

平成 20 年度CDM／JI事業調査

シンガポール・下水汚泥焼却CDM事業調査

報告書

平成21年2月

株式会社日本総合研究所

目 次

第1章	シンガポール国の概要	1
1.1	国土と人口	1
1.2	気候	1
1.3	民族	1
1.4	経済	1
(1)	概要	1
(2)	エネルギー事情	2
第2章	シンガポールのCDMを巡る動き	4
2.1	シンガポールの温室効果ガス排出量	4
2.2	シンガポールにおけるCDM事業の動向	7
(1)	シンガポールにおけるCDM事業承認プロセス	7
(2)	SD Criteriaの概要	8
(3)	PINの概要	8
(4)	PDD作成支援情報	9
(5)	CDMプロジェクト補助制度	9
(6)	シンガポールのCDM事業の現状	9
第3章	シンガポールの廃棄物処理および下水処理の現状	11
3.1	廃棄物処理の現状	11
(1)	固形廃棄物収集システム	11
(2)	廃棄物発生量と処理・処分施設	11
(3)	廃棄物減量化	13
(4)	Pulau Semakau処分場	13
(5)	廃棄物処理・処分施設の建設費用	14
3.2	下水処理の現状	15
(1)	事前処理	15
(2)	前処理	15
(3)	2次処理	16
(4)	最終処理	16
(5)	汚泥処理	16
(6)	DTSS (Deep Tunnel Sewerage System)	17
(7)	Changi下水処理場	17
第4章	プロジェクトの概要	19
4.1	プロジェクトの内容	19

(1)	プロジェクトの内容	19
(2)	プロジェクトの目的	20
(3)	プロジェクトの実施体制	20
4.2	プロジェクト実施サイトの概要	21
(1)	Changi下水汚泥埋立処分場	21
(2)	焼却処理施設サイト	23
4.3	プロジェクトの適用技術	25
(1)	技術概要	25
(2)	焼却システムの全体像	26
第5章	ベースライン方法論の設定	27
5.1	方法論の概要	27
5.2	方法論の正当性と適用条件	28
5.3	ベースラインシナリオ	28
(1)	ステップ1：プロジェクト活動に対する代替案の同定	29
(2)	ステップ2：ベースラインシナリオにおける燃料を特定する	29
(3)	ステップ3：“追加性の評価と証明のためのツール”による検討	29
5.4	プロジェクトバウンダリー	30
5.5	ベースライン排出量の算出方法	31
5.6	プロジェクト排出量の算出方法	33
(1)	プロジェクト活動に係る電力消費による排出量	34
(2)	プロジェクト活動に係る燃料消費による排出量	34
(3)	廃棄物焼却からのN ₂ O、CH ₄ の排出量	34
5.7	リーケージ	34
5.8	削減排出量の算出方法	35
5.9	プロジェクトの追加性	35
(1)	ステップ1：プロジェクトの代替案の同定	35
(2)	ステップ2：投資分析	36
(3)	ステップ4：一般的慣行分析	38
第6章	モニタリング計画	39
6.1	本プロジェクトに適用するモニタリング手法	39
6.2	モニタリング項目とその品質管理・品質保証	39
(1)	モニタリング項目	39
(2)	品質管理・品質保証	39
6.3	モニタリング体制	40
第7章	温室効果ガス排出削減量	41
7.1	ベースライン排出量	41

7.2	プロジェクト排出量	43
(1)	プロジェクト活動に係わる電力消費による排出量	43
(2)	プロジェクト活動に係わる燃料消費による排出量	43
(3)	廃棄物焼却からのN ₂ O、CH ₄ の排出量	43
7.3	リーケージ	43
(1)	輸送増加によるリーケージ排出量	43
(2)	焼却灰中の残存炭素によるリーケージ排出量	43
7.4	温室効果ガス排出削減量	44
第8章	環境影響分析	45
8.1	シンガポールにおける環境関連法	45
8.2	予想される環境影響	46
第9章	利害関係者コメント	47
9.1	政府機関のコメント	47
(1)	NEA	47
(2)	PUB	47
9.2	利害関係者ミーティングにおけるコメント	48
第10章	経済性の検討	51
10.1	資金計画	51
(1)	前提条件	51
(2)	イニシャルコスト	51
(3)	ランニングコスト	51
(4)	収入	51
10.2	経済性の評価・分析	51
(1)	クレジット収入なしの場合	51
(2)	クレジット収入ありの場合	52
(3)	クレジット価格による感度分析	52
(4)	クレジット量による感度分析	52
第11章	事業化に向けた課題	55
11.1	CDMプロジェクト化リスク	55
11.2	クレジット価格リスク	55
11.3	技術リスク	55
第12章	ホスト国におけるコベネフィットの実現	57
12.1	ホスト国における公害防止のニーズ	57
12.2	ホスト国における公害防止の内容	57

12.3	コベネフィット指標の提案	57
第13章	現地調査	59
13.1	第1回現地調査	59
(1)	現地調査出張者	59
(2)	現地調査日程	59
(3)	日程別調査内容	59
(4)	調査結果概要	60
(5)	特筆すべき成果・問題点	68
13.2	第2回現地調査	68
(1)	現地調査出張者	68
(2)	現地調査日程	68
(3)	日程別調査内容	68
(4)	調査結果概要	69
(5)	特筆すべき成果・問題点	70

付録 PDD

第1章 シンガポール国の概要

1.1 国土と人口¹

シンガポール共和国は、総人口²約 358 万人（2007 年）の東南アジアに立地する都市国家である。国土は、北緯 1 度 09 分～29 分、東経 103 度 36 分～104 度 25 分に位置しており、国土面積は約 707.1[km²]であり、東西 47[km]、南北 28[km]、海岸線は 246[km]である。国の面積が小さいため、人口密度が非常に高いことが特徴である。

1.2 気候³

シンガポールはほぼ赤道直下に位置するため、年間を通じて気温はほぼ一定で多湿な気候である。1 日の気温変化は、最低気温が約 24.8℃、最高気温が約 31.1℃程度で、湿度は乾季に 61～65%程度、雨季には 90%以上となる。雨季は 11 月から 1 月、乾季は 5 月から 9 月、それ以外は中間期となっている。

図表 1-1 シンガポールの気温

項目		2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
日気温 [℃]	最高	32.0	31.4	31.7	31.9	31.5	31.1
	最低	25.2	25.1	25.1	25.1	25.0	24.8

(出所) Singapore Department of Statistics より日本総研作成

図表 1-2 シンガポールの降水量と湿度

項目		2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
湿度 (PM 2:00) [%]		70	73	71	71	73	74
降水量 [mm]	合計	1,749	2,391	2,136	1,931	2,753	2,886
	日最大	84	194	178	134	198	159
年間降雨日[日]		139	186	147	175	174	195

(出所) Singapore Department of Statistics より日本総研作成

1.3 民族

多民族国家で、中国系が 76.2%、マレー系が 13.8%、インド系が 8.3%、その他の人種が 1.7%となっているため、公用語にはマレー語、中国語（北京語）、タミール語と英語が採用されている。

1.4 経済

(1) 概要

貿易立国であるため 1 人当たりの GDP は非常に高い。東南アジアの中心に位置し、古くから

¹ 「Yearbook of Statistics Singapore, 2008」(Singapore Department of Statistics)

² シンガポールの居住者数

³ 「Yearbook of Statistics Singapore, 2008」(Singapore Department of Statistics)

東南アジア、東アジアとヨーロッパや中東、オーストラリアを結ぶ交通の要所として繁栄し、海運産業や航空産業が発達してきた。戦後独立を果たし外資導入を進め、重工業を中心とする工業化政策をとり、アジアを代表する工業国に成長した。また、英語や中国語の話者の多さから、香港と並び欧米諸国の多国籍企業のアジア太平洋地域の拠点が置かれることが多く、特に近年は東南アジアの金融センターとして不動の地位を得ている。

(2) エネルギー事情⁴

① 電力

電力とガス業界の競争を促すために2001年4月にEMA (Energy Market Authority) が設立された。電力は発電事業者によって30分おきにEMAによって運営されるNEMS (National Electricity Market of Singapore) において競りが行われる。総電力量のうち75%が競争入札されている。

現在、8つの発電事業者が電力市場に参加するライセンスを得ている。主な電力事業者は、Senoko Power 社、PowerSeraya 社、Tuas Power 社、Keppel Merlimau Cogen 社、SembCorp Cogen 社であり、NEA (National Environment Agency、シンガポール国家環境庁) も発電事業者の1つである(廃棄物焼却処分場に発電施設を有している)。なお Island Power Company 社と Keppel Seghers Tuas Waste-To Energy Plant 社は稼働前である。

2007年12月時点では、上記8発電事業者の総発電容量は12,330[MW]であり、41,138[GWh]を発電した。なお、2007年のシンガポールのピーク需要量は5,946[MW]であった。

図表 1-3 シンガポールの電力事情

項目		2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
発電量[GWh]		34,665	35,282	36,810	38,213	39,442	41,138
消費量[GWh]		31,089	31,986	33,171	34,761	35,922	37,420
販売量 [GWh]	家庭	6,348	6,507	6,525	6,750	6,764	6,821
	製造業	12,733	13,707	14,446	15,005	15,042	15,622
	その他	12,009	11,772	12,200	13,006	14,116	14,978

(出所) Singapore Department of Statistics より日本総研作成

図表 1-4 シンガポールの商業発電の概要 (2006年4月1日現在)

プラントタイプ	発電事業者	許可容量[MW]
蒸気	PowerSeraya	2,172
	Senoko Power	1,250
	Tuas Power	1,200
	Sub Total	4,622
ガス複合発電 (CCGT)	PowerSeraya	728

⁴ 「Yearbook of Statistics Singapore, 2008」 (Singapore Department of Statistics)

プラントタイプ	発電事業者	許可容量[MW]
/Cogen	SembCorp Cogen	785
	Senoko Power	1,945
	Tuas Power	1,470
	Sub Total	4,928
オープンサイクルガス タービン (OCGT)	PowerSeraya	200
	Senoko Power	105
	Sub Total	305
廃棄物発電	NEA	251
	Sub Total	251
Total		10,106

(出所) Singapore Energy Market Authority 資料より日本総研作成

② ガス

現在、シンガポールは都市ガス供給ネットワークと、天然ガス供給ネットワークの2つのガスネットワークに分かれている。都市ガスネットワークは、シンガポールの約50%の家庭に供給しており、家庭での炊事と給湯および商業施設において利用されている。

一方、天然ガスネットワークは、インドネシアから2本のパイプラインによって供給されており、主に発電用に利用されている。2007年では、総発電量の約79%が天然ガス発電によるものであった。

また、エネルギーの多様性の確保の観点から、LNGが輸入される予定で、現在LNG基地が建設中である。2012年ごろの運用開始を予定している。

図表 1-5 シンガポールのガス事情

項目		2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
都市ガス [eGWh]	家庭	570.5	595.3	575.8	577.8	585.8	599.9
	他	818.3	775.9	768.8	796.2	812.4	826.2
LPG [t]	家庭	51,393.0	45,925.4	40,296.0	34,165.2	34,174.2	35,868.1
	他	94,131.8	73,230.8	80,572.1	56,402.8	47,368.9	58,375.8

(出所) Singapore Department of Statistics より日本総研作成

第2章 シンガポールのCDMを巡る動き






2.1 シンガポールの温室効果ガス排出量

シンガポール政府は「Singapore's National Climate Change Strategy」を2008年3月に発表し、温室効果ガス削減に向けた取組み骨子をまとめた。

シンガポールでは2005年には年間4037.7[万t-CO₂]の温室効果ガスを排出しており、全世界の温室効果ガス排出量の約0.2%を占める。部門別では、工業部門が全体の54%を占め最も大きな割合となっている。次いで運輸部門(19%)、業務部門(16%)であり商業・家庭部門は9%である。工業部門の割合が大きくなっている理由としては、シンガポール国内での消費よりも、輸出向けの工業生産の規模が大きいためである。特に、石油精製における燃料消費が大きな要因である。シンガポールは世界の石油化学工業において重要なポジションを占めており、3つの巨大製油所が立地している。この製油所においてシンガポール全体の約20%のエネルギーを消費している。

また、全排出量のうち48%が電力消費に伴う排出である。これらを図表2-1にまとめて示した。

図表 2-1 シンガポールの部門別温室効果ガス排出量 (2005年)

上段： 排出量	発電	工業	運輸	業務	商業・家庭	その他
下段： 割合						
1次消費 (燃焼)	19,315 (48%)	13,465 (33%)	7,056 (17%)	325 (1%)	216 (1%)	—
2次消費 (電力)		8,328 (21%)	930 (2%)	5,910 (15%)	3,415 (8%)	732 (2%)
小計		21,793 (54%)	7,986 (19%)	6,235 (16%)	3,631 (9%)	732 (2%)
総計	40,377 (100%)					

単位：千t-CO₂

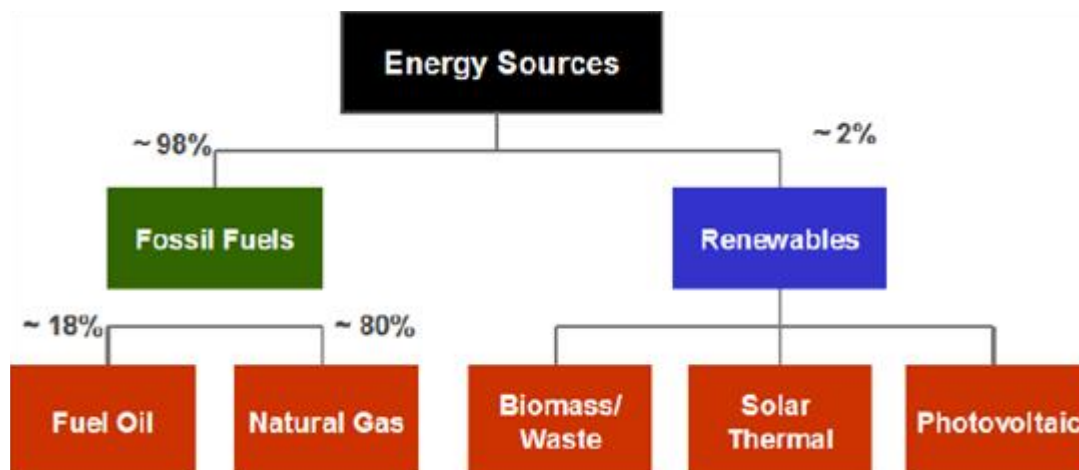
※発電分については、各部門に配分して計上している

(出所)「Singapore's National Climate Change Strategy」(NEA)

シンガポールは都市国家であるため、石油や天然ガス以外のエネルギー源の利用が非常に難しい。例えば、水力発電所や地熱発電所の建設は不可能であり、風力発電についても発電に適した風がほとんど得られない。太陽光発電やバイオ燃料などは代替燃料となり得るが、現状では費用面で普及は望めない状況である。図表2-2にシンガポールの発電における燃料構成割合を示した。全体の98%が化石燃料であり、そのうちの80%程度が天然ガスとなっている。再生可能エネルギー

一の割合は 2%に過ぎない。また、天然ガスの占める割合は年々増加しており、シンガポールにおける最も一般的な燃料となりつつある。

図表 2-2 シンガポールの燃料構成割合 (2005 年)



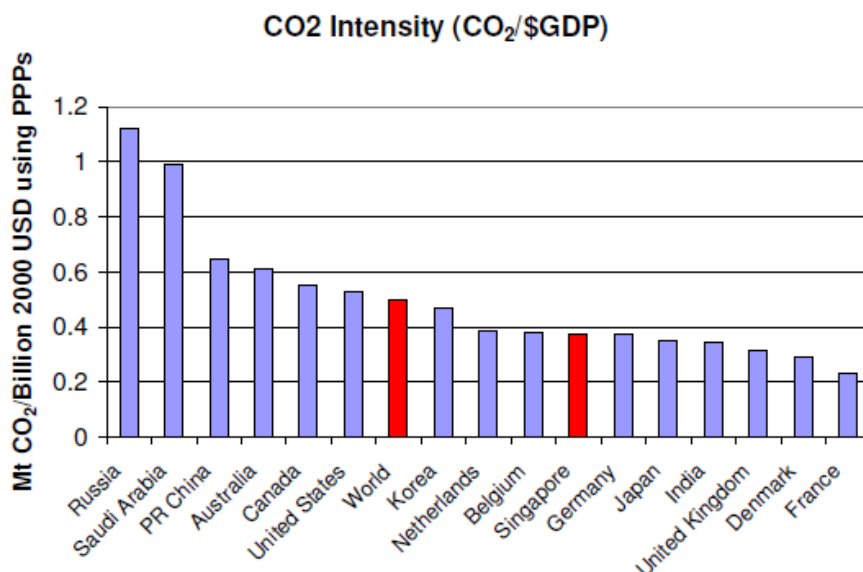
(出所) 「Singapore' s National Climate Change Strategy」(NEA)

