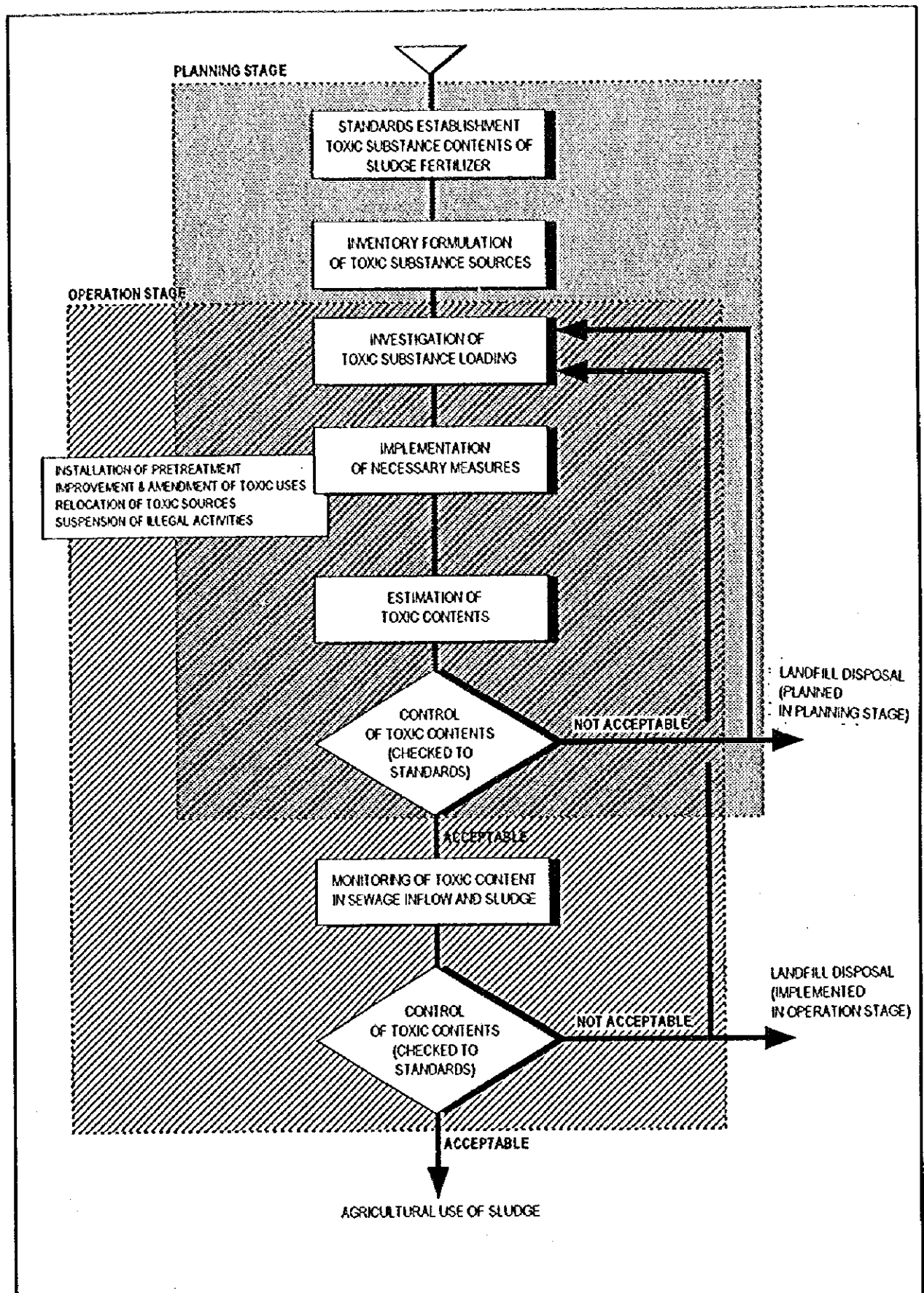
(3) コンポスト販売を促進する組織、及び、普及活動

コンポスト販売を促進するために、関係部署間、特に、農業関連セクターとの協力に基づいた努力がなされる必要である。すなわち、

- コンポスト製造、及び、流通システムの確立
BMA は競争力のある製品を製造するため、また、それらを確実に販売するために地域的条件に適した組織を確立しなければならない。また、需要の季節変動に対処できる適切な貯蔵施設と機能を備える必要がある。
- トレーニング
汚泥肥料の適切な利用を図るために、農業利用に関するガイダンスを策定し、農家、及び、農業専門家に対してトレーニングを行うことが必要である。
- 宣伝活動
汚泥肥料の利用を促進するためには、農業関係者だけではなく一般の人々に対する宣伝が必要である。この活動は、一般社会の汚泥肥料に対する意識や受容性を高めるための教育を含むものである。

(4) 排水処理プラントからの発生汚泥についての研究

汚泥処理・処分の計画においては、排水処理プラントから発生する汚泥量の正確に予測することが重要な前提条件である。本調査においては、運転条件や生物学的諸条件などのパラメータを仮定して汚泥発生量を求めた。この発生量予測をより正確なものとするために、実際の排水処理プラントの運転を通してBMAの特性に合致したパラメータを得るための研究、及び、評価を継続的に行う必要がある。



THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-7.6.1
農業利用汚泥の判別手順

(5) 汚泥発生量、及び、汚泥処理・処分施設建設工程の再評価

本調査において、検討した汚泥発生量に基づいて、汚泥処理・処分施設の段階的な建設計画が提案している。当然のことながら、汚泥発生量は、下水道の開発・整備の実施に応じて変動する。従って、プロジェクトの実施過程において、汚泥発生量を再評価し、また、これに基づいて施設の建設工程を見直すことが必要である。

第8章 概略積算と財務経済分析

8.1 概略積算

(1) 積算条件

財務評価のための概略コスト見積もりを全下水処理システムに対して行った。具体的には2020年までの下水処理システム、汚泥利用・処理システム、再生水利用システム、し尿処理システムの各建設・維持管理費を、タイに同種のプロジェクトがある場合はそのデータから、無い場合には近隣諸国および日本の同種のプロジェクトを参照し、概略の見積もり計算をおこなった。