図表 2-3 シンガポールの発電における天然ガス発電の割合 (2005 年)

2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
19%	29%	44%	60%	69%	74%	78%	79%

(出所) 「Singapore' s National Climate Change Strategy」(NEA)

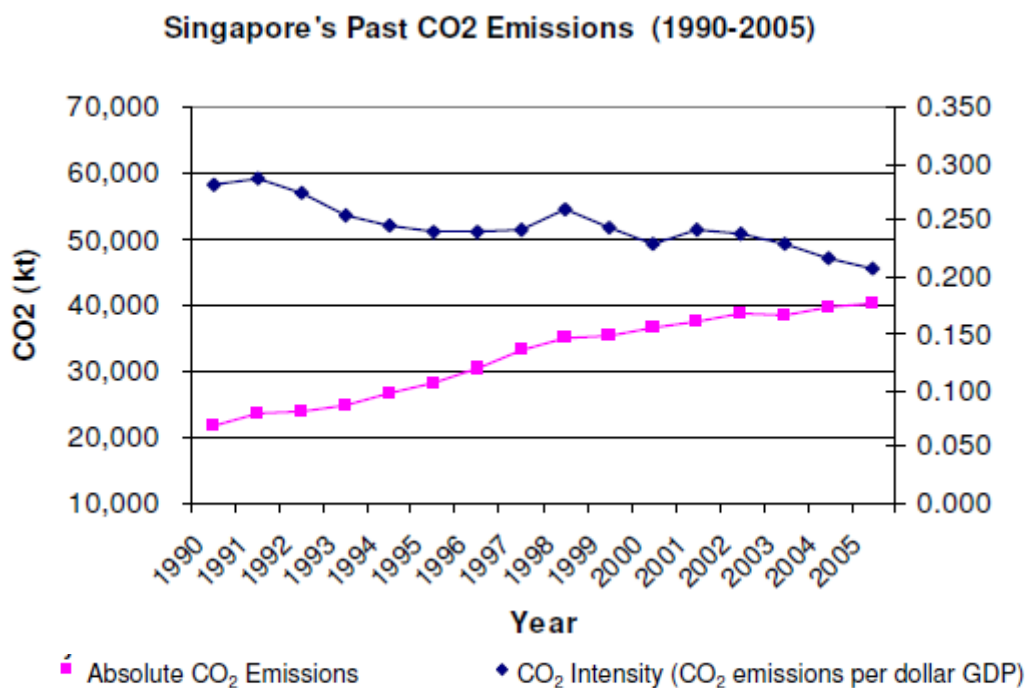
図表 2-4 シンガポールの GDP あたり温室効果ガス排出量 (2005 年)



(出所) 「Singapore' s National Climate Change Strategy」(NEA)

図表 2-4 に IEA が公表している GDP あたりの温室効果ガス排出量を示した。シンガポールは世界平均を下回っており、日本とほぼ同じ水準である。このように高効率を実現できているのは、前述したように電力については、80%を高効率のガス複合発電によって得られた電気を利用して
いるためである。この割合は世界でも最も高いものとなっている。

図表 2-5 シンガポールの温室効果ガス排出量と GDP あたり排出量の推移



(出所) 「Singapore's National Climate Change Strategy」 (NEA)

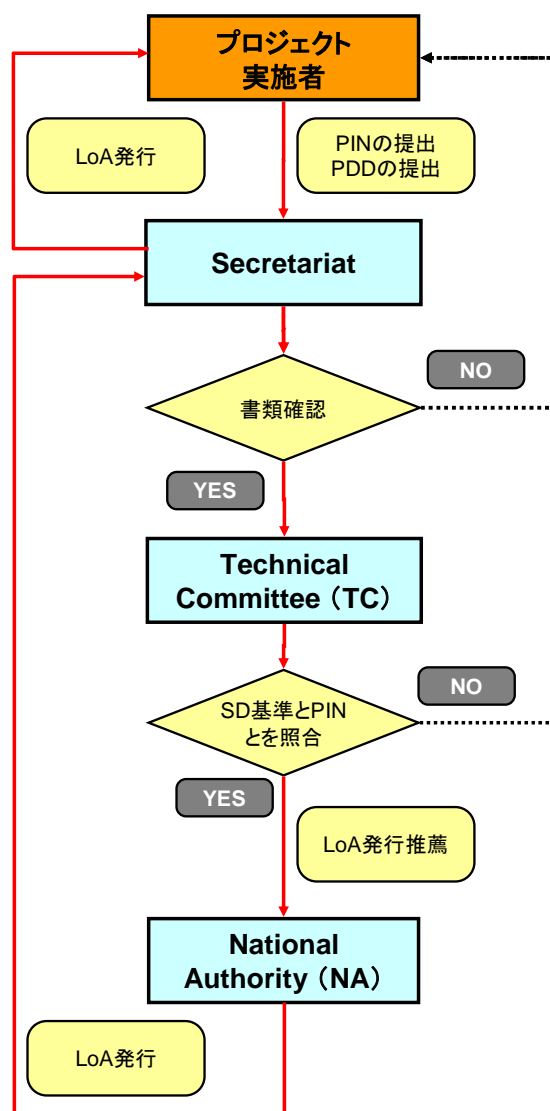
図表 2-5 には、シンガポールの温室効果ガスの排出量と GDP あたりの排出量の推移を示した。排出量については 1990 年から 2005 年にかけて約 2 倍に増加した。一方で、エネルギー効率の改善や天然ガス発電への急速な転換の結果、GDP あたりの排出量は 2005 年には 1990 年比で 30%減少している。

2.2 シンガポールにおける CDM 事業の動向

(1) シンガポールにおける CDM 事業承認プロセス

シンガポールは 2006 年 4 月 12 日に京都議定書を批准し、CDM の取組みを実施できる準備が整った。シンガポールにおける京都メカニズムの手続きは、図表 2-6 のようになっている。

図表 2-6 シンガポールの CDM 承認プロセス



(出所) NEA 資料より日本総研作成

プロジェクト実施者は、Secretariat に対して PIN (詳しくは後述する) と Validation 段階の PDD を提出する。シンガポール政府承認の事務局機能を担う Secretariat は、NEA と RCD (Resource Conservation Department) によって構成されており、プロジェクト実施者のコンタクト先でもある。

Secretariat による PIN の事前確認を通過した後、TC (Technical Committee) において詳細な審査が実施される。TC は NEA を委員長として、EDB (Economic Development Board) や EMA (Energy Market Authority)、IE Singapore (International Enterprise Singapore)、学識 (NTU

(Nanyang Technological University)、NUS (National University of Singapore)) からなる組織であり、申請のあった CDM プロジェクトをシンガポール政府が掲げる SD Criteria (持続可能性基準、詳細は後述する) にしたがって評価する。

TC の推薦を受けて NA (National Authority) が Secretariat を通じて当該 CDM プロジェクトについて LoA を発行する。

上記政府承認手続きは、Validation と同時進行で行うことが可能である。また、政府承認にかかる期間は問題がなければ通常約 1 ヶ月である。

(2) SD Criteria の概要

シンガポールにおいて CDM プロジェクトを実施するためには、次の 3 つの持続可能性基準を満たす必要がある。

- ・ 環境的持続可能性
 - シンガポールの環境規制・基準を全て満たすこと
 - プロジェクトが本質的に温室効果ガス削減につながっており、計測可能なこと
- ・ 経済的持続可能性
 - プロジェクトにおいて現状のシンガポールの産業の平均的な技術よりも高効率（エネルギー効率、資源効率）な技術が採用されていること
 - プロジェクトによって温室効果ガス削減に関する技術移転もしくは能力開発が進むこと
- ・ 社会的持続可能性
 - プロジェクトによって職業機会が創出されることで生活改善が実現できること

(3) PIN の概要

シンガポール政府承認プロセスに必要な PIN は次の項目にしたがって記載する必要がある。

図表 2-7 PIN の概要

1. 提案者	2. プロジェクト概要	3. GHG 削減量	4. SD Criteria
参加者の氏名	題名と目的	ベースライン	環境的持続可能性
住所	技術概要	削減量推計	経済的持続可能性
連絡先	採用技術	方法論	社会的持続可能性
国	実施場所	クレジット期間	
業種	スケジュール	モニタリング	
その他の参加者	カテゴリー		

(出所) NEA 資料より日本総研作成

(4) PDD 作成支援情報

PDD作成時に必要なシンガポールの系統電力の排出係数に関する情報はシンガポール政府から公表されている。具体的には、OMは0.52307[kg-CO₂/kWh]、BMが0.45273[kg-CO₂/kWh]（いずれも2005年）である。算出根拠は示されていないが、ValidationにおいてDOEからの開示請求には応じるとしている。

(5) CDM プロジェクト補助制度

シンガポールではCDMプロジェクトを普及させるために、CDMの方法論開発とPDD作成に関する費用の補助制度が用意されている。図表2-8のような基準と審査を経てNEAにより補助金が支給される。

図表 2-8 シンガポールにおける CDM プロジェクト補助制度

補助額	<ul style="list-style-type: none"> • 新方法論の開発時：方法論開発と PDD 作成費用の 50% • 既存方法論利用時：PDD 作成費用の 30% <p style="text-align: right;">(いずれも、10 万 S\$が上限)</p>
補助範囲	方法論開発と PDD 作成にかかるコンサルティング費用（建設費は不可）
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> • 方法論開発もしくは PDD 作成に関するコンサルティング契約が未締結 • プロジェクトの建設や機器の設置の開始前 • シンガポール企業 • シンガポール国内での CDM 実施 • 1 件以上の国連登録済 CDM プロジェクトの経験を有するコンサルタント
適用期間	2008 年 8 月 14 日以降
支払条件	<ul style="list-style-type: none"> • 契約時に総額の 40%（補助金支給決定日から 3 ヶ月以内） • Validation 終了時に総額の 50%（補助金支給決定日から 18 ヶ月以内） • 国連登録時に総額の 10%（補助金支給決定日から 3 年以内）

(出所) NEA 資料より日本総研作成

(6) シンガポールの CDM 事業の現状

2009 年 1 月 6 日現在、CDM理事会に登録されたプロジェクトは 1 件のみである。Validation 中のものも含めた当該国における案件リストは次のとおりである。全 5 件を合計した年間温室効果ガス削減予測量は、58.7[万t-CO₂/年]である。なお、図表 2-9 の最下段のプロジェクトは、本調査対象のプロジェクトである。

図表 2-9 シンガポールにおける登録済み CDM プロジェクト (2009 年 1 月 6 日現在)

案件名	種類	ステータス
Thermal energy recovery for new applications at No 5 Sungei Kadut Street 6 by Bee Joo Industries Pte Ltd	バイオマスエネルギー	Registered
Kim Hock Biomass Energy and Wood Recycling Plant	バイオマスエネルギー	Validation
Natural Gas based Combined Cycle Power Plant (CCP) Blocks 30 & 40 at Pulau	燃料転換	Validation
9.5 MW Food Waste Based Grid Connected Power Project implemented by IUT Singapore Pte Ltd.	バイオガス	Validation
Sewage sludge dehydration and incineration project	Landfill Gas	Validation

(出所) UNFCCC Web サイト、UNEP Risoe 資料より日本総研作成

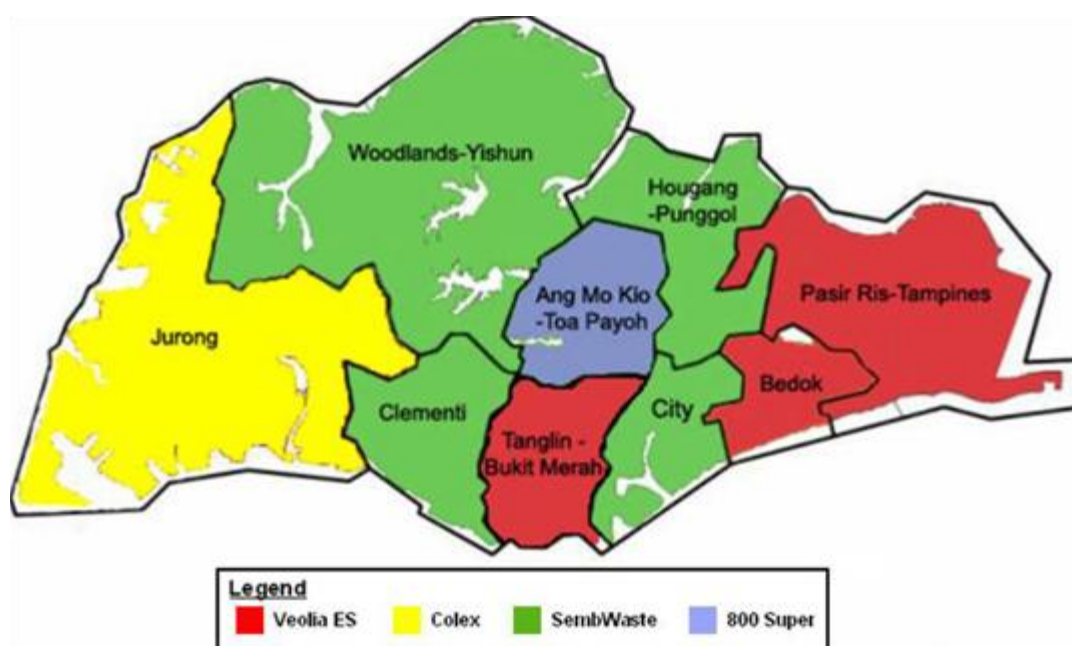
第3章 シンガポールの廃棄物処理および下水処理の現状⁵

3.1 廃棄物処理の現状

(1) 固形廃棄物収集システム

都市廃棄物の収集システムでは、シンガポール国内を9地域に区分し、それぞれのエリアで競争入札によって選出された民間事業者が収集を行っている。入札は7年毎に実施される。現在は図表3-1に示すように4つの事業者によって収集されている。産業廃棄物については、NEAが許可した民間事業者が収集を担当する。

図表3-1 シンガポールの廃棄物収集地域区分と担当事業者



(出所) NEA Web サイトより日本総研作成

(2) 廃棄物発生量と処理・処分施設

現在、NEAは固形廃棄物の処理・処分施設として、4つの焼却施設(Ulu Pandan 焼却場、Tuas 焼却場、Senoko 焼却場、Tuas South 焼却場)と海上埋立地であるSemakau 埋立処分場を保有・運転・管理している。2007年には、年間約275[万t]の廃棄物が発生し、うち92.7%の238[万t]が焼却処理され、残りは直接埋立処分された。廃棄物発生量のうち58%は一般家庭やフードセンター、市場からで、残りの42%が工業と業務系であった。一人当たりの廃棄物発生量は0.88[kg/(人・日)]である。

シンガポールではここ30~40年の間に目覚ましい成長を遂げ、それと同時に大量の廃棄物が発生することとなった。1970年には年間46[万t]であった廃棄物が、2005年には255[万t]にまで急増した。

⁵ NEA Webサイト、PUB (シンガポール公益事業庁、Public Utility Board) Webサイト

4つの焼却施設では日量8,200[t]の廃棄物を焼却すると同時に、発電を行っている。2006年には焼却施設における発電量は955,237[MWh]に達した。これは、シンガポールの全発電量のうち2~3%を占める量である。シンガポールでは発電施設を備えた処分場をWTEP(Waste to Energy Plant)と呼ぶ。

図表3-2 廃棄物の発生量・リサイクル率(2007年実績)

種類	発生量 [t]	リサイクル量 [t]	廃棄量 [t]	リサイクル率 [%]
厨芥	558,900	51,200	507,700	9
紙	1,202,900	619,000	583,900	51
プラスチック	659,800	75,000	584,800	11
建設廃材	778,300	759,300	19,000	98
木くず	246,200	127,800	118,400	52
剪定枝	224,600	91,180	133,500	41
鉄	736,500	668,000	68,500	91
非鉄	92,300	75,600	16,700	82
スラグ	527,200	520,000	7,200	99
汚泥	124,600	0	124,600	0
草	65,300	5,800	59,500	9
布・皮革	110,100	6,000	104,100	5
廃タイヤ	25,500	22,000	3,500	86
その他	248,600	14,000	234,460	6
合計	5,600,800	3,034,800	2,566,600	54

(出所) NEA Web サイトより日本総研作成

図表3-3 廃棄物発生量の推移

年	埋立処分場 [千t]	焼却処分場 [千t]	廃棄物発生量 [千t]
1999	756.2	2,036.3	2,792.5
2000	357.0	2,440.2	2,797.2
2001	251.3	2,550.9	2,802.1
2002	204.3	2,421.3	2,625.6
2003	193.8	2,311.2	2,505.0
2004	219.6	2,263.0	2,482.6
2005	270.1	2,278.6	2,548.7
2006	234.5	2,329.1	2,563.6

(出所) NEA Web サイトより日本総研作成

(3) 廃棄物減量化

焼却処理や埋立処分では廃棄物問題を根本から解決することができず、比較的安価な費用で減量することの必要性が、シンガポールでも認識されており、1992年2月にNEAの下に”Waste Minimization Unit”を創設し、国家戦略とし3R (Reduce、Reuse、Recycle)を推進することとなった。