(2) 単価見積もり

本財務評価で使用した単価費用・単価価格・単価数値を表-8.1.1にまとめて示す。

(3) 汚泥処理オプションのコスト比較

前章で提案したオプションA2, L1, L2, L4について汚泥利用・処理コストの比較検討をおこなった。脱水後の各オプションの処理コストはそれぞれ2,969, 8,539, 2,156, 1,399 Baht/DSとなり、オプションA2では利益を期待できるため、下水汚泥の農業利用を目指した民営化が可能であるとの結論になった。(表-8.1.2 参照)

8.2 財務経済分析

(1) 関連稼働施設の財務評価

シプラヤ下水処理場が現在唯一稼働している処理場である。この運転データによると管理維持費が減少しており、はっきりした学習効果が見られる。汚泥発生量は毎月27から54t程度と少なく、トラックで公園に搬入され花の苗の育成に効果を発揮している。下水中の平均汚泥量は66 g/m³と低い。

(2) 各処理システムの財務分析

本財務分析はまず下水処理、汚泥処理、再生水利用、し尿処理の4つのシステムに対し、個別に行われた。下水処理システムの処理料金の損益分岐点は4.06 Baht/m³である。し尿処理システムの処理料金の損益分岐点は353 Baht/m³で、現在の料金の7倍となる。これらを統合した全処理システムの採算性は下水処理料金にほとんど左右され、4.04 Baht/m³が損益分岐点となる。(表-8.2.1 参照) また、2020年までにかかる総工事費は、シナリオ1で2,029 Mil. US\$, シナリオ2で2,034 Mil. US\$, シナリオ3で2,023 Mil. US\$と計算された。工事費の総括表を表-8.2.2に示す。

表 - 8.1.1 単価リスト

	US\$ Basis		Baht Basis	
Wastewater Treatment Plant				
Exchange rate	(B/US\$)	36		
Construction cost	(US\$/m ³ /d)	1,000	(B/m ³ /d)	36,000
Annual O&M cost	(US\$/m ³ /d)	15	(B/m ³ /d)	540
WW treatment charge	(US\$/m ³)	0.139	(B/m ³)	5.00
Wastewater Sludge				
Compost-DS ratio (Non-digested, 1:0.5)	(t compost/t DS)	5.0		
Plant construction (20 year depreciation)				
Incineration (ash type)	(US\$/day)	21	(B/day)	767
Digestion	(US\$/t DS)	41	(B/t DS)	1,464
Compost	(US\$/t DS)	29	(B/t DS)	1,035
Production/treatment/O&M cost				
Incineration (ash type)	(US\$/day)	21	(B/day)	758.7
Digestion	(US\$/t DS)	34.8	(B/t DS)	1,254
Compost	(US\$/t DS)	83.3	(B/t DS)	3,000
Unit revenue from digestion	(US\$/t DS)	55.0	(B/t DS)	1,980
Distance from WWTP to STC	(km)	25.0		
Distance from STC to Landfill	(km)	15.0		
Distance from Compost Factory to Market	(km)	10.0		
Distance from WWTP to Compost Factory	(km)	100.0		
Landfill (controlled type)	(US\$/t)	7.30	(B/t)	263
Weight reduction by incineration: cake/ash		12.5		
Bulking materials density		0.2		
Bulking materials cost	(US\$/t)	2	(B/t)	75
Compost sales price	(US\$/t)	42	(B/t)	1,500
Wastewater Reclaimed Water				
Watering public parks and gardens and plants along road (everyday)	(m ³ /100ha)	30		
Road sprinkling (once a week)	(m ³ /100ha)	10		
Cost of additional facility installation	(US\$/unit)	88,972	(B/unit)	3,203,000
O&M for additional facility	(US\$/m ³)	0.025	(B/m ³)	0.89
Reclaimed water sales price	(US\$/m ³)	0.139	(B/m ³)	5.00
Reclaimed water production cost	(US\$/m ³)	0.067	(B/m ³)	2.40
Transportation cost (6 ton truck)				
Hauling distance 2 km	(US\$/m ³)	1.075	(B/m ³)	38.70
Hauling distance 4 km	(US\$/m ³)	1.372	(B/m ³)	49.39
Hauling distance 6 km	(US\$/m ³)	1.669	(B/m ³)	60.07
Hauling distance 8 km	(US\$/m ³)	1.965	(B/m ³)	70.75
Hauling distance 10 km	(US\$/m ³)	2.262	(B/m ³)	81.44
Night Soil Treatment Plant				
Plant construction	(US\$/m ³ /d)	9,722	(B/m ³ /d)	350,000
O&M	(US\$/m ³ /d)	2,600	(B/m ³ /d)	93,600
Charge cost/bill	(US\$/bill/month)	0.078	(B/bill/month)	2.8
No. of people/house	(People/house)	5		
Charge rate	(US\$/m ³)	1.389	(B/m ³)	50
Transportation of collection (20km)	(US\$/m ³)	3.000	(B/m ³)	108

表・8.1.2 汚泥処理オプションのコスト比較

Option No.		Agricultural use A2	Landfill disposal L2	Landfill disposal L1	Landfill disposal L4
Option Name		compost without Digestion	Dewatered sludge after Digestion	Ash after Digestion	Dewatered sludge without digestion
Cost					
Dewater at on-site					
Dry solid capacity	(t DS/d)	10	10	10	10
Construction	(US\$)	2,038,000	2,038,000	2,038,000	2,038,000
O&M	(US\$/y)	253,000	253,000	253,000	253,000
Unit cost	(US\$/t DS)	97	97	97	97
Transport					
Unit cost	(US\$/t DS)	5.09	1.67	1.67	0.00
Incineration					
Unit cost of construct.	(US\$/t DS)			106.54	
Unit cost for O&M	(US\$/t DS)			105.38	
Unit cost	(US\$/t DS)			211.92	
Digestion					
Dry solid capacity	(t DS/d)		160	160	
Construction unit cost	(US\$/t DS)		41	41	
O&M unit cost	(US\$/t DS)		35	35	
Unit cost	(US\$/t DS)	0	76	76	0
Composting					
Dry solid capacity	(t DS/d)	112			
Construction unit cost	(US\$/t DS)	29			
O&M unit cost	(US\$/t DS)	83			
Production					
Bulking materials	(t/d)	280			
Bulking materials cost	(US\$/d)	583			
Transportation	(US\$/t)	0.79			
Production unit cost	(US\$/t DS)	7.18			
Unit cost	(US\$/t DS)	119			
Unit cost(excl. construction)	(US\$/t DS)	91			
Compost production	(t DS)	5			
Transport					
Unit cost	(US\$/t DS)	0.99	1.22	0.16	2.36
Landfill					
Unit cost	(US\$/t DS)		36.50	2.92	36.50
Total cost	(US\$/t DS)	223	212	389	136
Revenue					
Sales income of compost	(US\$/t DS)	208	0	0	0
Cost recover by generation	(US\$/t DS)		55.00	55.00	0.00
Total revenue	(US\$/t DS)	208	55	55	0
Treatment cost including Dewater(=Cost-Revenue)					
Overall dry sludge treatment cost	(US\$/t DS) (B/t DS)	15 531	157 5,657	334 12,039	136 4,899
Balance after WWTP (Excluding dewater)					
	(US\$/t DS) (B/t DS)	-82 -2,969	60 2,156	237 8,539	39 1,399
Balance after composting (=Revenue-Cost) (Amount of profit)					
	(US\$/t DS) (B/t DS)	87.56 3,152			

表 - 8.2.1 損益分岐点分析

	Set Value (B/m ³)	Accumulated Surplus up to 2020 (Mil. B)
WWTP System		
WW treatment charge rate		
Original rate +40%	7.00	37,229.48
Original rate +20%	6.00	24,555.37
Original rate	5.00	11,881.25
Original rate -20%	4.00	-792.86
Original rate -40%	3.00	-13,466.98
Estimated Breakeven rate	4.06	0.00
NSTP System		
NS charge rate	(B/m ³)	(Mil. B)
Original rate +1000%	500.00	607.94
Original rate +600%	300.00	-220.61
Original rate	50.00	-1,256.29
Estimated Breakeven rate	353.00	0.00
Compost sales price	(B/t)	(Mil. B)
Original rate +100%	3,000.00	216.91
Original rate +50%	2,250.00	-519.69
Original rate	1,500.00	-1,256.29
Estimated Breakeven rate	2,780.00	0.00
Overall System		
WW treatment charge rate	(B/m ³)	(Mil. B)
Original rate	5.00	12,182.68
Original rate -20%	4.00	-491.43
Original rate -40%	3.00	-13,165.54
Estimated Breakeven rate	4.04	0.00

表 - 8.2.2 各シナリオの総工事費

(Unit: Mil. US\$)

Item	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
WWTP	1,928.3	1,928.3	1,928.3
WW Sludge			
Digestion	33.9	25.4	33.9
Compost Factory	43.6	43.6	21.8
Incineration	0.0	17.1	0.0
Dumping site	16.3	13.2	32.2
Reclaimed WW Reuse	4.7	4.7	4.7
NSTP	1.8	1.8	1.8
Total	2,028.6	2,034.2	2,022.7

(3) 3つのシナリオに対するプレフィージビリティ比較調査

プレフィージビリティ調査の目的は全汚泥処理システムの民営化の可能性を検証することである。そのため、まずシナリオ1について低リスク汚泥に対しては下水処理場以降、高リスク汚泥に対しては STC 以降の消化・コンポスト化・廃棄処理・輸送に関する全汚泥処理システムを範囲として財務評価を行った。この中で、38.0%の発生汚泥が消化後廃棄処理され、残りが生汚泥でコンポスト化され 1.5 Baht/kg で売れるものと仮定した。STC の建設費は BMA の役割との認識から本財務計算の範囲外とした。自己予算での投資とした時の FIRR は 10.92 %となり、民間事業としての可能性を示す結果となった。また、感度分析によると、コンポスト売値とコンポスト工場建設価格の 10 %の変動に対し、FIRR はそれぞれ 3.4 %と 1.6 %程度変動する結果となった。(表-8.2.3 参照)

将来起こるうるリスクを考慮し、更に 2 つのシナリオを想定し財務評価を行った。処分すべき汚泥の 25 %を 2010 年以降焼却するシナリオ 2 と農業利用する汚泥の半分が利用できず生汚泥のまま施設の整った処分場へ廃棄されるシナリオ 3 に対し、前者の FIRR は焼却処分コストの負担が重く 7.22 %となり、後者の FIRR はコンポストによる収入の半減のため 1.94 %と大幅に低下した。(表-8.2.4 参照)

汚泥コンポストの市場への導入にあたっては、様々な不確定要素に対し政府機関による十分な調査・研究が事前に必要である。例えば、1) 汚泥の安全面に対するモニタリング制度の確立、2) 下水管への危険物投棄に関する市民レベルの教育、3) 農産物への汚泥コンポストの適用方法に関する研究、4) 汚泥コンポストの適切で効率的な製造方法の研究、5) 農民への汚泥コンポストの利用促進活動、6) 汚泥コンポストの利用に関する農民の訓練、などが不可欠である。上記財務分析は、これらのコストに加えキャピタルコストも含んでいないので、汚泥コンポストが民間ビジネスとして成立するには、たとえシナリオ 1 が将来可能となったとしても、資金面も含めた政府の十分な協力が必要条件である

(4) 全下水・し尿処理システムの経済評価

提案された全下水・し尿処理システムは社会・経済・農業・産業など様々な側面からの測定は困難であるが無形の経済便益が期待されるため、経済的に実行可能な計画と評価される。

表 - 8.2.3 シナリオ1の感度分析

	Unit cost for compost plant construction (US\$/t DS/d)				(FIRR in %)	
	-20%	-10%	Original	+10%	+20%	
Compost sales price (B/t)	167.857	188.839	209.821	230.804	251.786	
+20%	1.800	22.72%	17.38%	15.43%	13.78%	
+10%	1.650	18.71%	14.17%	12.48%	11.04%	
Original	1.500	14.75%	10.92%	9.47%	8.23%	
-10%	1.350	10.75%	7.56%	6.34%	5.29%	
-20%	1.200	6.55%	3.96%	2.96%	2.10%	