1979年以前は全量を埋立処分していたが、国土の狭いシンガポールでは埋立処分場の確保が難しいことや、多くの廃棄物が可燃性のものであったことから、1979年にUlu Pandan焼却場を建設し、可能な限り減容化して処分することとなった。現在は4つの焼却場を有し、中でもTuas焼却場は世界でも最大級の焼却炉となっている。

図表 3-4 シンガポールの廃棄物処分場の立地



(出所) 「Semakau Landfill & Tuas Marine Transfer Station」 (NEA)

(4) Pulau Semakau 処分場

焼却処理による減容化を進めてきたが、不燃物や焼却灰の処分のため埋立処分場が必要である。Tampines埋立処分場、Choa Chu Kang埋立処分場、Kok Sek Lin埋立処分場、Lim Chu Kang埋立処分場がすでに閉鎖され、最近ではLorong Halus埋立処分場が1999年4月に受入可能容量に達して閉鎖された。現在は、シンガポール初の海上埋立処分場であるPulau Semakau埋立処分場のみが稼働中である。

Pulau Semakau埋立処分場は350[ha]の広大な敷地に63[百万m³]の埋立容量を誇る大規模海上埋立処分場である。Pulau Semakau埋立処分場へは、対岸の積出港からはしけに載せて運搬している。Pulau Semakau処分場は非常に大規模であるが、2030年から2045年には受入可能容量に達すると見込まれており、減容化は引き続き重要である。

図表 3-5 Pulau Semakau 埋立処分場の全景



(出所) 「Semakau Landfill & Tuas Marine Transfer Station」 (NEA)

図表 3-6 Pulau Semakau 埋立処分場への積出港の様子 (左) と海上輸送はしけ (右)



(出所) 「Semakau Landfill & Tuas Marine Transfer Station」 (NEA)

(5) 廃棄物処理・処分施設の建設費用

廃棄物処理・処分施設の建設には多額の費用が必要となる。図表 3-7 に現在稼働中の焼却処理場の建設費をまとめて示した。

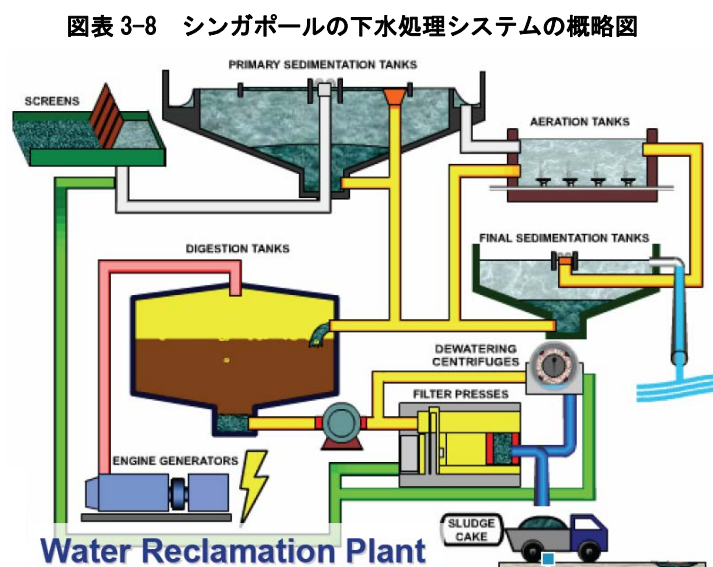
図表 3-7 稼働中の廃棄物処理・処分場の建設費

	施設	開設年	建設費[百万 S\$]	処理能力[t/日]
焼却	Ulu Pandan	1979	130	1100
	Tuas	1986	200	1700
	Senoko	1992	560	2400
	Tuas South	2000	900	3000
埋立	Pulau Semakau	1999	610	—

(出所) NEA Web サイトより日本総研作成

3.2 下水処理の現状

下水は下水道を通じて収集され、現在 PUB (Public Utilities Board、シンガポール公益事業庁) が保有・運転・管理する 6 つの処理場にて処理されている。図表 3-8 に下水処理システムの概略図を示す。



(出所) PUB Web サイト

(1) 事前処理

事前処理では下水中に含まれる浮遊物や土砂を除去する。具体的には、地下深くの下水道からポンプでくみ上げ、タンクに貯留し、スクリーンによる除去、沈砂の工程を経る。

(2) 前処理

沈砂後の下水を貯水タンクに送り、SS (Suspended Solid) を沈降させる。沈降物は前処理汚泥として除去し、処分する。図表 3-9 に前処理装置を示す。

図表 3-9 前処理装置



(出所) PUB Web サイト

(3) 2次処理

2次処理はエアレーションタンク（曝気槽）において、下水を活性汚泥を用いて処理する。活性汚泥により汚水に対して生物学的処理を行う。微生物が活動するために酸素が必要なため、曝気槽により絶えず空気を送り込み、好氣的処理が進むように管理する。図表 3-10 に2次処理の様子を示す。最終的に、活性汚泥はタンク底面に沈殿するため、タンク上層の上澄み液のみ河川に放流し、沈殿した活性汚泥は一部処分し、一部はエアレーションタンクに戻される。

図表 3-10 2次処理施設



(出所) PUB Web サイト

(4) 最終処理⁶

シンガポールにおける最終放流水の水質基準は、BOD: 20[mg/L]、SS: 30[mg/L]とされている。基準に合致した処理水は河川・海洋に放流されるが、うち一部はメンブレン膜処理の高度処理を施されジュロン工業団地において”Newater”として再利用される。

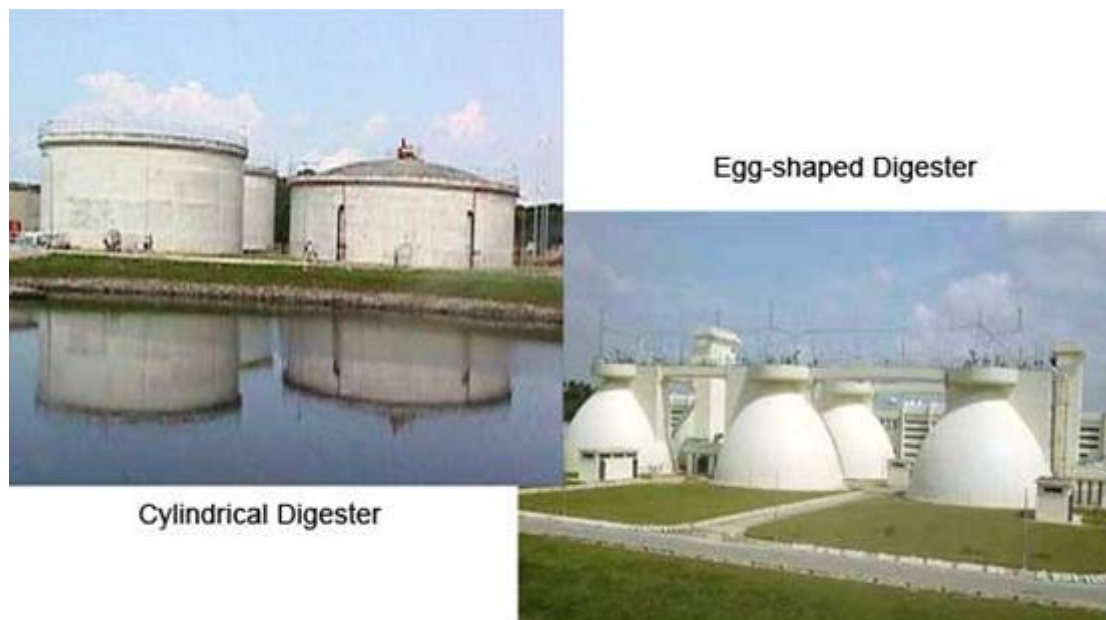
(5) 汚泥処理

前処理から生じた生汚泥と、2次処理によって生じた余剰活性汚泥はともに水分を多く含んでいるため、脱水後処理される。脱水後、卵形嫌気性発酵槽（ダイジェスター）において、嫌気性細菌による消化処理（メタン発酵）を行う。20～30日の発酵期間を経て、メタンを60～70%含むバイオガスを得ることができる。バイオガスは下水処理施設における燃料として、発電や熱利用に利用されている。

⁶ PUB Webサイト

発酵処理済みの汚泥については、水分を大量に含んでいるので、脱水処理を施すなどして埋立処分される。

図表 3-11 卵形嫌気性発酵槽（ダイジェスター）



(出所) PUB Web サイト

(6) DTSS (Deep Tunnel Sewerage System)

シンガポールの下水普及率は現在 100%であるが、今後も都市化が進み下水処理場の増強が必要となる見込みである。しかし、国土の狭いシンガポールでは新たな下水処理場の用地確保は容易ではない。そこでPUBは 2000 年にDTSS (Deep Tunnel Sewerage System) の取り組みを開始した。DTSSは中長期的な下水処理処分の解決策と位置づけている。フェーズ1としてKranjiからChangiに至る総距離 48kmの大深度下水道を開設した。これによりKranji地区の下水は、日処理量 800,000[m³]を誇る最新下水処理施設であるChangi下水処理場にて処理されることとなった。DTSSの計画では、現在 6 つある下水処理場 (Kranji、Ulu Pandan、Seletar、Bedok、Tuas、Changi) を段階的に統合・閉鎖し、シンガポールで発生する半分以上の下水を大深度下水道を介してChangi下水処理場に運び、そこで集中処理する。PUBの試算によると、これにより集中処理により大幅なコスト削減が可能になる。

(7) Changi 下水処理場

Changi下水処理場は、DTSSの中核を担う施設である。34[ha]の広大な敷地に日量 800,000[m³]の下水を処理できる設備を持つ。将来的には、処理能力は現在の 3 倍の 2,400,000[m³/日]にまで増強される予定である。Changi下水処理場では最新の高度処理設備が導入されている。前述した卵形嫌気性発酵槽や”Newater” 処理施設が完備されている。

図表 3-12 Changi 下水処理場の全景（左上）と処理プロセス概要（右下）



(出所) PUB Web サイト

第4章 プロジェクトの概要

4.1 プロジェクトの内容

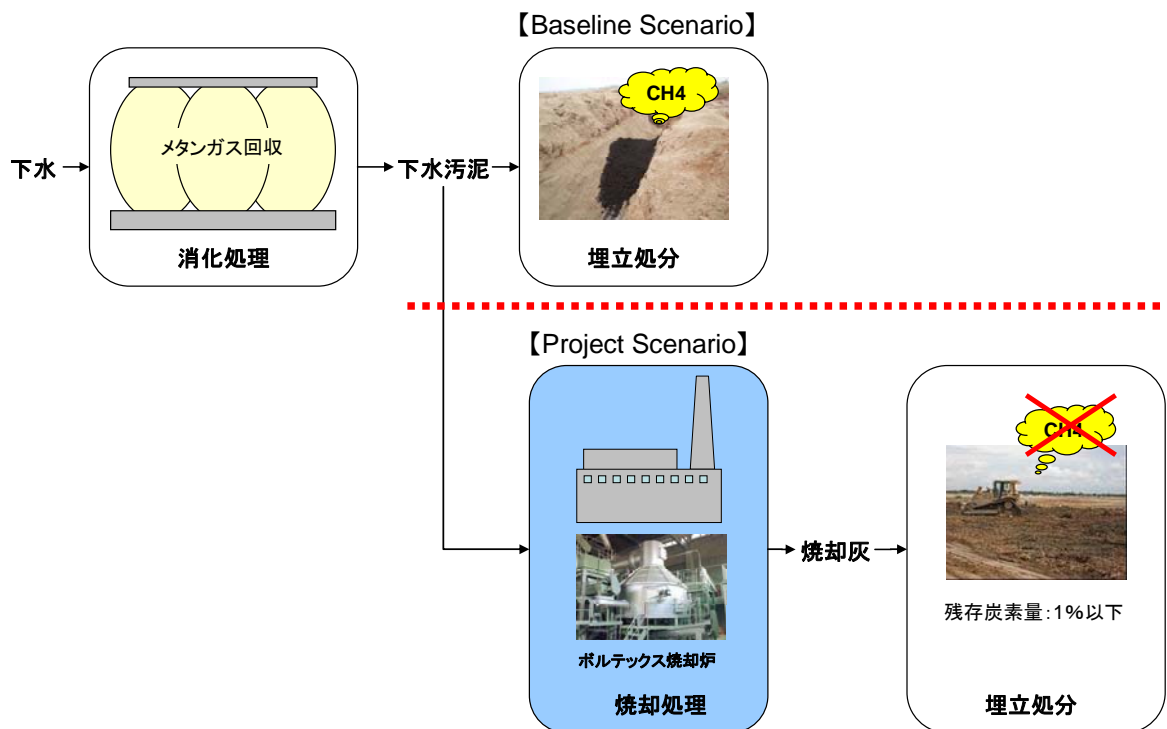
(1) プロジェクトの内容

シンガポールでは下水処理場から発生した下水汚泥の全量をシンガポール本島東端の Changi 下水汚泥埋立処分場に運搬し、埋立投棄している。Changi 下水汚泥埋立処分場では、投棄下水汚泥が嫌気性分解し、メタンガスが発生しており、フレアリング等の処理を施さないまま大気中に放出されている。

本プロジェクトでは、現在 Changi 下水汚泥埋立処分場に投棄されている下水汚泥の全量について、シンガポールの廃棄物処理会社である ECO 社が、シンガポール本島西端の Tuas 工業地帯において焼却処理する。これにより投棄量を焼却灰のみに減容化するとともに、大気中に放出しているメタンガスをゼロにすることができる。

本プロジェクトで利用する技術は、下水汚泥の乾燥・焼却技術である。ECO 社が導入する焼却技術は、日本国内において多くの実績をもつ高性能焼却装置である日本メーカーのボルテックス焼却炉である。ボルテックス焼却炉は、炉内にある攪拌回転アームの下部から、火吹竹の原理で燃焼に必要な空気を噴出し、処理物を攪拌させながら完全燃焼させる技術である。また、焼却の過程で発生する熱は、乾燥工程に利用する。

図表 4-1 本プロジェクトの概要



(出所) 日本総研作成

(2) プロジェクトの目的

以下の点において、ホスト国の持続可能な発展に貢献することができる。

- ・ 新たな埋立処分場の確保が困難なシンガポールにおいて、本プロジェクトは投棄量を大幅に減容化することが可能であり、処分場の逼迫問題の改善に貢献できる。
- ・ 下水汚泥を焼却処理することで不活性な焼却灰のみを投棄することとなり、埋立処分場周辺域の水質悪化・悪臭の防止に貢献できる。
- ・ 日本の焼却技術の移転に伴い、ホスト国の温暖化防止技術に関するキャパシティビルディングが可能である。
- ・ 下水汚泥の焼却処理は東南アジア諸国では先進的であり、上述の問題を抱える周辺諸国への波及効果が期待できる。
- ・ 焼却処理施設の建設・維持・管理のための新たな雇用を創出する。

(3) プロジェクトの実施体制

本調査の実施体制は、シンガポール側から ECO 社、日本側からは鹿島建設、日本総合研究所の3社である。また、本調査には直接関与しないが、下水汚泥処理事業の発注元である PUB および、排出権の移転に関する業務を担当する三井住友銀行の協力を得て、プロジェクトを推進することとする。それぞれの役割は次の通りである。

<日本総合研究所>

本調査の実施主体。現地調査に基づくフィージビリティスタディ及び PDD の作成を実施する。

<鹿島建設>

現地調査、プロジェクト実施サイトにおける実測、化学分析を行うほか、本調査に必要なデータ収集やヒアリング調査、PDD 作成などのサポートを行う。

<ECO 社>

本プロジェクトの実施者。プロジェクトに対して投資するほか、プラントの運転・モニタリングなどを担当する。

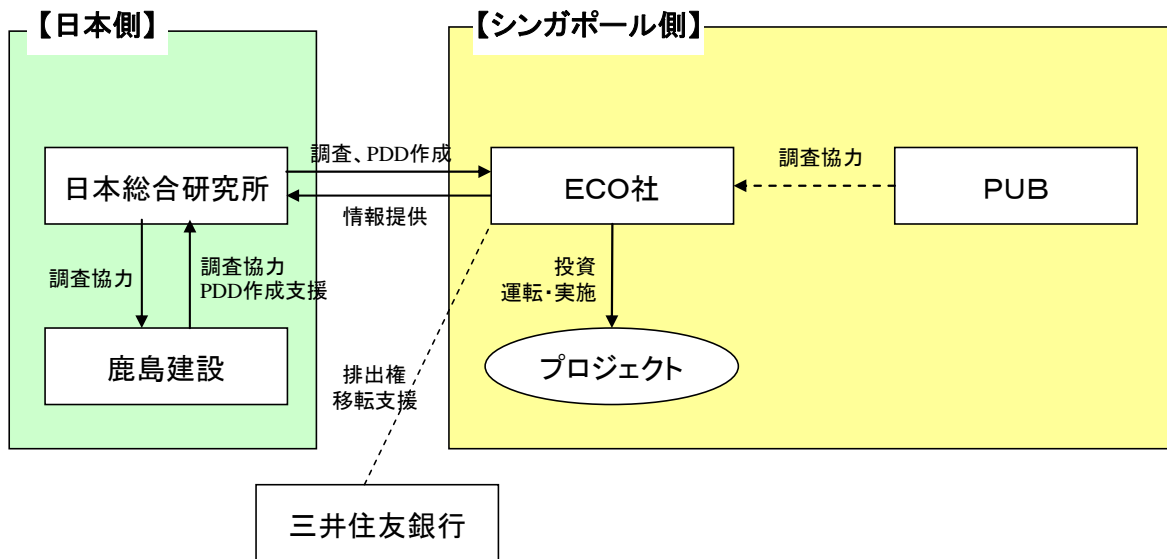
<三井住友銀行>

CDM プロジェクトにおける排出権移転に関する支援を行う。

<PUB>

ECO 社が実施する廃棄物中間処理事業の発注者。CDM 調査に関してデータ提供など支援を行う。

図表 4-1 本プロジェクトの実施体制



4.2 プロジェクト実施サイトの概要

(1) Changi 下水汚泥埋立処分場

Changi 下水汚泥埋立処分場は、Changi 下水処理場至近、Changi 国際空港至近のシンガポール本島東端海岸沿いに位置する。シンガポールに存在する6つの下水処理場の全ての下水汚泥を受け入れている。

図表 4-2 Changi 下水汚泥埋立処分場の位置



(出所) Google Map

① 現状の処理汚泥の投棄方法

シンガポールに存在する6つの下水処理場はそのすべてで卵形消化槽にてメタン発酵が行われている。汚泥は脱水処理され、その全量がChangi 下水汚泥埋立処分場に運び込まれる。なお、Changi 下水処理場からの汚泥は乾燥機を通した乾燥汚泥（他は脱水処理のみ）である。

Changi 下水汚泥埋立処分場は1[km]×1[km]の広さであり、100[m]単位で区画わけされており、受け入れ月ごとに区画を変えている。受け入れ量についてはトラックスケールで計測し、受け入れた下水汚泥は即日覆土を施している。

図表 4-3 Changi 下水汚泥埋立処分場の投棄の様子



② 埋立処分場からのメタン発生

下水汚泥は消化処理を受けた後のものであるが、処理後の残留炭素は乾燥重量に対して25～32.5%であるため、これが嫌気分解することにより処分場からメタンが発生している。

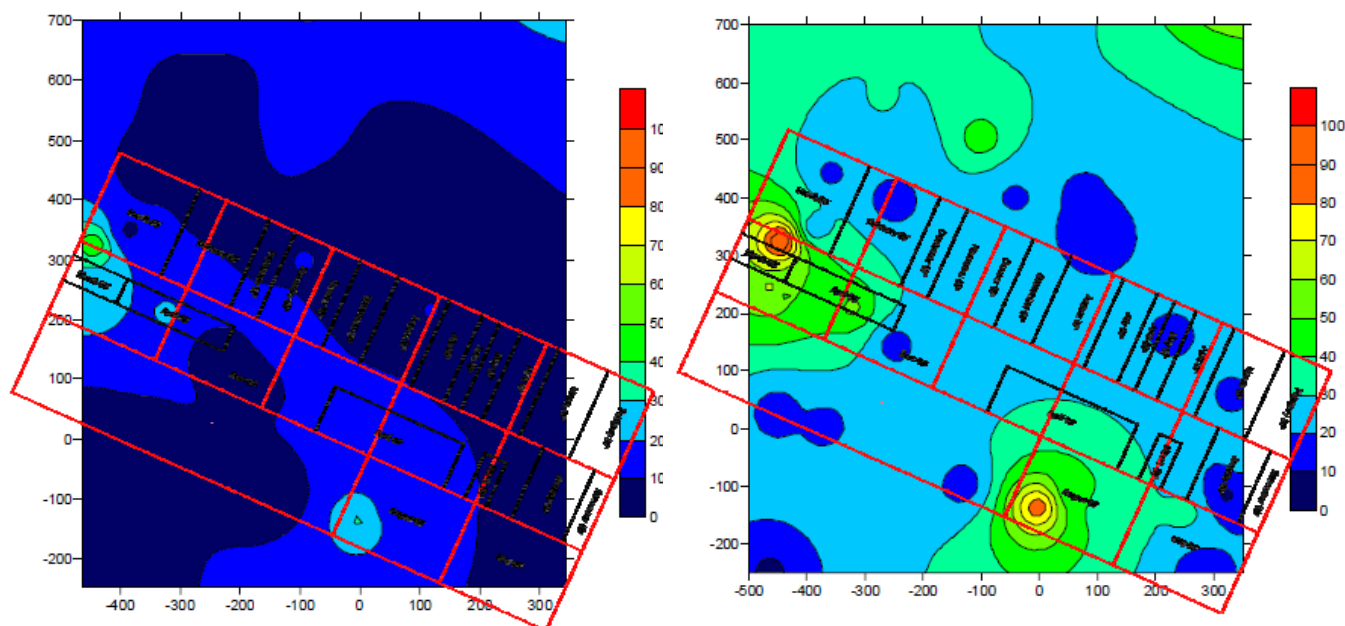
本調査では現地調査時に Changi 下水汚泥埋立処分場におけるメタン発生の有無を確認する調査を実施した。メタンの測定にはレーザーメタン計測器を用いた。これは、照射したレーザーと反射光とから吸光度を利用して照射部と反射地点との間のメタン濃度を測定することができる。GPSを用いて観測地点の緯度・経度を記録しながら、2日間で47地点の測定を行った。図表 4-4 にサイトにおけるメタン濃度の実測結果を示した。

図表 4-3 メタンガス計測の様子



(出所) 日本総研撮影

図表 4-4 処分場地表面メタンガス濃度結果（左：平均濃度、右：最高濃度）



単位：ppm

*赤い枠は、Changi 下水汚泥埋立処分場において最近 1 年間で埋立処分された領域を表す。

(出所) 鹿島建設作成資料

測定地点のメタン濃度は、最高値で 15～100ppm 程度の濃度分布が確認できた。メタンガス発生がない場所での濃度（バックグラウンド濃度）である 10ppm 程度と比較して高濃度であることから、下水汚泥からのメタンガスの発生が確認できた。即日覆土、踏み固め処理しているため、メタンの発生場所はひび割れがある箇所などに集中していたり、降雨（本調査実施直前に激しいスコールがあった）や風による影響も受けるので、埋立処分場全体の濃度を同定することは難しい。しかしながら、他地域での都市廃棄物処分場におけるメタンガス濃度の実測結果と比較して、本実測で得られた 100ppm という値は非常に高く、相当程度のメタンガスが発生していることが確認できた。

(2) 焼却処理施設サイト

本プロジェクトの実施サイト（下水汚泥焼却施設サイト）は、シンガポール本島の西端の Tuas 工業地域に位置する。

① ECO 社

本プロジェクトの実施者である ECO 社（ECO Industrial Environmental Engineering Pte. Ltd.）は、1995 年にシンガポールに設立され、ECO 特別廃棄物管理会社（ECO-SWM）、ECO 資源再生利用センター（ECO-RRC）、ECO エネルギー回収システム会社（ECO-ERS）の 3 社から構成されている。産業廃棄物処理、有害廃棄物処理、環境衛生試験などを業務内容としており、当該国の廃棄物処理全般について豊富な実績を有している。

図表 4-5 プロジェクト実施サイトの位置



(出所) Google Map

② サイトの現状

現地出張時にプロジェクトサイトの視察を行った。サイト建設は2009年4月までに完了し、4月から下水汚泥を受け入れ運転を開始する。周囲は工業地区で、Tuas 火力発電所の至近であり、住民はいない。

図表 4-6 プロジェクトサイトの様子



(出所) 日本総研撮影

4.3 プロジェクトの適用技術

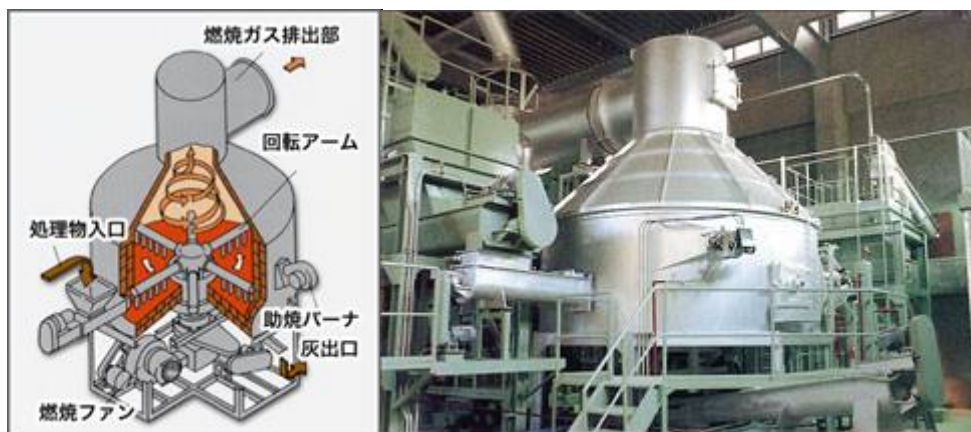
(1) 技術概要⁷

本プロジェクトでは、下水汚泥の乾燥・焼却技術を採用する。ECO 社が導入する焼却技術は、大和三光製作所のボルテックス焼却炉である。

ボルテックス焼却炉は、攪拌吹込連続単段炉として、日本国内でも多くの実績をもつ高性能の焼却装置であり、各業界で活躍している。ボルテックス炉は、炉内にある攪拌回転アームの下部から、火吹竹の原理で燃焼に必要な空気を噴出し、処理物を攪拌させながら完全燃焼させる技術である。焼却の過程で発生する熱は、乾燥工程に利用する。

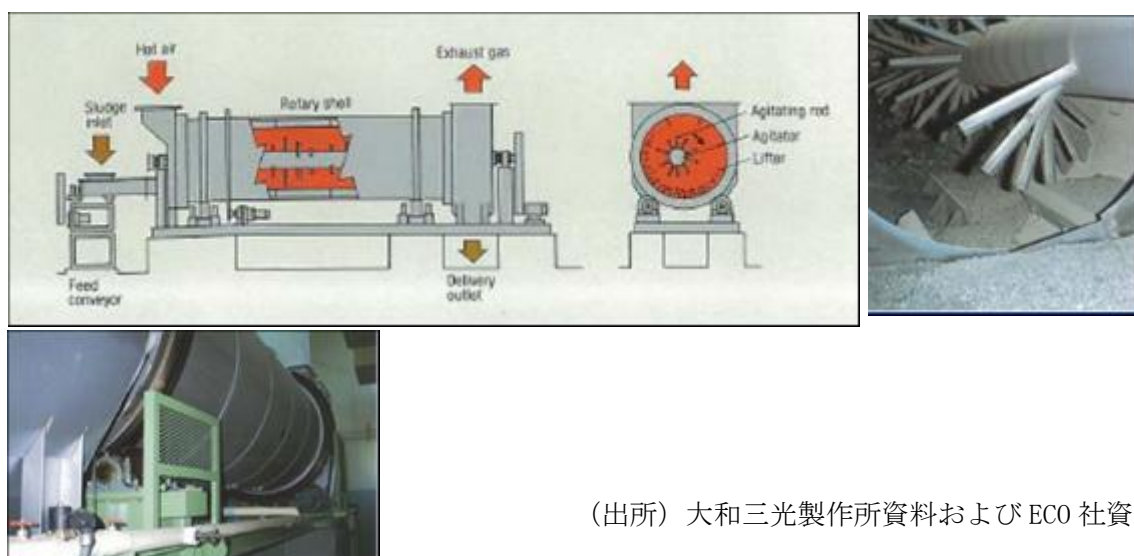
乾燥工程では、大和三光製作所の攪拌ロータリー乾燥機を導入する。攪拌ロータリー乾燥機は、回転円筒（シェル）内部に攪拌軸・攪拌棒を有する攪拌装置が設けられており、掻きあげられた材料は攪拌装置により破碎・分散を繰り返すことによって熱風との接触を良くし、効果的に乾燥する形式となっている。

図表 4-7 ボルテックス炉



(出所) 大和三光製作所 Web サイト

図表 4-7 攪拌ロータリー乾燥機



(出所) 大和三光製作所資料および ECO 社資料

⁷ 大和三光製作所Webサイト

(2) 焼却システムの全体像

プロジェクトサイトには、合計5基のボルトエクス炉が設置され焼却処理が実施される。図表4-8に本プロジェクトの焼却システムの全体像を示した。上述した乾燥施設と焼却処理施設だけでなく、下水運搬機器、排ガス処理装置、廃水処理装置など付随施設も建設される。

図表 4-8 下水汚泥焼却施設のプロセスフロー



(出所) ECO 社資料

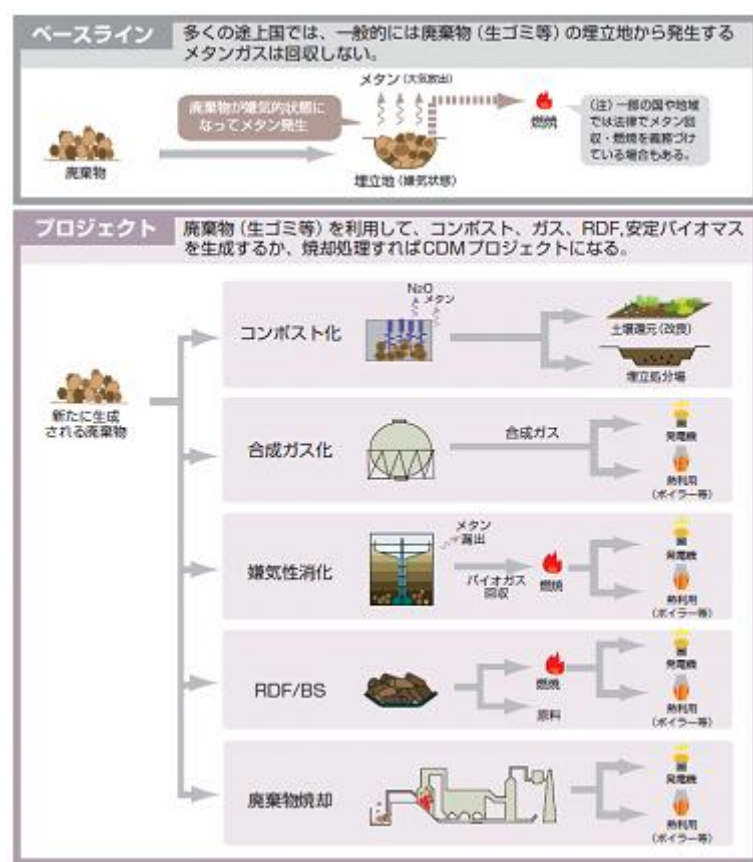
第5章 ベースライン方法論の設定

5.1 方法論の概要

本プロジェクトは、承認済み方法論 AM0025 “Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes (version 11)” の適用が可能である。本方法論は、ベースライン（プロジェクト活動が実施されなかった場合）として埋立地において有機性廃棄物の嫌気性分解により温室効果ガスであるメタンが発生している状況を想定しており、方法論に規定された下記中間処理手法のうち、ひとつもしくは複数を用いたプロジェクト活動により、このメタン発生回避を図るものである。

- a) 好気条件下でのコンポスト化
- b) 廃棄物のガス化による合成ガス生成とその利用
- c) 嫌気性消化によるバイオガス回収・燃料または利用
- d) 廃棄物固形燃料（RDF）や安定化バイオマス（SB）生産。そのための機械、熱処理プロセスの導入。
- e) 廃棄物を焼却し、その熱や電力を利用。

図表 5-1 ベースラインおよびプロジェクトの図解



（出所）財団法人地球環境センター Web サイト

本プロジェクトは、前述のうち e) に適合しており、本方法論の適用が可能である。なお、本方法論は以下の方法論及びツールも参照する。

- “Tool for the demonstration and assessment of additionality” (version 05.2)
- “Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site” (version 04)
- “Tool to calculate the emission factor for an electricity system” (version 01.1)

5.2 方法論の正当性と適用条件

本方法論では、廃棄物焼却プロジェクトとして適用対象となるプロジェクトは下記の条件を満たす必要がある。

- 焼却の場合、廃棄物は10日以上保管されないこと。またメタンガス発生につながるような嫌気性の状態で保管されないこと。
- プロジェクトが実施されなかった場合に発生していたガス量を多相処分場ガス発生モデル (multiphase landfill gas generation model) によって予測するため、有機系廃棄物の内容や割合が測定できること。
- ベースラインにおける廃棄物処理が、環境規制で上記に述べた中間処理手法の何れかが義務付けられているにも関わらず、処分場への直接投棄という手法が継続されるというものであること。
- クレジット期間における環境規制の遵守率が50%以下であること。モニタリングの結果50%を超えた場合は規則が遵守されていないとは言えないため、追加のクレジットを得ることはできない。
- プロジェクト活動では、産業廃棄物や医療廃棄物の熱処理を行わないこと。
- 助燃剤が使用されている場合、助燃剤によって発生した熱量が焼却炉全体で発生した熱量の50%以下であること。