表 - 8.2.4 各シナリオの財務分析結果の比較

	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	Sludge in 2020		Sludge in 2020		Sludge in 2020	
	(t DS/d)	(%)	(t DS/d)	(%)	(t DS/d)	(%)
Assumption						
No-use						
Option L2 (Landfill after digestion)	114.2	37.8%	85.6	28.3%	114.2	37.8%
Option L1 (Landfill after incineration)	0.0	0.0%	28.5	9.4%	0.0	0.0%
Option L4 (Landfill w/o digestion)	0.0	0.0%	0.0	0.0%	94.0	31.1%
Use						
Option A2 (Compost)	188.0	62.2%	188.0	62.2%	94.0	31.1%
Total	302.2	100.0%	302.2	100.0%	302.2	100.0%
Accumulated cost up to 2020	162.58	(Mil. US\$)	185.72		115.67	
Accumulated revenue up to 2020	215.16	(Mil. US\$)	223.71		119.88	
Accumulated balance up to 2020	52.58	(Mil. US\$)	37.99		4.22	
FIRR	10.92%	(%)	7.22%		1.94%	
Net present value at 5% discount rate	17.54	(Mil. US\$)	6.88		-4.21	
Net present value at 10% discount rate	1.83	(Mil. US\$)	-5.58		-7.62	

第9章 組織・制度計画

9.1 法令とその強化

既存の法令は、各部門における規制および下水処理、し尿処理施設の開発に対しては適正に定められている。しかし、類似した分野に多くの法律が規程され、これらの法律と共にその実施機関の統廃合が早急に必要である。さらに、現在の法令の強制力不足に対しては緊急な改善対策を取る必要がある。その例として、組織のトップマネジメント、法律とその適用に関する訓練、ディストリクトオフィスへの環境、衛生管理スタッフの派遣、民衆の意識改革の改善等が挙げられる。

9.2 水道と下水分野の統括的組織

水道と下水道分野の開発の基本的な目的は既に説明した通りである。この目的は、(残念ながら現在存在しないが) 上水及び下水道の将来の国レベルの長期政策として考えるべきものである。国レベルの政策は国策として地方政府レベルにまで伝達することが重要である。上水と下水道の効果的かつ効率的な調整を進めていかなければならないが、このことは民間セクターが活躍する場合非常に重要である。また、下水道分野の管理は雨水排水並びに洪水防御と関連させて行うべきである。現在の下水と上水の分離は資金不足と下水開発に対する意識の欠如となるばかりか、全体として維持管理費を増加させることにもなる。この問題は各組織の責任者レベルで十分話し合うことが必要である。

9.3 中央処理システム (Central WWTPs)

小規模下水処理場の管理者は、当然ながら現在行われている DDS への報告を続けていくことになる。将来、大規模下水処理場が完成した際には、その管理者も DDS の水質管理部のディレクターに報告することになる。その結果、ディレクターは過剰な業務を背負うことになる。その時には改善のための調整が必要となる。Central WWTPs の組織は、本調査で提案したように 4 つのセクションに分けられ日常の業務(維持管理、ラボラトリーでの解析、機材の調達、会計)を行うと共に、必要に応じて技術サポートを現場サイドに対して行う。

9.4 汚泥およびし尿収集と処理・処分

下水処理場及びし尿処理場からの汚泥の管理には、次のような主要な作業が含まれている。すなわち、汚泥コンポストのマーケティング、農業従事者の教育とトレーニング、品質管理、最終処分地への汚泥の運搬等である。これらを合理的に行う対策として DDS あるいは DPC による「Sludge Management Agency (SMA)」の設立が考

えられる。この機関はまず最初に BMA 内に設立し、市場調査まで取り行う。その後はプライベートセクターへの移管が考えられる。

9.5 下水道料金

下水道料金の徴収制度は、できるだけ早期に実施することが望ましい。この制度の導入により、BMA の財源を潤し、住民の意識を改善することにより汚濁発生源からの発生量を削減することが可能となる。本調査では、水使用量および BOD 負荷量に比例し徴収することを提案する。商業用下水に対しては別途規定を定める。

9.6 民活化

民間活力の潜在能力を検討した結果、次のような分野への活用が勧められる。すなわち、下水処理場での維持管理面におけるサービス、汚泥コンポストに関する新しい施設整備、Sludge Management Agency が活動を開始した後の作業補助、し尿収集および下水管渠の清掃、等が挙げられる。

9.7 トレーニング施設と必要性

現在の教育・訓練施設は十分行き届いていると考えられ、ディストリクトオフィス以外では特に新たに設置するものはない。ディストリクトオフィスではトレーニングの必要性に対する十分な評価が必要であり、特に環境面は大切である。大衆へのサービスの伝達、大衆との交流、法律の適応強化の立場から、ディストリクトオフィスのスタッフは BMA と少なくとも同程度の教育・訓練が必要である。