本プロジェクトは、廃熱を有効利用する下水汚泥の焼却プロジェクトである。また、ベースラインシナリオは下水汚泥埋立地への直接投棄であり、シンガポール国において、下水汚泥の中間処理方法を義務付ける法律は存在しない。なお、上記に示した条件をすべて満たすため、AM0025 (Version11) は適用可能である。

5.3 ベースラインシナリオ

本プロジェクトに最適なベースラインシナリオを、方法論 AM0025 (version 11) に基づき確定する。また、CDM 理事会による“追加性の評価と証明のためのツール (Tool for the demonstration and assessment of additionality) version 05.2” も使用して検証する。方法論 AM0025 で既定されている手順は以下の通りである。

STEP1：プロジェクトの代替案の同定

STEP2：ベースラインシナリオにおける燃料の特定

STEP3：“追加性の評価と証明のためのツール”のSTEP2及びSTEP3による検討

ToolのSTEP2:提案されたプロジェクトが経済的または財務的に魅力的でないことを示す投資分析

ToolのSTEP3：障害分析

STEP4：STEP3による評価でも複数の代替案が残った場合は、最も保守的なシナリオ（排出量が最も少ないもの）を選定する。

(1) ステップ1：プロジェクト活動に対する代替案の同定

本プロジェクトでは、プロジェクト活動がなかった場合の廃棄物の廃棄及び処理の代替案として、以下の案を想定している。

M1：CDMによる収入がなかった場合の下水汚泥の焼却事業

M2：下水汚泥のコンポスト化

M3：下水汚泥の溶融

M4：処分場ガス回収を伴う下水汚泥の埋立処分場への投棄

M5：処分場ガス回収を伴わない下水汚泥の埋立処分場への投棄

なお、上記の代替案は全てシンガポール国における現行の法規に合致したものである。

(2) ステップ2：ベースラインシナリオにおける燃料を特定する

シンガポールでは第1章で記載したように天然ガスが最も一般的な燃料となっている。そこでベースラインシナリオにおける燃料としては天然ガスを想定する。

(3) ステップ3：“追加性の評価と証明のためのツール”による検討

ツールのSTEP2（投資分析）にしたがい、各シナリオの投資分析を行うと次のような結果となる。

① M1：CDMによる収入がなかった場合の下水汚泥の焼却事業の検討

投資分析を行った結果、ベンチマークを下回ったため、事業性なしと判断。ベンチマークはシンガポールのプライムレートを使用。

② M2：下水汚泥のコンポスト化の検討

コンポストの国内需要がなく、明らかに事業性なし。

③ M3：下水汚泥の溶融の検討

M1よりもさらに初期・運転費用がかかるため、明らかに事業性なし。

④ M4：処分場ガス回収を伴う下水汚泥の埋立処分場への投棄の検討

ガス回収を実施した場合、全く収入がないため、事業性なし。

以上より M5 が唯一の候補となり、よってベースラインシナリオは現状維持（処分場ガス回収を伴わない下水汚泥の埋立処分場への投棄）である。

5.4 プロジェクトバウンダリー

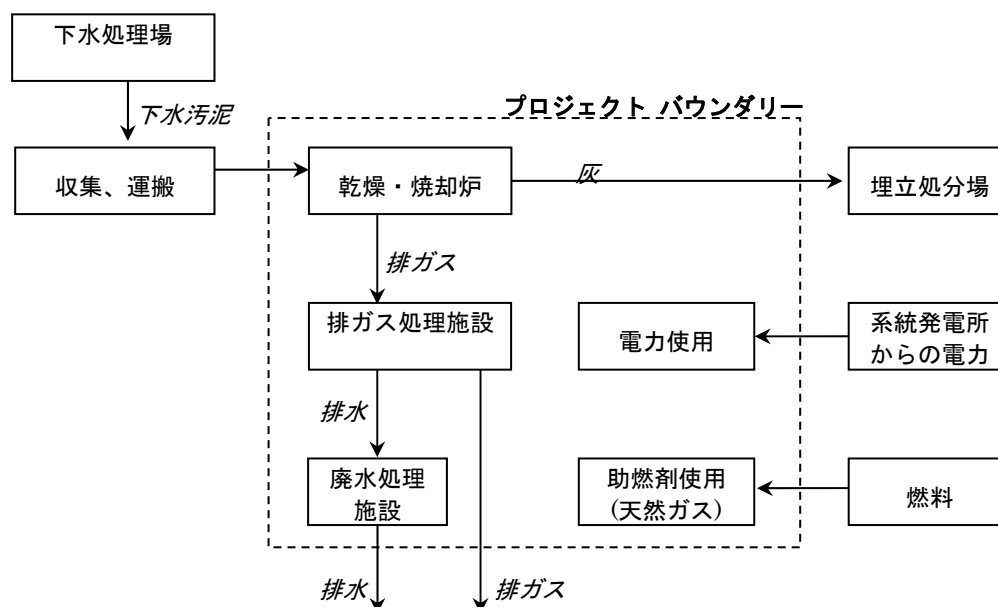
方法論 AM0025 では、プロジェクトバウンダリーは“廃棄物の処理を行う場所”であり、下記の施設を含むと既定している。

- ・ 廃棄物処理施設
- ・ サイト内の発電及び/または消費
- ・ サイト内の燃料の使用
- ・ サーマルエネルギー発電 (thermal energy generation)
- ・ 排水処理施設
- ・ 最終処分場

また、廃棄物収集及びプロジェクトサイトへの運搬のための施設は含まないとしている。

したがって、本プロジェクトのバウンダリーは、下水汚泥乾燥・焼却施設とそれに付帯する排ガス・廃水処理施設である。これを図表 5-2 に示した。

図表 5-2 プロジェクトバウンダリー



本プロジェクトで主に考慮される必要がある温室効果ガスの排出源は、廃棄物処理活動に伴い発生するCH₄、N₂O、CO₂、そしてサイト内での電力・燃料消費に伴うCO₂である。

図表 5-3 プロジェクトバウンダリーに含まれる/含まれない温暖化ガスの排出源

	発生源	ガス	含む : ○ 含まない : ×	注釈
ベースライン	汚泥投棄場所において汚泥の分解に伴う排出	CH ₄	○	ベースラインにおける主要な排出源
		N ₂ O	×	N ₂ O の排出は微量のため考慮しない これは保守的な推計である
		CO ₂	×	考慮しない
	電力使用に伴う排出	CO ₂	×	ベースラインにおいては電力使用なし
		CH ₄	×	単純化のため考慮しない これは保守的な推計である
		N ₂ O	×	単純化のため考慮しない これは保守的な推計である
	熱生成に伴う排出	CO ₂	×	ベースラインにおいては熱を生成しない
		CH ₄	×	単純化のため考慮しない これは保守的な推計である
		N ₂ O	×	単純化のため考慮しない これは保守的な推計である
プロジェクト	サイトにおける化石燃料利用に伴う排出	CO ₂	○	焼却時に助燃剤として天然ガスを利用
		CH ₄	×	単純化のため考慮しない 発生量は微量である
		N ₂ O	×	単純化のため考慮しない 発生量は微量である
	サイトにおける電力利用に伴う排出	CO ₂	○	プラント運転時に電力を消費する
		CH ₄	×	単純化のため考慮しない 発生量は微量である
		N ₂ O	×	単純化のため考慮しない 発生量は微量である
	廃棄物処理過程からの直接排出	CO ₂	×	下水汚泥には化石燃料由来の炭素は含まれていない
		CH ₄	○	排気ガスに含まれる量を測定する
		N ₂ O	○	排気ガスに含まれる量を測定する

5.5 ベースライン排出量の算出方法

本プロジェクトにおいては、発電等の代替されるエネルギー発生がないため、プロジェクト活動がなかった場合に最終処分場から発生するメタン量がベースライン排出量になる。発生されるメタンガスは全て大気放出されるものとする。ベースライン排出量は以下の式を用いて算出する。

$$BE_y = (MB_y - MD_{reg,y}) + BE_{ENy}$$

- BE_y : y年のベースライン排出量 (t-CO₂e)
 MB_y : y年にプロジェクト活動がなかった場合に埋立地から発生するメタン量 (t-CO₂)
 “Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site”
 を用いて計算したBE_{CH₄,SWDS,y}を用いる。
 MD_{reg,y} : y年にプロジェクト活動がなかった場合に破壊されるメタン量 (t-CO₂)
 規則や契約要求事項で定められていない場合には、調整係数 AF (メタンの回収%や量を推定
 する係数) を以下の式に用いる。
 $MD_{reg,y} = MD_{project,y} \cdot AF$
 BE_{EN,y} : y年にプロジェクト活動によって代替されるエネルギー発生からの排出量 (t-CO₂e)
 (プロジェクトでの発電や熱利用で、ベースラインで利用する電力・化石燃料を代替する分)

なお、法規制等で使用が義務づけられているが、実施されていない処理活動がある場合、ベースラインシナリオは、以下の式で補正する。

$$BE_{y,a} = BE_y \cdot (1 - RATE^{Compliance}_y)$$

- BE_y : y年のCO₂換算ベースライン排出量
 RATE^{Compliance}_y : y年の都市廃棄物管理法の国レベルでの遵守率。遵守率は50%未満でなければならない。
 50%を超えた場合にはプロジェクト活動はクレジットを受け取ることはできない。この
 場合、BE_{y,a} = BE_yとする。

埋立地におけるメタンガスの発生量は、“Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site” に示されている、以下の算定方法を用いて算出する。

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \phi \cdot (1-f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1-OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j(y-x)} \cdot (1-e^{-k_j})$$

- BE_{CH₄,SWDS,y} = y年にプロジェクト活動がなかった場合に埋立地から発生するメタン量 (t-CO₂)
 φ = 不確実性係数 (0.9)
 f = 埋立地で回収され、燃焼、焼却または他の用途で使用されたメタンの割合
 GWP_{CH₄} = メタンの温暖化係数 (GWP) (約束期間に有効な数値)
 OX = 酸化率 (埋立地から発生したメタンのうち、土壌中 (またはその他) で酸化した量を反映)
 F = 埋立地ガスのうちのメタンの割合 (体積割合) (0.5)
 DOC_f = DOC異化率
 MCF = メタン調整係数
 W_{j,x} = y年に埋立地での処分を回避されたごみ量 (種類jごと) (t)
 DOC_j = ごみの種類jごとのDOC (重量%)
 k_j = ごみの種類jごとの崩壊定数
 j = ごみの種類 (index)
 x = 約束期間の年数: x: 第一約束期間の最初の年 (x=1) から、メタン排出の回避量が計算された
 年まで (x=y)
 y = メタン排出量が計算された年

上述の式を用いたベースライン排出量の算出に必要な基本データを図表 5-4 に示す。

図表 5-4 ベースライン排出量算出のための基本データ

パラメータ		数値	参考文献／算出方法
φ	不確実性に関する調整係数	0.9	
OX	酸化係数	土またはコンポストで覆土されている処分場については0.1をつかう。	現地調査で処分場のタイプを評価する。
F	埋立地ガス中のメタンの割合	0.5 (IPCC 既定値)	IPCC2006 ⁸
DOCf	分解性有機炭素 (DOC) の分解される割合	0.5 (IPCC 既定値)	IPCC2006
MCF	メタン補正係数	1.0 嫌気性処分場。現地サイトは管理された埋立処分場。	IPCC2006
DOCj	廃棄物(下水汚泥)の分解性有機炭素の割合(重量ベース)	汚泥：7.4% 乾燥汚泥 29.4% 上記数値は下水汚泥サンプルを ICES (Institute of Chemical Engineering Sciences) の実験室にて分析した結果	実験値
kj	分解速度定数	0.40 シンガポールの気候条件より、熱帯の Rapidly Degrading に該当する。	IPCC2006

5.6 プロジェクト排出量の算出方法

プロジェクト排出量には、(A)プロジェクト活動に係る電力消費による排出量、(B)燃料消費による排出量、(C)コンポストプロセス中の排出量、(D)嫌気消化プロセス中の排出量、(E)RDF・SBの燃焼からの排出量、廃棄物焼却からの排出量、(F)廃水処理からの排出量が含まれる。ただし、本プロジェクトでは、(C)、(D)、(F)は該当しないので排出量を考慮しない。プロジェクト排出量は下式を用いて算出する。

⁸ IPCC2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

$$PE_y = PE_{elec,y} + PE_{fuel,y} + PE_{i,y}$$

$PE_{elec,y}$: プロジェクト活動に関わる電力消費による排出量 (t-CO₂)
 $PE_{fuel,y}$: プロジェクト活動に関わる燃料消費による排出量 (t-CO₂)
 $PE_{i,y}$: 廃棄物焼却からの排出量 (t-CO₂)

(1) プロジェクト活動に係る電力消費による排出量

プロジェクト活動の結果、消費される電力量にCO₂排出係数をかけて算出する。

$$PE_{elec,y} = EG_{PJ,FF,y} * CEF_{grid}$$

$EG_{PJ,FF,y}$: サイト内で消費される電力量 (MWh)
 CEF_{grid} : 系統電力のCO₂排出係数 (t-CO₂e/MWh)

(2) プロジェクト活動に係る燃料消費による排出量

燃料消費量とその発熱量、CO₂排出係数より計算する。発熱量とCO₂排出係数は、地域の値がない場合にはIPCC既定値を用いる。

$$PE_{fuel,y} = F_{cons,y} * NCV_{fuel} * EF_{fuel}$$

$F_{cons,y}$: サイト内での燃料消費量 (L)
 NCV_{fuel} : 燃料の発熱量 (MJ/L)
 EF_{fuel} : 燃料のCO₂排出係数 (t-CO₂/MJ)

(3) 廃棄物焼却からのN₂O、CH₄の排出量

廃棄物焼却により発生する排ガス中には微量のN₂O及びCH₄が含まれる可能性がある。実際の排ガス量、排ガス中のN₂O及びCH₄を測定する手法 (Option1) と、焼却する廃棄物量からIPCCの既定値を用いて計算する手法 (Option2) のどちらかを選択できる。本プロジェクトでは前者 (Option1) を使用。

$$PE_{i,s,y} = SG_{i,y} * MC_{N2O} * GWP_{N2O} + SG_{i,y} * MC_{CH4} * GWP_{CH4}$$

$PE_{i,s,y}$: y年における廃棄物焼却によるN₂O及びCH₄の排出量 (t-CO₂e/年)
 $SG_{i,y}$: y年における焼却過程で発生する排ガス量 (m³/yr)
 MC_{N2O} : y年における排ガス中に含まれるN₂O含有量 (t-N₂O/m³)
 GWP_{N2O} : N₂Oの温暖化係数 (t-CO₂e/t-N₂O) (GWP=310を使用)
 MC_{CH4} : y年における排ガス中に含まれるCH₄含有量 (t-CH₄/m³)
 GWP_{CH4} : CH₄の温暖化係数 (t-CO₂e/t-CH₄) (GWP=21を使用)

5.7 リークージ

リークージは、(A)輸送増加によるリークージ排出量、(B)嫌気消化、ガス化、RDF・SBの処理・燃焼からの残留物あるいは処分場へ投棄される場合のコンポストによるリークージ排出量、(C)焼却灰中の残存炭素によるリークージ排出量、(D)SBのエンドユースによるリークージ排出量、が考えられる。

本プロジェクトの輸送増加によるリークージ排出量を検討した結果、各輸送経路を使用するトラックの延べ走行距離を考慮した結果、排出量が減少することが分かった。この場合、保守的に

考えてリーケージ排出量をゼロと考えた。なお、(B)および(D)は該当しない。

$$L_y = L_{i,y}$$

$L_{i,y}$: 焼却灰中の残存炭素からのリーケージ排出量

本プロジェクトの焼却灰に含まれる残存炭素量は同種のプラントにおける運転実績から 1%以下であることが分かっている。残存炭素量が 5%までの場合、下記のような式で残存炭素のすべてが二酸化炭素へと変化するという前提で計算する。

$$L_{i,y} = A_{residual,y} * FC_{residual} * 44/12$$

$L_{i,y}$: y年における焼却灰中の残存炭素からのリーケージ排出量 (t-CO₂e)

$A_{residual,y}$: y年における焼却炉から発生する焼却灰の量 (t/年)

$FC_{residual}$: 焼却灰に含まれる残存炭素の含有率 (%)

5.8 削減排出量の算出方法

排出削減量は、次の式を用いて算出する。ベースライン排出量、プロジェクト排出量、リーケージ排出量の算出方法については、前述のとおりである。

$$ER_y = BE_y - PE_y - L_y$$

ER_y : y年の排出削減量 (t-CO₂e)