第 10 章 実施計画

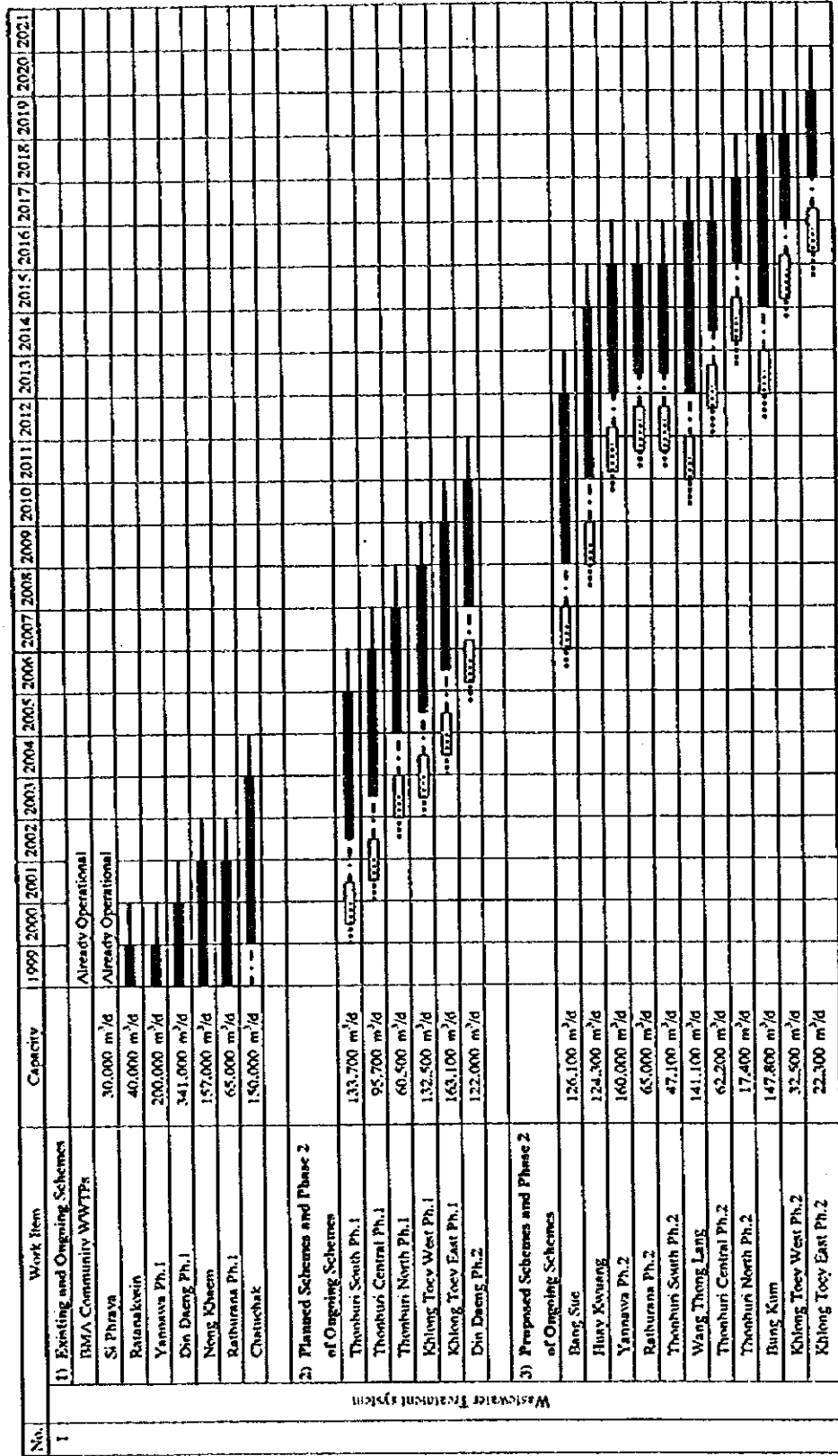
10.1 プロジェクトの準備

本マスタープランでは、BMA が建設の大部分を海外からの資金援助を受けるものと仮定し、工事実施計画を策定した。しかしながら、コントラクターが建設資金を調達しその後料金を徴収するなど、民間活力の導入のあり得ることを念頭に置くものとする。

工事契約に関わる主な選択肢は、エンジニアが設計と施工監理を行う方法と、コントラクターが設計、施工まで行う方法“ターンキー方式”である。

10.2 実施計画

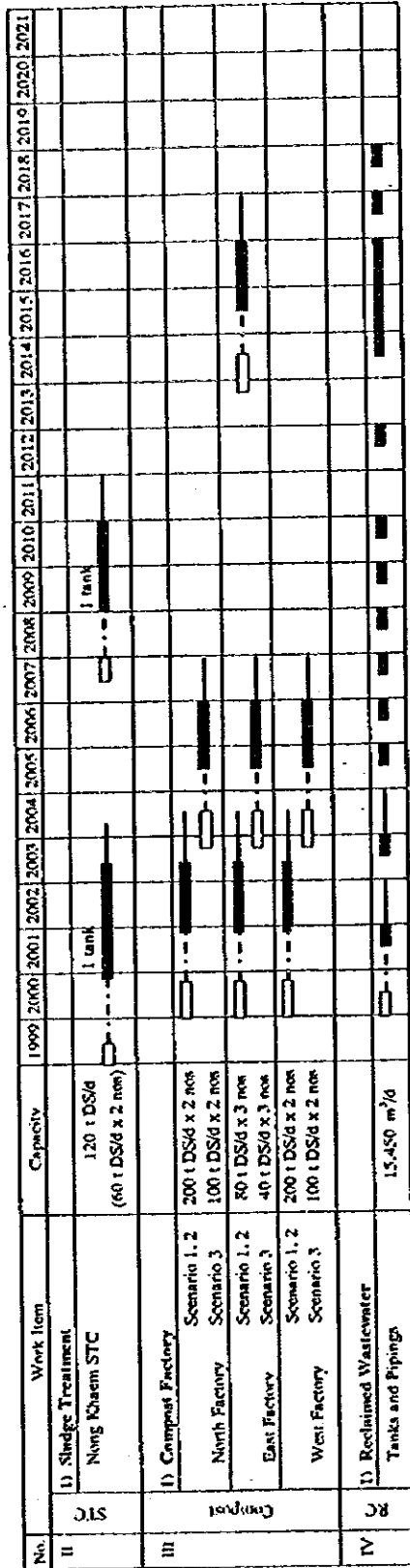
本調査で提案する実施計画を図 - 10.2.1 に示す。このスケジュールは下水収集および処理システム、ノンケムの汚泥処理センター、周辺プロビンス 3 ヶ所の新しいコンポストプラント、処理水再利用施設、汚泥の埋立て処分場等の建設スケジュールである。施設の建設は段階的に実施し、汚泥処理量の増加に伴い順次増設していくこととした。



Legend:
 : Survey
 - - - - - : Bidding and Contracting
 [] : Detailed Design
 [] : Construction
 [] : First Year O&M

**THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
 SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
 RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK**
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-10.2.1
 建設工事実施スケジュール(1/2)



Legend:
 : Survey
 - - - - : Bidding and Contracting
 [] : Detailed Design
 [] : Construction
 [] : First Year O&M

THE STUDY FOR MASTER PLAN ON
 SEWAGE SLUDGE TREATMENT / DISPOSAL AND
 RECLAIMED WASTEWATER REUSE IN BANGKOK
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-10.2.1
 建設工事実施スケジュール(2/2)

第 11 章 初期環境評価

11.1 概説

(1) IEE の目的

初期環境評価(IEE)の目的は、以下のとおりである。

- i) 提案されたプロジェクトに与える環境インパクトの認識
- ii) JICA の環境評価ガイドラインに沿った環境インパクトの評価
- iii) 上記の結果に基づく EIA のスコープの提案

(2) タイ国における環境影響評価

タイ国の環境影響評価に対する政策は「Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act」に記述されている。この中には下水収集、処理場計画、汚泥処理・処分計画等は含まれておらず、そのため、環境評価に関するレポートを MOSTE に提出する義務はない。現在実施中の 5 つの下水道事業においても計画段階で環境評価に関するレポートは MOSTE に提出されていない。