BE_y : y年のベースラインシナリオの排出量 (t-CO₂e)

PE_y : y年のプロジェクトシナリオの排出量 (t-CO₂e)

L_y : y年のリーケージ排出量 (t-CO₂e)

5.9 プロジェクトの追加性

本プロジェクトの追加性を証明するため、CDM 理事会による”追加性の評価と証明のためのツール(Tool for the demonstration and assessment of additionality) version 05.2”を使用する。このツールにおける手順は以下のとおりである。

STEP1 : プロジェクトの代替手段の同定

STEP2 : 投資分析 または STEP3 : 障害分析

STEP4 : 一般的慣行分析

(1) ステップ1 : プロジェクトの代替案の同定

ステップ1では、本プロジェクトの代替案となりベースラインとなり得るシナリオを検討する。

① 準ステップ1a : 代替案の定義

代替案として、以下のシナリオをあげる。

- ・ M1：CDMによる収入がなかった場合の下水汚泥の焼却事業
- ・ M2：下水汚泥のコンポスト化
- ・ M3：下水汚泥の熔融
- ・ M4：処分場ガス回収を伴う下水汚泥の埋立処分場への投棄
- ・ M5：処分場ガス回収を伴わない下水汚泥の埋立処分場への投棄

② 準ステップ1b：必要な法規との整合性

ステップ1aで挙げられたシナリオは全てシンガポール国の法規制を遵守したものである。

(2) ステップ2：投資分析

① 準ステップ2a：適切な分析方法を決定する

提案されたプロジェクトをCDM事業として実施しない(クレジットの売却益を考慮しない)ことが可能か否かを検証する。追加性マニュアルでは、検証方法として以下の3つのオプションが挙げられている。

- ・ オプションⅠ：単純コスト分析(プロジェクトがCDM以外の収入を見込めない場合)
- ・ オプションⅡ：投資比較分析(CDM以外の収入も見込める場合)
- ・ オプションⅢ：ベンチマーク分析(CDM以外の収入も見込める場合)

シンガポール国では、本プロジェクトの比較対象となる代替プロジェクトがないことから、オプションⅢを用いることとする。

② 準ステップ2b：ベンチマーク分析の適用

本プロジェクトに最も適切な財務指標として、内部収益率(IRR、Internal Rate of Return)を採用して検討する。なお、評価指標(ベンチマーク)はシンガポール国のプライムレート(2007年)5.33%とした。

③ 準ステップ2c：財政指標の算出及び比較

IRRの算定条件を図表5-5に示す。

図表5-5 算定条件

項目	条件
プロジェクト期間	10年間(2008年4月～2018年3月)
運転期間	9年間(2009年4月～2018年3月)
年間稼働日数	320日
廃棄物処理量	639[t/d]

項目	条件
廃棄物処理費	60 S\$ (乾燥汚泥に関しては 58 S\$)
インフレ率	2.0%
法人税	18% (シンガポール国標準税率)
減価償却	9年間均等
初期投資	20,800,000 S\$
運転費用 (9年間平均)	7,835,000 S\$

この条件に基づき、プロジェクトを CDM 事業として実施しない場合について、IRR を算定した結果、評価指標よりも低い 4.36% となり、事業としての採算性が低いことが明らかとなった。詳細は第 10 章参照。

④ 準ステップ 2d: 感度分析

上記評価の前提条件が変動した場合の事業収益性に与える影響度を検討する。追加性証明ツールのガイドラインには、総投資額、もしくは総収入の 20% 以上を占めるパラメータについて感度分析を行うよう指示がある。本件で総投資額の 20% 以上を占めるものは初期投資であり、総収入の 20% 以上を占めるものは唯一の収入である処分費である。ただし、本件では建設が既に始まっているため初期投資は確定しており、処分費は事業者と発注者の契約で決まっているため、変動し得るパラメータは運転費の中にしか存在しない。運転費の中で総投資額の 20% 以上を占めるものはないが、10% 以上を占めるものとして焼却灰処分費、電気使用料、天然ガス使用料の IRR への影響度を確認した。

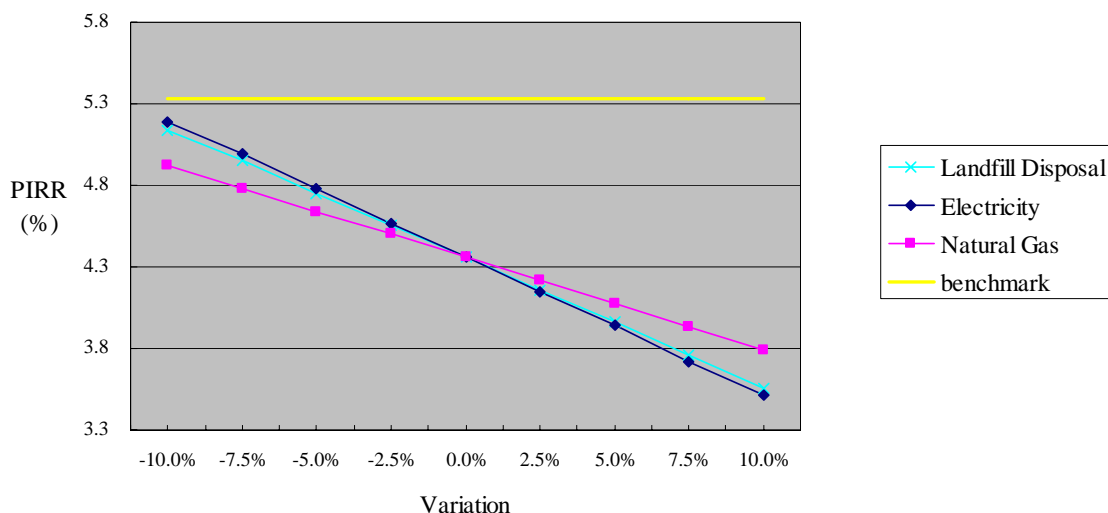
焼却灰処分費、電気使用料、天然ガス使用料がそれぞれ -10% ~ +10% 変動した場合の感度分析を行った結果、図表 5-6、図表 5-7 のようになり、いずれの場合も評価指標 (5.33%) を下回った。したがって、本プロジェクトは投資対象としての資金的魅力に乏しいことが確認された。

図表 5-6 運転費の変動による IRR への感度分析結果 (1)

運転費変動幅	-10%	-7.5%	-5.0%	-2.5%	0%	+2.5%	+5.0%	+7.5%	+10%
焼却灰処分費	5.14	4.95	4.75	4.56	4.36	4.16	3.96	3.76	3.56
電気使用料	5.19	4.99	4.78	4.57	4.36	4.15	3.94	3.72	3.51
天然ガス使用料	4.92	4.78	4.64	4.50	4.36	4.22	4.08	3.93	3.79

評価指標 = 5.33% 単位 : %

図表 5-6 運転費の変動による IRR への感度分析結果 (2)



本プロジェクトは投資対象としての魅力に乏しいことが確認されたため、追加性証明ツールに基づき、ステップ3を割愛し、ステップ4に進む。

(3) ステップ4：一般的慣行分析

シンガポール国内では、下水汚泥の焼却事業の実績はなく、本プロジェクトが初の試みとなる。また、隣国のマレーシアでは先進的な下水汚泥の処理として、行政新首都として開発中の連邦直轄領であるプトラジャヤにおいて流動床およびドラム式乾燥炉の2基が稼働中であるが、これらのプラントは採算性を考慮していない100%政府出資によるものであるため、比較対象とはならない。なお、インドネシアでは天日干しによる乾燥後、肥料化、コンポスト化、最終処分が一般的慣行であり、下水汚泥の焼却は実施されていない。

以上の理由から本プロジェクトはいわゆる“First of its kind”のプロジェクトであり、ステップ4を実施する必要がない。

以上の検討から、本プロジェクトの追加性が証明された。

第6章 モニタリング計画

6.1 本プロジェクトに適用するモニタリング手法

本プロジェクトでは、本来埋め立て処分される下水汚泥を乾燥・焼却することにより、処分場での嫌気性分解によるメタンガスの発生を回避するものであり、第5章で述べたように、承認済み方法論 AM0025 “Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes” が規定する条件に合致する。したがって、モニタリングについても同方法論のモニタリング手法が適用できる。また、本モニタリング方法論では、“Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site” も参照する。

6.2 モニタリング項目とその品質管理・品質保証

(1) モニタリング項目

AM0025 のモニタリング方法論では、ベースライン排出量の算定に係る乾燥・焼却プラントへ搬入された下水汚泥の量をトラックスケールで測定する。また、プロジェクト排出量の算定に係るプロジェクト活動に伴う電力、燃料の消費量、排ガス量、排ガス中のメタンおよび亜酸化窒素濃度、またリーケージ排出量の算出に係る焼却灰中の炭素含有率などを直接測定する。主なモニタリング項目と計測方法を図表 6-1 にまとめた。

図表 6-1 モニタリング項目およびその計測方法

パラメータ	定義	データ元/計測方法	頻度
$EG_{PJ, EF, y}$	使用電気量 (MWh/年)	計測および請求明細書	継続的に
$F_{cons, y}$	助燃剤として使用した天然ガス量 (t/年)	同上	同上
SG_y	排ガス量 (m^3 /年)	計測	同上
$MC_{N20, y}$	排ガス中の亜酸化窒素濃度 ($t-N_2O/m^3$)	同上	年4回
$MC_{CH4, y}$	排ガス中のメタン濃度 ($t-CH_4/m^3$)	同上	同上
W_x	乾燥・焼却プラントにおいて処理される下水汚泥の量 (t/年)	同上	継続的に
$A_{residual}$	焼却灰 (t/年)	同上	同上
$FC_{residual}$	焼却灰に含まれる炭素量 (%)	同上	年4回

(2) 品質管理・品質保証

上述のモニタリング項目は、以下の通り品質管理・品質保証の手続きを実施する。

図表 6-2 モニタリング項目の品質管理・品質保証手続き

パラメータ	定義	計測方法	QA/QC 手続き
$EG_{PJ, EF, y}$	使用電気量 (MWh/yr)	電力メーターによる計測	電力メーターを定期的にメンテナンスし、正確性を試験する。電力の計測は、電力会社によるダブルチェックを行う。

パラメータ	定義	計測方法	QA/QC 手続き
$F_{\text{cons}, y}$	助燃剤として使用した天然ガス量 (t/年)	請求明細書および/または計測	請求書で確認を行う。(事務方の義務)
SG_y	排ガス量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	流量計による計測	流量計を定期的にメンテナンスし、正確性を試験する。
$MC_{\text{N}_2\text{O}, y}$	排ガス中の亜酸化窒素濃度 ($\text{t-N}_2\text{O}/\text{m}^3$)	サンプリングによる計測	公認された第三者機関による分析を依頼する。
$MC_{\text{CH}_4, y}$	排ガス中のメタン濃度 ($\text{t-CH}_4/\text{m}^3$)	同上	同上
W_x	乾燥・焼却プラントにおいて処理される下水汚泥の量 (t/年)	トラックスケールによる計測	トラックスケールを定期的にメンテナンスし、正確性を試験する。
A_{residual}	焼却灰 (t/年)	同上	同上
FC_{residual}	焼却灰に含まれる炭素量 (%)	サンプリングによる計測	公認された第三者機関による分析を依頼する。

6.3 モニタリング体制

本プロジェクトのモニタリング体制の詳細はモニタリングマニュアルを作成した際に決定するが、基本的な実施事項及び担当者・機関は下表のとおりである。

計測したデータは全て電子データに変換し、電子ファイルで保管する。また、元データ、排出削減量の計算方法及び結果については、毎年 DOE の検証を受けるものとする。DOE は結果についての検証報告書を発行し、CER 発行手続のため CDM 理事会に提出する。

図表 6-3 モニタリング実施事項および担当者

実施事項	担当者/機関	備考
モニタリング計画管理	鹿島建設および 日本総合研究所	計画実行のための手順の確立、スタッフへのトレーニングなどを実施。
データモニタリング実施 (プロジェクトで消費する燃料及び電力消費量、排ガス量、下水汚泥量、焼却灰量など)	事業会社 (ECO 社)	全てのデータは電子ファイルに打ち込み、保管する。ただし一部は紙ベースで保管。
データモニタリング実施 (排ガス中のメタン、亜酸化窒素濃度、焼却灰中の炭素含有率など)	公認された第三者分析機関	シンガポール政府 (Singapore Accreditation Council) 公認の分析機関に依頼する。
測定機器の較正 (電力計、トラックスケールなど)	公認された較正 担当機関	シンガポール政府 (Singapore Accreditation Council) 公認の較正機関に依頼する。較正証明書を発行する。

第7章 温室効果ガス排出削減量

7.1 ベースライン排出量

方法論に基づいてベースライン排出量を算定する。本プロジェクトにおいては、発電等の代替されるエネルギー発生がないため、プロジェクト活動がなかった場合に埋立地から発生するメタン量がベースライン排出量になる。算定に用いたパラメータを、図表 7-1 に示す。

図表 7-1 排出量算定に用いたパラメータ

パラメータ		値	備考
ϕ	不確実性に関する調整係数	0.9	
f	処分場で回収され、燃焼または他の方法で使用されたメタンガスの割合	0.0	
GWP_{CH_4}	メタンの地球温暖化係数	21	
OX	酸化係数	1.0	即日覆土を行っている
F	処分場ガス中のメタンの割合	0.5	IPCC2006 既定値
DOC_f	分解性有機炭素 (DOC) の分解される割合	0.5	IPCC2006
MCF	メタン補正係数	1.0	管理された処分場
W_x	埋立てが回避された有機性ごみの総量	204,480	639 [t/日] × 320[日]
DOC	廃棄物の分解性有機炭素の割合 (湿潤重量)	汚泥 : 7.4% 乾燥汚泥 : 29.4%	汚泥 : 7.4% 乾燥汚泥 29.4% 上記数値は下水汚泥サンプルを ICES (Institute of Chemical Engineering Sciences) の実験室にて分析した結果
k	分解速度定数(1/年)	0.40	IPCC2006 既定値 ・熱帯 (MAT>20[°C]) ・湿潤 (MAP>1000[mm])

シンガポール国内、6箇所の下水処理施設 (WRP: Water Reclamation Plants) から発生する下水汚泥はスラッジ A、スラッジ B、スラッジ C に分類され、PUB と ECO 社の間では 9 年間でそれぞれ 900,000[t]、540,000[t]、400,000[t] 処理する契約内容となっている。プラントの年間稼働日数は 320 日となっており、日処理量に換算すると約 639[t] となる。日処理量 639[t]、稼働日数 320 日の条件から求めた 204,480[t] を廃棄物量として用いた。これを図表 7-2 に示す。

以上のパラメータを用いて算定したベースライン排出量を図表 7-3、図表 7-4 に示す。ただし、プロジェクト初年度の 2009 年は 9 ヶ月、プロジェクト最終年度の 2019 年は 3 ヶ月として計算している。なお、図表 7-4 の 2019 年の排出量は 12 か月分を記載している。

図表 7-2 排出量算定に用いた廃棄物量

	契約処理量 [t]	契約期間 [年]	年間稼動日数 [日]	日処理量 [t]	年間処理量 [t]
Sludge A	900,000	9	320	312.5	
Sludge B	540,000			187.5	
Sludge C	400,000			138.9	
計	1,840,000	9	320	638.9	204,480

図表 7-3 ベースライン排出量

年	ベースライン排出量 [t-CO ₂]
2009 (4月～12月)	34,933
2010	69,993
2011	93,495
2012	109,249
2013	119,809
2014	126,888
2015	131,632
2016	134,813
2017	136,945
2018	138,374
2019 (1月～3月)	34,833
計	1,130,964

7.2 プロジェクト排出量

方法論に基づいてプロジェクト排出量を算出する。

(1) プロジェクト活動に係わる電力消費による排出量

プラントにおける推定消費電力、及び排出係数 (0.4879 t-CO₂/MWh) から排出量を算定した。

(排出係数はシンガポールDNA公表データ)

(2) プロジェクト活動に係わる燃料消費による排出量

プラントにおける助燃剤消費量、(天然ガス) 及び排出係数 (64.2*10⁻⁶ t-CO₂/MJ) から排出量を算定した。(排出係数はIPCC既定値)

(3) 廃棄物焼却からのN₂O、CH₄の排出量

国内の同種プラントの運転実績から、N₂O、CH₄の排出はないことが確認されているため、廃棄物焼却からの排出量はゼロとした。

以上より、プロジェクト排出量は図表 7-4 のとおりとなる。

図表 7-4 プロジェクト排出量

電力消費による 排出量 [t-CO ₂ /年]	燃料消費による 排出量 [t-CO ₂ /年]	廃棄物焼却による 排出量 [t-CO ₂ /年]	計 [t-CO ₂ /年]
4,782	2,905	0	7,687

7.3 リークージ

方法論に基づいてリークージを算出する。

(1) 輸送増加によるリークージ排出量

各輸送経路を使用するトラックの延べ走行距離を考慮した結果、排出量が減少することが分かった。よって輸送増加によるリークージはゼロとする。

(2) 焼却灰中の残存炭素によるリークージ排出量

本プロジェクトの焼却灰に含まれる残存炭素量は同種のプラントにおける運転実績から 1% 以下であることが分かっている。残存炭素量を 1% と仮定して算出した。

以上より、プロジェクトリークージは図表 7-5 のとおりとなる。

図表 7-5 リークージ排出量

輸送増加による リークージ排出量 [t-CO ₂ /年]	廃棄物焼却による 排出量 [t-CO ₂ /年]	計 [t-CO ₂ /年]
0	862	862

7.4 温室効果ガス排出削減量

以上の検討結果から、本プロジェクト実施による温室効果ガス排出削減量は図表 7-6 のとおりとなる。プロジェクトの初年度である 2009 年は 9 ヶ月、プロジェクトの最終年となる 2019 年は 3 ヶ月でそれぞれ計算しており、合計 10 年のプロジェクト期間となる。

図表 7-6 温室効果ガス排出削減量

年	ベースライン 排出量 [t-CO ₂ /年]	プロジェクト 排出量 [t-CO ₂ /年]	リーケージ 排出量 [t-CO ₂ /年]	排出削減量 [t-CO ₂ /年]
2009 (4月～12月)	34,933	5,765	646	28,521
2010	69,993	7,687	862	61,444
2011	93,495	7,687	862	84,946
2012	109,249	7,687	862	100,700
2013	119,809	7,687	862	111,260
2014	126,888	7,687	862	118,339
2015	131,632	7,687	862	123,083
2016	134,813	7,687	862	126,264
2017	136,945	7,687	862	128,396
2018	138,374	7,687	862	129,825
2019 (1月～3月)	34,833	1,922	216	32,695
計	1,130,964	76,900	8,620	1,045,473

第8章 環境影響分析

8.1 シンガポールにおける環境関連法

シンガポールの法制度は、子細な規定は命令 (Order) や通知 (Notification) などとして出されることはあるが、基本的に必要分野ごとに策定された法律 (Act) とそれに付随する規則 (Regulations) の 2 本建てで構成されている。したがって環境法制度も、いくつかの法律とそれに基づく規則によって合理的に構成され、日本や他の東南アジア諸国に見られるような、環境問題への理念や全般的な方針を盛り込んだ環境法体系の上位法である環境基本法的な位置づけにある法律は存在しない。

環境に関する規制は、基本的に「環境汚染管理法」(EPCA: Environmental Pollution Control Act)、「環境公衆衛生法」(EPHA: Environmental Public Health Act) などと、それに基づく多くの規則 (Regulations) によって執行されている。このうち、大気汚染、水質汚濁、廃棄物、騒音などの環境問題に関する規制は、そのほとんどが EPCA に基づく規則によって執行されているが、「下水・排水法」(Sewerage and Drainage Act) とそれに基づく排水規則 (下水・排水法) (Sewerage and Drainage <Trade Effluent> Regulations) と、EPHA に基づく有害産業廃棄物管理規則 (Environmental Public Health <Toxic Industrial Waste> Regulations) にも留意する必要がある。

また、国土利用のマスタープランが定められ、それに基づく環境バランスを考慮した土地利用計画によって開発行為が実施されるため、シンガポールには環境影響評価に関する法制度はない。なお、一般環境の望ましいレベルを示す環境基準は設けられておらず、例えば一般の大気環境の評価には WHO (世界保健機関) や米国環境保護庁 (USEPA) の基準が準用されている。

図表 8-1 工場の排ガス基準値

項目	対象建物等	基準
NO _x	全ての施設	700 mg/Nm ³ (二酸化窒素酸化物として)
粒子状物質	全てのプロセス、燃焼設備 (鋳物用キュポラを除く)	(i) 100 mg/Nm ³ または (ii) 同一敷地内に複数の排出口があった場合、合計排出量を排出口の下図で割った数値が 100 mg/Nm ³ を超えないこと。ただし、個別の排出が 200 mg/Nm ³ を超えないこと。 (iii) 透明度がリングelman No. 1 あるいは相当であること。(1 時間の測定期間中 5 分を越えないこと。)
SO ₂ (燃焼を伴わない)	全ての施設	500 mg/Nmm ³
SO ₃	硫酸製造	500 mg/Nmm ³ (SO ₃ として持続性ミストを含有しないこと)
SO ₃ あるいは硫酸ミスト	全ての施設 (焼却炉と硫酸製造を除く)	100 mg/Nmm ³

(出所) Environmental Protection & Management (Air Impurities) Regulations 2000、および Code of Practice on Pollution Control (2000 Edition) より抜粋

図表 8-2 工場排水基準値

項目	排出先水域		
	下水道	一般水路	管理水路
温度 (°C)	45	45	45
pH	6-9	6-9	6-9
BOD (20°C)	400	50	20
COD	600	100	60
浮遊物質量	400	50	30
全溶解物質量	3,000	-	1000
砒素	5	0.1	0.01
カドミウム	1	0.1	0.003
クロム (3価及び6価)	5	1	0.05
銅	5	0.1	0.1
鉛	0.5	0.1	0.1
水銀	0.5	0.05	0.001

(特に単位を示していないものは、mg/L)

(出所) Environmental Protection & Management (Trade Effluent) Regulations、および Sewerage and Drainage (Trade Effluent) Regulations より抜粋

8.2 予想される環境影響

本プロジェクトの温室効果ガス排出削減のほかに考えられる環境改善効果として、下水汚泥を焼却することによる埋立処分量の大幅な削減が挙げられる。また、プロジェクト実施サイト周辺は工業地帯であり、発電施設、焼却施設等が隣接しているため、プロジェクト実施に伴い周辺環境に大きな影響環境影響はないと思われる。

本プロジェクトで使用する焼却炉は日本の技術を導入するもので、SO_x、NO_x等の排出量は、基準値に較べて十分に小さいものとなっており、環境への影響は極めて小さい。排ガスや廃水はスクラバーや処理装置で適切に処理され、焼却灰はSemakau埋立処分場に処分される。

シンガポールの環境汚染管理法 (EPCA) のセクション 36 には、環境影響が想定される事業を行う際には環境影響評価 (PCS、Pollution Control Study) を実施することが明記されている。しかし、本プロジェクトでは発生する下水汚泥が有害物質ではないこと、および上述したように先進技術を用いて環境負荷が極めて小さいことから、NEA の汚染管理局 (PCD、Pollution Control Department) より PCS 実施の免除を得ている。

したがって、本プロジェクトの環境影響は非常に小さいといえる。

第9章 利害関係者コメント

本プロジェクトの実施にあたって、利害関係者（機関）に対してヒアリングしコメントを聴取した。また、2008年9月4日には利害関係者ミーティングを実施しており、ミーティング参加者からの質問事項等も本章に記載する。

9.1 政府機関のコメント

(1) NEA

NEA、資源保全課の気候変動部がシンガポールのDNAに任命されており、同部と数回にわたりミーティングを行っている。

面談者	氏名	役職・所属機関
	Mr. Adrian Tan	Executive Engineer Climate Change Unit
	Mr. Suresh K	Senior Engineer Climate Change Unit
	Mr. Wilson Lin Hengsi	Engineer Climate Change Unit
説明内容	本プロジェクト概要及び本調査内容について説明し、必要な手順等について詳細なヒアリングを行った。	
コメント	<ul style="list-style-type: none"> 下水汚泥の処理、埋立管理等に関する法令に関して確認を行ったところ、ベースライン、準拠率に影響するものはないとコメント。 下水処理に関しては環境水資源省の下水処理課が担当していたが、現在は業務のほとんどをPUBに移転している。 有効化審査と政府承認の手続きは同時進行で行ってよい。ただし、シンガポールで設定している適用条件をクリアしているかどうかを事前に確認したいため、有効化審査の前に提出を要請している。この際、PDDはドラフトの段階のもので構わない。PINと同時に提出。 提出されたPDD、PINに問題がなく、適用条件をクリアしていれば、最短で約1ヶ月で政府承認が得られる。 シンガポールDNAとしても実績を作っていきたいため、本プロジェクトに対してDNAの役割の範囲内で最大限のサポートをしていきたい。また進展について報告してもらいたい。 	

(2) PUB

本プロジェクトの発注者であるPUBに対して、プロジェクト概要説明、及びPDD作成において重要となる各種情報の収集を行っている。

面談者	氏名	役職・所属機関
	Mr. Eng Wee Hua	Deputy Director Water Reclamation Department

	Mr. Yahya Abdul Ghani	Deputy Director Water Reclamation Department
	Mr. Ooi Kian Eng	Deputy Director Water Reclamation Department
	Mr. Kan Lock Meng	Senior Engineer Water Reclamation Department
	Ms. Jenny Lau	Executive Engineer Water Reclamation Department
説明内容	本プロジェクト概要及び本調査内容について説明し、プロジェクト実施の了解と各種情報を得た。	
コメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分場から発生するメタンガスの量について、計算手法やパラメータの設定等について質問があった。 ・ CDM として登録された際、PUB はプロジェクトに対してどのような関わり方になるのかと質問があった。 ・ PDD 作成のために必要な現地調査、各種情報提供に関して協力する。 ・ 有効化審査、国連登録の段階で情報開示、インタビュー等の可能性があることについてもよく理解した。 	

9.2 利害関係者ミーティングにおけるコメント

2008年9月4日に利害関係者ミーティングを行った。隣接する工場、NGO、関係政府機関、大学、メディア等を招待し、プロジェクトの概要、CDMの概要等を説明した。事業者側のプレゼンテーション後、Q&Aセッションを設け、出席者からのコメントや質問に対して事業者側から説明を行った。ミーティング後、対応が求められるような事項はなく、出席者の本プロジェクトへの支持を確認できた。以下に出席者、及びQ&Aセッションにおける質問をまとめた。

出席者	氏名	所属機関	出欠
	Mr. Lim Jit Say	Association of Process Industry (ASPRI)	○
	Mr. Jayakumar	Chevron Oronite Pte Ltd	×
	Mr. Roger Yap	Ebara Engineering Malaysia Sdn Bhd	○
	Ms. Yvaine Gan	Economic Development Board (EDB)	○
	Mr. Soh Yee Siang		○
	Mr. Federick Ow		×
	Dr. Richard Teo	Gillit Trading Pte Ltd	○
	Mr. Steven Yeo	Glaxowellcome Manufacturing Pte Ltd	○
	Ms. Pang Chong Wei		○
	Ms. Ling Jia En		○
	Ms. Shelleen Shum	IE Singapore	○
	Dr. Kozo Bando	Kajima Corporation	○
	Mr. Yuta Sone		○
	Mr. Adrian Tan	National Environment Agency (NEA)	○
	Mr. Wilson Lin		○

	Mr. Pneh Tee Keong	Navis Capital	○
	Mr. Andy Neo	New Development Construction	○
	Dr. Katayon Saed	Ngee Ann Polytechnic	○
	Ms. Preety Mukherjee		×
	Ms. Serene Koh		○
	Mrs. Tam Li Phin		○
	Mr. Eng Wee Hua		Public Utilities Board (PUB)
	Mr. Kan Lock Meng		○
	Mr. Yatin Premchand	Singapore Environment Council	○
	Ms. Tanai Tan	Strait Times	×
	Mr. Hiroki Nakatsuka	Sumitomo Mitsui Banking Corporation	○
	Mr. Arnold Bufi		○
	Mr. Yuji Hazumi		○
	Mr. Yosuke Hamasaki	Sumitomo Corporation Asia Pte Ltd	○
	Mr. Tsutomu Sasaki	The Japan Research Institute	○
	Mr. Ang Koh Seng	Worley Parsons Pte Ltd	○
	Mr. Tay Seow Beng		○
	Mr. Lee Choon Nam	Wyeth Nutritionals Pte Ltd	○
	Mr. Ichimori Toshimi	Yamato Sanko Mfg	○
出席者 (事業者)	Mr. Mohd Bin Packer Mohd	ECO Special Waste Management Pte Ltd	○
	Mr. Tan Keaw Chong		○
	Mr. Nobuyuki Takahashi		○
	Mr. Danny Tay Ngak Phong		○
	Mr. Vincent Tan Boon Seng		○
	Mr. Benjamin Tan Chee Hian		○
	Mr. Jason Ong Choun Yew		○
	Mr. Gordon Teo Chih Chai		○
	Mr. Tan Chee Hsien		○
	Ms. Angie Koo Yin Peng		○
	Mr. Rahmatom Bin Ramli	ECO Special Waste Management Pte Ltd	○
	Mr. Leong Wan Yee		○
	Mr/ Phua Seah Yen		○
説明内容	プロジェクト概要 (適用手法、規模、体制、スケジュール等) CDM 概要 (京都議定書、各種承認手続き、適用方法論等)		

<p>コメント ／質問</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベースライン排出量の計算についてももう少し詳細に説明して下さい。 ・ 付属書 I 国、非付属書 I 国の政府承認とはどのようなものか？ ・ CER の購入者はどのような企業が行うのか？どれぐらいの価格で取引されているのか？ ・ シンガポールで CDM を実施するための条件である環境面、経済面、社会面における持続可能な発展で、雇用機会創出以外の社会面の持続可能な発展に寄与する側面について説明をして下さい。 ・ 運搬による温室効果ガスの排出は考慮されているのか？ ・ 焼却灰の建設工事等への適用以外の用途は何かあるのか？ ・ プロジェクト排出量の内容についてももう一度説明して下さい。 ・ 何故ベースライン排出量が増加しているのに対して、プロジェクト排出量は一定なのかを説明して下さい。
---------------------	--

図表 9-1 利害関係者ミーティングの様子



第10章 経済性の検討

10.1 資金計画

本プロジェクトにおける初期投資（設備費及び工事費など）に関しては、ECO 社の自己資金によって調達する。

(1) 前提条件

本プロジェクトの事業性を検討するに当たり、次のような前提条件を設定した。ECO 社からの情報に基づいたものである。

① 為替レート

1 € = 1.99 S\$ (2009年1月6日)

② 減価償却

残存簿価：なし

償却期間：9年

償却方法：定額法

③ 税制

法人税：18% (シンガポール国標準税率)

④ インフレ率

年2.0%

(2) イニシャルコスト

本プロジェクトのイニシャルコストは、約 30,800,000 S\$である。主な内訳は、ボルテックス焼却炉、乾燥機、建設・工事費などである。

(3) ランニングコスト

本プロジェクトの主なランニングコストとしては、光熱費（電気、天然ガス）、施設の運転・管理に伴う費用費、焼却灰処分費などがある。

(4) 収入

本プロジェクトでは、PUBより下水汚泥処理の委託を受けているため、処理費用が収入となる。また、CDMプロジェクトを実施した場合には、クレジット売却収入が追加的に得られることとなる。なお、排出権価格は10[€/t-CO₂]とした。

10.2 経済性の評価・分析

以上のような前提条件の下で本プロジェクトの経済性の検討を行う。検討に際しては、クレジット収入なし場合とありの場合の2つを想定する。

(1) クレジット収入なしの場合

クレジット収入なしの場合のIRRは、4.36%となった。キャッシュフロー計算結果について

は図表 10-1 に示した。これは、第 5 章の追加性の証明の項で示したとおり、シンガポールのプライムレート 5.33% (2007 年) を下回る低い水準であり、事業性が低いプロジェクトであると言える。

クレジット以外の収入として廃棄物処理収入が存在するが、これは ECO 社と PUB との契約の中で 10 年間固定価格と定められている。したがって、本プロジェクトでは収入を増やすことで事業性改善を図ることはできない。

一方、コストカットについても主要な支出項目である電力料金や天然ガス料金は、近年上昇傾向にあり、大幅な削減は望めない。

以上から、本プロジェクトが持続可能な収益をあげるプロジェクトとして成立するためには、CDM 化を実現させ、クレジット収入を得ることが必須であるといえる。

(2) クレジット収入ありの場合

クレジット収入ありの場合のIRRは、11.73% (クレジット価格は、10[€/t-CO₂]と想定) となった。キャッシュフロー計算結果については図表 10-2 に示した。クレジット収入なしと比べて事業性が大きく改善している。

(3) クレジット価格による感度分析

上述したように本プロジェクトはクレジット販売による収入が大きく事業性に影響をあたえることから、その価格が変化した場合の影響は極めて大きい。

クレジットの価格は需要と供給のバランスから決定されるため、状況によっては大きく変動することも考えられる。そこで、クレジットの販売価格が 0~24[€/t-CO₂]まで変化した場合のIRRを算出する感度分析を行った。

算定結果を図表 10-3 に示す。10%超の収益率を維持するためには、8[€/t-CO₂]以上の価格でクレジットを売却する必要があることが分かった。

(4) クレジット量による感度分析

クレジット価格とともに、クレジット量そのものが推計量と乖離すると事業計画に影響する。そこで、PDD で推計したクレジット量を 50%減~50%増まで変化させて、IRR を算出する感度分析を行った。