(3) JICA の環境評価ガイドライン

一般的に、JICA はローカルの環境法あるいは JICA のガイドラインに沿って適切なプロジェクトの環境評価を行う。タイ国は下水および汚泥処理に関する IEE および EIA の基準がないことから、本調査では JICA のガイドラインに沿って環境評価を行った。

11.2 IEE のスコープ

本調査で IEE の実施対象となるスコープは、重金属の混入状況と処分方法の選択肢に関するものとした。この中で最終処分方法に関するものは農業利用と投棄方法の 2 つである。本調査では、IEE の実施対象として次の 2 つのオプションを取り挙げた。

- オプション A : 高リスク汚泥.....埋め立て
 B : 低リスク汚泥.....農業利用

11.3 スクリーニング

潜在的な影響を認識するため、スクリーニングのためのチェックリストを作成した。チェックリストは JICA の環境ガイドラインでは 23 の環境項目から成っている。スクリーニングの結果を表 - 11.3.1 と 11.3.2 に示す。

11.4 潜在的インパクトの評価

スクリーニングの結果選出された項目に対し評価を行い、10 コの環境項目を取り上げ表 - 11.4.1 に取りまとめた。

11.5 環境影響評価(EIA)実施のスコープ

IEE の結論は、フイージピリティ・スタディにおける環境影響評価の必要性を判断するものである。環境影響評価(EIA)対象として次の項目を取り挙げた。

- i) 公衆衛生
- ii) 地下水汚染
- iii) 植物及び動物
- iv) 景観
- v) 水質汚濁
- vi) 土壌汚染

しかしながら、EIA は他の環境項目に対しても必要に応じ実施すべきである。例えば汚泥処理センターの建設計画に変更が出た場合、IEE および EIA は共に再度実施しなければならない。また、「Simple Landfill」の場所に変更が生じた場合 IEE、EIA 共に実施する必要がある。表 - 11.4.2 に IEE のサマリーを示す。この表の中で、M と X の記号が付されたものは「主要項目」と「不明」となる項目であり、EIA 実施の対象となる。

表 - 11.3.1 スクリーニング (オプションA)

No.	Environmental Item	Description	Evaluation
Social Environment			
1.	Resettlement	Resettlement due to land occupancy (transfer of the rights of residence and land ownership)	[Y] (N) (?)
2.	Economic Activities	Loss of production base and change of economic structure	[Y] (N) (?)
3.	Traffic and Public Facilities	Impacts on schools, hospitals, and present traffic conditions, such as traffic jams and accidents	(Y) [N] (?)
4.	Split of Communities	Separation of regional communities by hindrance of regional traffic	[Y] (N) (?)
5.	Cultural Property	Less or decrease of the value of cultural assets, such as temples, shrines and archaeological assets	[Y] (N) (?)
6.	Water Rights and Rights of Common	Obstruction of fishing rights, water rights, and rights of common	[Y] (N) (?)
7.	Public Health Condition	Worsening of health and sanitary condition due to the generation of garbage and pathogenic insects	[Y] (N) (?)
8.	Waste	Generation of construction waste, surplus soils, sludge, and domestic waste	(Y) [N] (?)
9.	Hazards (Risk)	Increase in risk of cave-ins, ground failure and accidents	[Y] (N) (?)
Natural Environment			
10.	Topography and Geology	Change of valuable topography and geology due to excavation and earthfill	[Y] (N) (?)
11.	Soil Erosion	Topsoil erosion by rainfall after land reclamation and deforestation	[Y] (N) (?)
12.	Groundwater	Exhaustion of groundwater caused by over-draft, and water pollution by leachate	(Y) [N] (?)
13.	Hydrological Situation	Changes of river discharge and riverbed condition due to filling work and drainage inflow	[Y] (N) (?)
14.	Coastal Zone	Coastal erosion and change of coastal vegetation due to change of littoral drift and reclamation	[Y] (N) (?)
15.	Fauna and Flora	Obstruction of breeding and extinction of species due to the changes of habitat conditions	[Y] (N) (?)
16.	Meteorology	Change of micro-climate, such as temperature, wind, etc., due to large-scale reclamation and construction	[Y] (N) (?)
17.	Landscape	Change of topography and vegetation due to reclamation. Deterioration of aesthetic harmony by structures	[Y] (N) (?)
Pollution			
18.	Air Pollution	Pollution caused by exhaust gas or toxic gas from vehicles and factories	[Y] (N) (?)
19.	Water Pollution	River and groundwater pollution caused by inflow of drainage and sludge from water treatment facilities	[Y] [N] (?)
20.	Soil Contamination	Contamination caused by discharge or diffusion of waste water drainage or toxic materials	[Y] [N] (?)
21.	Noise and Vibration	Noise and vibration generated by vehicles and operation of water treatment plants	(Y) [N] (?)
22.	Land Subsidence	Land deformation and land subsidence caused by the lowering of water table	[Y] (N) (?)
23.	Offensive Odor	Generation offensive odor and exhausted gas	(Y) [N] (?)
Overall Evaluation: Either IEB or EIA is necessary for the Project Implementation?			(Y) [N]

表・11.3.2 スクリーニング (オプションB)

No.	Environmental Item	Description	Evaluation
Social Environment			
1.	Resettlement	Resettlement due to land occupancy (transfer of the rights of residence and land ownership)	[Y] (N) (?)
2.	Economic Activities	Loss of production base and change of economic structure	[Y] (N) (?)
3.	Traffic and Public Facilities	Impacts on schools, hospitals, and present traffic conditions, such as traffic jams and accidents	(Y) (N) (?)
4.	Split of Communities	Separation of regional communities by hindrance of regional traffic	[Y] (N) (?)
5.	Cultural Property	Loss or decrease of the value of cultural assets, such as temples, shrines and archaeological assets	[Y] (N) (?)
6.	Water Rights and Rights of Common	Obstruction of fishing rights, water rights, and rights of common	[Y] (N) (?)
7.	Public Health Condition	Worsening of health and sanitary condition due to the generation of garbage and pathogenic insects	[Y] (N) (2)
8.	Waste	Generation of construction waste, surplus soils, sludge, and domestic waste	(Y) (N) (?)
9.	Hazards (Risk)	Increase in risk of cave-ins, ground failure and accidents	[Y] (N) (?)
Natural Environment			
10.	Topography and Geology	Change of valuable topography and geology due to excavation and earthfill	[Y] (N) (?)
11.	Soil Erosion	Topsoil erosion by rainfall after land reclamation and deforestation	[Y] (N) (?)
12.	Groundwater	Exhaustion of groundwater caused by over-draft, and water pollution by leachate	[Y] (N) (2)
13.	Hydrological Situation	Changes of river discharge and riverbed condition due to filling work and drainage inflow	[Y] (N) (?)
14.	Coastal Zone	Coastal erosion and change of coastal vegetation due to change of littoral drift and reclamation	[Y] (N) (?)
15.	Fauna and Flora	Obstruction of breeding and extinction of species due to the changes of habitat conditions	[Y] (N) (2)
16.	Meteorology	Change of micro-climate, such as temperature, wind, etc., due to large-scale reclamation and construction	[Y] (N) (?)
17.	Landscape	Change of topography and vegetation due to reclamation. Deterioration of aesthetic harmony by structures	[Y] (N) (2)
Pollution			
18.	Air Pollution	Pollution caused by exhaust gas or toxic gas from vehicles and factories	[Y] (N) (?)
19.	Water Pollution	River and groundwater pollution caused by inflow of drainage and sludge from water treatment facilities	[Y] (N) (2)
20.	Soil Contamination	Contamination caused by discharge or diffusion of waste water drainage or toxic materials	[Y] (N) (?)
21.	Noise and Vibration	Noise and vibration generated by vehicles and operation of water treatment plants	(Y) (N) (?)
22.	Land Subsidence	Land deformation and land subsidence caused by the lowering of water table	[Y] (N) (?)
23.	Offensive Odor	Generation offensive odor and exhausted gas	[Y] (N) (2)
Overall Evaluation: Either IEB or EIA is necessary for the Project Implementation?			(Y) (N)

表 - 11.4.1 IEEの為の環境評価項目

Option 1	Option 2
<p>Social Environment</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Traffic and Public Facilities 2) Waste 	<p>Social Environment</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Traffic and Public Facilities 2) Public Health Condition 3) Waste
<p>Natural Environment</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Ground Water 	<p>Natural Environment</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Ground Water 2) Fauna & Flora 3) Landscape
<p>Pollution</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Water Pollution 2) Soil Contamination 3) Noise and Vibration 4) Offensive Odor 	<p>Pollution</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Water Pollution 2) Noise and Vibration 3) Offensive Odor

表 - 11.4.2 IEEの結論

Environmental Item	Option A	Option B	Problem	Countermeasure
1. Traffic and Public Facilities	S	S	Traffic will increase	Route and time of transport have to be planned.
2. Public Health Condition	N	X	In case of land application, a health risk is prevailing	Proper reuse plan in to be developed, final disposal should be monitored carefully.
3. Waste	S	S	Generation of waste	No problem if final disposal conducted properly and regulatory.
4. Ground Water	M	S	Leachate can pollute ground water resources	Sanitary landfill with leachate treatment is recommended. If not possible, ground water use should be restricted.
5. Fauna & Flora	N	X	Trace toxic can change flora & fauna	Controlled land application should be adopted.
6. Landscape	N	X	Use of compost may change crop pattern	Controlled land application should be adopted.
7. Water Pollution	X	S	Groundwater pollution can lead to wide-spread water pollution	Sanitary landfill is recommended.
8. Soil Contamination	X	N	May cause pollution by trace toxic substances	Sanitary landfill and controlled land application is required.
9. Noise and Vibration	S	S	Will generate during transportation	Route and time of transport have to be planned.
10. Offensive Odor	S	S	May cause some odor during transport and disposal	Closed truck should be used for transport, agricultural area should be chosen carefully.

Note:

M: Major, S: Small, N: None, X: Not clear

第12章 提言

本マスタープラン調査は、従来の汚泥処理・処分計画の策定方法と幾分その手法を異にし、実測による既存の下水の水質・水量と、汚泥のサンプリングおよびその分析から将来の汚泥発生量及びその特性を推定し、計画目標年次に対する汚泥処理・処分計画を策定した。しかしながら、調査の期間、規模が限られていたこと、また、必要とされる実測も限られていたため、詳細、かつ、具体的な計画策定まで言及することは困難であった。更に、16 処理区を有する下水処理計画の内、現在供用が行われている処理場はシプラヤ処理場のみであり、残りの処理区に対してはすべて仮定に基づいていたため、汚泥の発生量、特性に対しては不確定要素を多分に含んでおり、将来見直しが必要である。特に、6 章で検討した BOD の削減率については、現在計画中の処理場の供用開始と共に再検討が必要である。

本マスタープラン調査の目的は、計画年である 2020 年を目標とした BMA における汚泥の処理・処分計画を策定することである。第7章では具体的な汚泥処理・処分のマスタープラン計画を述べたが、これを適切、かつ合理的に実施するに当たっては、多くの課題、問題点が横たわっており、これらをまず解決することが先決問題である。したがって、今後の BMA の政策、運営方針の立案、市民への啓蒙活動、具体的事業の実施方法等において、将来の変化に対応できる柔軟性を維持しつつ計画に望むことが重要である。

以下、今後解決すべき課題・問題点に対しての提言をとりまとめた。

12.1 下水道管渠システムの改善

現在、BMA において設計及び工事実施中の下水道事業は、既存の合流式下水管渠に遮集管を取り付け終末処理場で処理するものである。しかしながら、既存の面整備管渠が現段階で適正、かつ、十分に整備されていないため、近い将来遮集管による下水処理システムが完成しても十分な処理が行えないことも予想される。バンコク市は、市全体が低平地に位置し地表勾配がないこと、人口過密状態の市中心部における分流式下水道の採用が困難なことから、基本的に合流式を採用せざるを得ないのが実状である。さらに、これらの地形的条件から雨水排除に重点を置き、かつ、下水を排除しなければならず、これが管渠施設整備をより一層複雑にしている。

しかしながら、現在のこのような下水管渠整備状況に対し遮集管を接続しても、排水区での合理的な集水が困難となり、ひいては水質・水量の面から妥当な汚泥処理・処分計画実施に支障を来すこととなる。

今後、下水管渠システムを進めていく上において、解決すべき問題点は以下のとおりである。

- 1) 各処理区における排水区の境界が実質明確となっておらず、系統立てた流下シス

テムが構築されていない。すなわち、各枝管の取り持つ排水面積が明確となっていないこと、管渠を流れる下水の流下方向が定まっていないこと、等から各枝管には算定された計画下水量が流れていない。

- 2) 管渠に、水理的に適切な勾配が適切に設けられておらず、上述のように流下方向が定まらないことや、流下下水に淀み、逆流が生じている。特に、管渠がネットワーク状に繋がっており、計画通りの流下形態となっていない。
- 3) 既設管渠の老朽化に伴い地下水の侵入量が多く、計画通りの下水の排出量となっていないばかりか、放流先のクローンからの逆流もあり合流式管渠としての機能を十分果たしていないため、下水の濃度に大きく影響している。
- 4) 下水排水用管渠の断面構造が、U字側溝、円形管渠、三面張りの開水路など種類が多く、これらが適切に計画されていないため、水理的にスムーズな流れとなっていない。
- 5) 既存の下水管渠への接続率が非常に低く、遮集管が整備された初期の下水水量はきわめて少ないことが予想される。したがって、この問題を改善するため、将来の面整備管の整備計画を明確に打ち立てることが必要である。

以上の観点から、今後の下水管渠システムのに対し、次の改善を行うことを提案する。

- 1) 既存の管渠システムに対する十分なインベントリー調査、
- 2) インベントリー調査に基づく下水道台帳の作成、
- 3) 排水区、排水面積の見直し、
- 4) 面整備管の水理的再検討、
- 5) 老朽管を含めた管渠の敷設替え、
- 6) 下水管渠の徹底した維持管理、
- 7) 段階的な面整備管の接続計画の見直し、
- 8) 水理解析モデルを利用した管渠の適正な解析、
- 9) 以上を踏まえた遮集管計画の見直し。

下水道管渠の将来計画のため、シブラヤ処理をモデル地区として選定し、ここで上記見直しをパイロットスタディーとして実施することを提案する。

12.2 汚泥処理・処分計画

第7章で記述した汚泥処理・処分計画では、最終的に3つの代替案を提案し、これを本マスタープラン調査の結論とした。この、3つの代替案の提示には次のような基本的前提条件が存在しており、これらは、今後BMAが下水処理計画と共に汚泥処理計画を進めていく上で、フレキシブルな対応が必要である。

- 1) 汚泥からの重金属の出現は、本マスタープランではリスクスタディーとして推定したものであり、将来、各下水処理施設が完成した後モニタリング調査を継続し、

最終的に「重金属含有汚泥」か「含まない汚泥」かを判断する必要がある。また、このモニタリングはこの段階で終わりとせず将来とも継続すること、さらに、将来の含有量の変化に対しても対応できるようにする。

- 2) 重金属含有汚泥の問題は、BMA による下水道分野だけでなく、将来廃棄物を含めた処理処分問題として検討することが必要である。すなわち、重金属は下水汚泥にとどまらず、一般廃棄物にも含まれており、これらと併せて考える必要がある。そのため、重金属の処理・処分に関する明確な法律、条例を早期に策定し、法律として規定することが必要である。法律、条例の策定、実施は重金属の公共下水への流出を防ぐ、すなわち、発生源での排出規制に繋がり、これが効果的に機能すれば公共下水への重金属の排出を削減することも可能である。
- 3) 重金属汚泥の農業利用は、長期にわたる土壌、植物への影響を観察する事が必要であり、今後解決すべき大きな課題である。実施に当たっては、BMA を始め大学その他の研究機関を含めた多分野での研究、開発を継続していくことが必要である。
- 4) 重金属を含まない汚泥は、基本的に農業利用とすることとした。本マスタープランでは、発生汚泥の内、重金属を含まないものについては 100 % 農業利用できる場合と、50 % 利用できる場合の 2 つのケースに分けて考えた。農業利用する場合には汚泥コンポストと一般市場品との価格競争、汚泥コンポストの新たな市場の開拓、さらに BMA による下水汚泥の農業利用に対する啓蒙活動が必要である。

12.3 下水処理水の再利用

下水処理水の再利用に対しては、現在既にホテル、病院、各ディストリクトオフィスなどで雑用水や散水用として実用化されている。これらはすべて小規模な利用量であり、水質の管理や維持管理に十分配慮ができるレベルである。一方、将来の目標年次までに 16 箇所の全ての下水処理場が完成した場合、その排出量は膨大なものになるが、これらをすべて有効利用することはあまり期待できるものではない。処理水の利用計画で最も大きな問題点はその輸送にあり、将来の採算ベースを考えた場合、建設費を絡めた輸送コストが最も重要な要素となる。

処理水をいわゆる中水として利用するためには、大規模な施設計画が必要となり、既存の市街地ではあまり期待はできない。ビルの雑用水など将来大規模ネットワークで利用するためには、BMA の管理下において商業ベースに乗るかどうかを検討する必要がある。商業ベースによる採算性については、民営化を検討することが重要であり、今後の課題となろう。

一方、クローンの浄化用水としての利用は、その水量が膨大であるが故に、大きな期待が持てるところである。しかしながら、クローンの浄化用水は、現在 BMA が別プロジェクトとして実施している河川、クローンの浄化、管理システムと関連しており、これとの調整が必要である。したがって、クローンの浄化用水としては、将

来下水処理システムが完成した後のクローンの汚濁状況に照らし合わせ検討する事が重要である。

12.4 組織・制度

汚泥処理・処分計画において最も重要となるのが BMA 中の DDS と DPC の連携であろう。下水処理システムは、現在実施中の下水道計画に対しては汚泥の輸送を含めた汚泥処理・処分まで DDS が管理する事となっているが、し尿処理に関しては、現在、将来とも DPC が管理することとなろう。9 章では将来の組織作りに対し、両者を一元化する方法と、現在のシステムを踏襲する 2 つの方法を提案したが、最終的な組織作り、運営方法は今後 BMA 内部で最終決定する必要がある。

一方、コンポスト汚泥の農業利用に対しては、将来 BMA の啓蒙活動が進み、かつ、市場の採算ベースに乗れば、運営は BMA から民活に移行されることが考えられる。農業利用としての市場開拓、コンポスト工場の運営、コンポストの販売等は今後の検討課題である。



JICA