算定結果を図表 10-4 に示す。クレジット量が想定の半分に減った場合のIRRは8.28%となった。事業性への影響は少なからず存在するため、リスク要因として注意が必要であることが分かる。

図表 10-1 キャッシュフロー（クレジット収入なし）

項目	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	
費用		7,269,915	7,403,964	7,541,015	7,681,145	7,824,434	7,970,966	8,120,825	8,274,098	8,430,878	
減価償却		3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	
支出	計	10,692,137	10,826,187	10,963,237	11,103,367	11,246,657	11,393,188	11,543,047	11,696,321	11,853,100	
収入	廃棄物処理収入		12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	
	クレジット販売収入		0	0	0	0	0	0	0	0	
	計	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	
当期収支		1,485,640	1,351,591	1,214,541	1,074,411	931,121	784,590	634,731	481,457	324,678	
法人税		267,415	243,286	218,617	193,394	167,602	141,226	114,252	86,662	58,442	
当期利益		1,218,225	1,108,305	995,923	881,017	763,519	643,364	520,479	394,795	266,236	
初期投資	(30,800,000)										
クレジット量(t-CO ₂)		12,872	30,230	43,345	52,136	58,029	61,979	64,627	66,402	67,591	
IRR=	4.36%	(30,800,000)	4,640,447	4,530,527	4,418,145	4,303,239	4,185,742	4,065,586	3,942,702	3,817,017	3,688,458

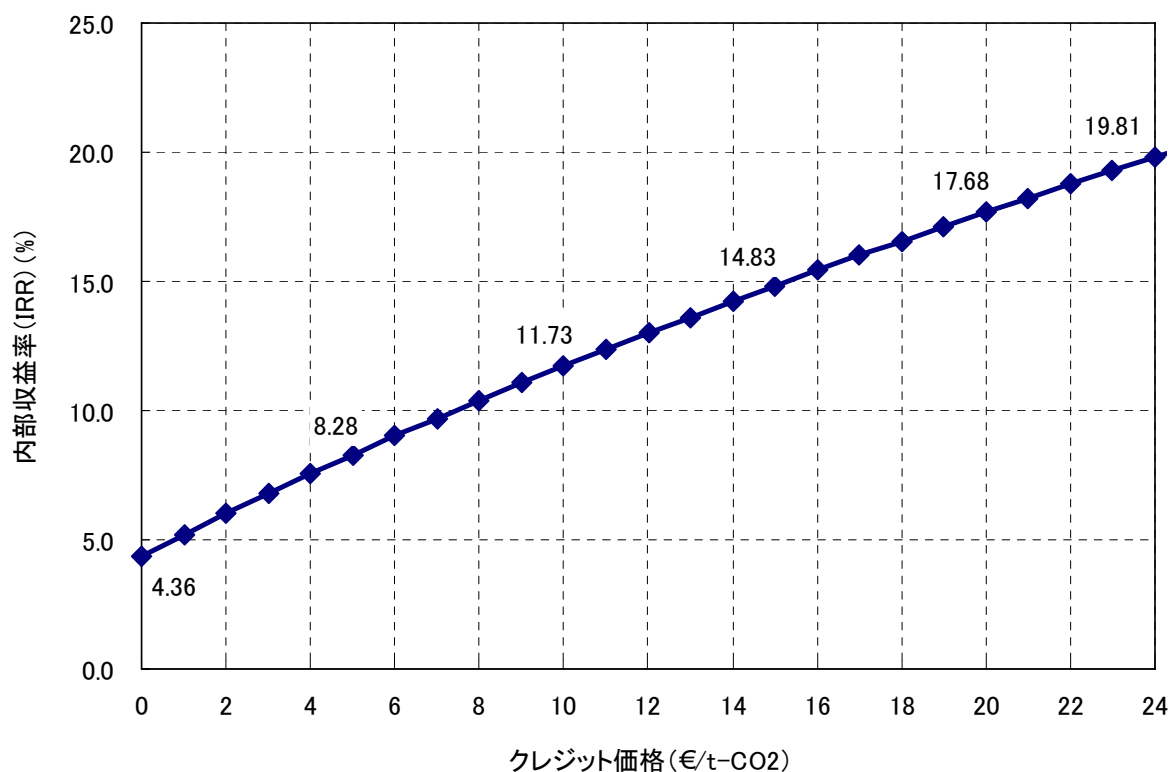
単位は表示がなければ S\$

図表 10-2 キャッシュフロー（クレジット収入あり）

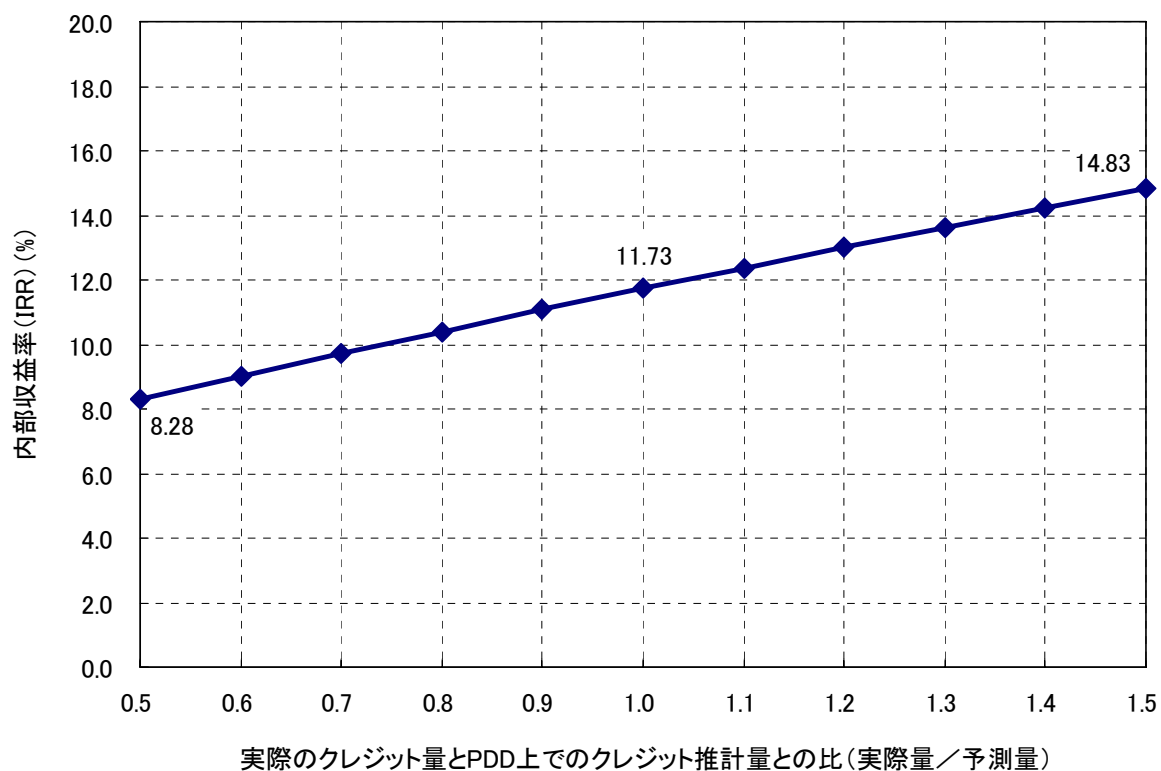
項目	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	
費用		7,269,915	7,403,964	7,541,015	7,681,145	7,824,434	7,970,966	8,120,825	8,274,098	8,430,878	
減価償却		3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	3,422,222	
支出	計	10,692,137	10,826,187	10,963,237	11,103,367	11,246,657	11,393,188	11,543,047	11,696,321	11,853,100	
収入	廃棄物処理収入		12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	12,177,778	
	クレジット販売収入		567,568	1,222,736	1,690,425	2,003,930	2,214,074	2,354,946	2,449,352	2,512,654	2,555,080
	計	12,745,346	13,400,513	13,868,203	14,181,708	14,391,852	14,532,724	14,627,129	14,690,431	14,732,858	
当期収支		2,053,208	2,574,327	2,904,966	3,078,341	3,145,195	3,139,536	3,084,083	2,994,111	2,879,758	
法人税		369,578	463,379	522,894	554,101	566,135	565,116	555,135	538,940	518,357	
当期利益		1,683,631	2,110,948	2,382,072	2,524,239	2,578,060	2,574,419	2,528,948	2,455,171	2,361,402	
初期投資	(30,800,000)										
クレジット量(t-CO ₂)		28,521	61,444	84,946	100,700	111,260	118,339	123,083	126,264	128,396	
IRR=	11.73%	(30,800,000)	5,105,853	5,533,170	5,804,294	5,946,462	6,001,282	5,996,642	5,951,170	5,877,393	5,783,624

単位は表示がなければ S\$

図表 5-3 クレジット価格による感度分析結果



図表 5-4 クレジット量による感度分析結果



第11章 事業化に向けた課題

本プロジェクトには、様々な事業リスクが存在する。現時点では重要度の大きいものから順に、CDM プロジェクト化リスク、クレジット価格リスク、技術リスクを想定している。

本事業の実施に向けては、可能な限りこれらのリスクを回避するよう心がける。リスクの詳細およびその解決策については、以下の通りである。

11.1 CDM プロジェクト化リスク

CDM プロジェクトを実施するためには、CDM 理事会に承認される必要がある。本プロジェクトにおいて CDM 理事会承認の際に特に課題となる点は、追加性の証明に関する事項である。

CDM 理事会では追加性の証明について、厳格な方針を相次いで打ち出している。たとえば、追加性証明ツールの改訂や Investment Analysis におけるベンチマーク設定方法、一般的慣行（“First of its kind” など）に関する定義などである。

そこで、本プロジェクトにおいては、CDM 理事会の追加性証明に関する最新の議論を注意深く吟味し、確度の高い方法で追加性証明を行うことを心がけた。

一方、CDM 理事会では方法論の改訂などが繰り返されており、追加性の証明に関してもその方針がより厳格になる提案が今後なされる可能性もある。

したがって、CDM 理事会において新たな方針が提示される前に、登録を終えるようなスケジュールでプロジェクトを推進することが必要である。

11.2 クレジット価格リスク

現在、クレジット価格は金融不安の影響などで、最高値を記録した 2007 年中ごろと比較すると大きく下落しており、現在も横ばいのままである。世界経済の低迷が続けば、投機的な排出権需要にとどまらず、EU-ETS における利用などの「実需」も減少する可能性がある。さらに、最近では AAU 取引などクレジット（CER）の需給に大きな影響を及ぼす取組みも具体化している。

一方、マクロで見た場合には排出権の需給バランスは需要過多であるといわれてきた。したがって、京都議定書の第一約束期間が終了する 2012 年頃にクレジット価格が高騰する可能性も否定できない。また、ポスト京都議定書の議論や日米欧の政策によっても大きな影響を受ける。

つまり、クレジット価格は今後も不安定な値動きが続く可能性が高く、急騰や暴落、あるいは乱高下などの予期せぬ事態が生じかねない。

本プロジェクトではクレジットの販売収入が事業性に大きな影響を与えることから、プロジェクトにおけるクレジット価格リスクを早期にヘッジする取組みが重要である。本リスクについては、当社およびグループ会社の三井住友銀行のネットワークにより、早期に買手の政府や企業と ERPA を結ぶなどして、クレジット価格の下落リスクを低減する取組みを進める予定である。

11.3 技術リスク

本プロジェクトの方法論では、排ガス中の N_2O をモニタリングする必要がある。 N_2O が検出されると、プロジェクト排出量として計上することが必要で、結果的にクレジット量が減少すること

となる。N₂Oの温暖化係数は310と非常に大きく、メタンの温暖化係数の15倍にもなる。したがって、排ガス中に微量でもN₂Oが存在するとクレジット量が大きく減少する、あるいはゼロとなる可能性がある。

本プロジェクトに採用している大和三光製作所のボルテックス焼却炉は、ECO社の調査によれば汚泥焼却に伴う排ガス中のN₂Oはゼロである。本報告書やPDDもその調査を前提としており、N₂Oによるプロジェクト排出量はゼロで算出している。

したがって、2009年4月からの運転開始後に得られる排ガス実測データの結果、N₂Oが検出されると事業性は著しく損なわれることとなる。この点についてはECO社も十分に理解をして事業を進めている。

第12章 ホスト国におけるコベネフィットの実現

12.1 ホスト国における公害防止のニーズ

これまでの章においても記載したように、シンガポールでは次のようなニーズが存在する。いずれも NEA 職員や ECO 社の発言、利害関係者ミーティングの結果をまとめたものである。

- 新たな処分場の用地確保が困難である
- 埋立処分場周辺域の水質悪化・悪臭問題を解決したい
- 技術によって温暖化防止に貢献したい

12.2 ホスト国における公害防止の内容

本プロジェクトによって、次のような環境改善・公害防止が実現できる。

- 焼却処理により廃棄物の大幅な減容化が可能であり、処分場逼迫問題の改善に貢献できる
- 焼却処理により不活性な焼却灰のみを投棄することとなり、埋立処分場周辺域の水質悪化・悪臭の防止に貢献できる
- 東南アジア諸国では普及していない日本の焼却技術の移転を伴い、ホスト国の温暖化防止技術に関するキャパシティビルディングが可能である

12.3 コベネフィット指標の提案

上記のような項目を参考に、図表 12-1 のような軸を設定して CDM プロジェクトを温室効果ガス削減以外の点から評価することができる。

(1) 廃棄物量

本プロジェクトでは、ホスト国においてニーズの大きい処分場逼迫問題に対して貢献できる。具体的には、639[t/d]の下水汚泥廃棄物を焼却処理により約 73[t/d] と、約 1/9 にまで減容化することが可能である。

(2) 総合指標

(1)の廃棄物量の減容化に加えて、本プロジェクトでは、ホスト国に対して水質汚濁の防止、悪臭防止、技術移転などの効果が得られる。各々を独立して評価するのではなく、様々なベネフィットを総合的に評価することが重要である。図表 12-1 にコベネフィットに関する総合指標の考え方を示した。

図表 12-1 総合指標

評価項目	配点	評価の視点	事例		
			焼却処分	コンポスト	埋立処分
減容化	40	現状からの減容率の程度	40	30	0
水質汚濁防止	5	現状からの改善率	5	3	0
悪臭防止	5	現状からの改善率	5	3	0
公害指標 (50 点満点)			50	36	0
技術移転	20	First of its kindか	20	10	0
住民理解	10	雇用創出につながるか	5	8	10
ホスト国政府方針	20	政府方針との親和性	20	5	0
社会指標 (50 点満点)			40	23	10
コベネフィット指標得点 (100 点満点)			90	59	10

第13章 現地調査

現地調査は2008年8月31日～9月6日および11月17日～21日の日程で行った。以下にヒアリング・訪問先とヒアリング・調査内容をまとめた。

13.1 第1回現地調査

(1) 現地調査出張者

株式会社日本総合研究所 総合研究部門 研究員 佐々木努

(2) 現地調査日程

<期間>

2008年8月31日～9月6日

8月31日 関西国際空港発－シンガポール着（シンガポール航空）

8月31日～9月6日 Swissotel Singapore Merchant Court 泊

9月6日 シンガポール発－関西国際空港着（シンガポール航空）

<主なスケジュール>

9月1日 : 現状の下水汚泥埋立処分場の様子を視察

9月2日 : 現状の下水汚泥埋立処分場においてメタン濃度の計測

9月3日 : 下水汚泥焼却処理場（プロジェクトサイト）の視察

9月4日 : Stakeholder's Meeting の開催・出席

9月5日 : Validation以降の進め方についての打合せ

(3) 日程別調査内容

詳細な調査内容（日時、調査/訪問先、面会者、調査概要）は下表のとおりである。

日時	調査・訪問先	面会者・同行者	概要	
9/1 (月)	9:30 ~ 13:00 チャンギ下水 汚泥埋立処分 場	PUB KTC 社 ECO 社 鹿島建設	Kan — Vincent、Ramli 曾根	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタンガス実測事前調査 - 計測ポイント同定 - 埋立状況の把握
	15:00 ~ 16:30 SETSCO 社	SETSCO 社 ECO 社 鹿島建設	Wong、Sivapalan Vincent、Ramli 曾根	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタン濃度計測に関する打合せ - レーザーメタン計の説明 - 精度認証について
9/2 (火)	10:00 ~ 16:30 チャンギ下水 汚泥埋立処分 場	KTC 社 SETSCO 社 ECO 社 鹿島建設	— Sivapalan、Toh Ramli 曾根	<ul style="list-style-type: none"> ・ メタンガス実測

日時		調査・訪問先	面会者・同行者		概要
9/3 (水)	10:00 ~ 11:15	ECO 社	ECO 社 鹿島建設	Vincent、Ramli ら 曾根	・ Stakeholder' s meeting に 関する打合せ
	11:15 ~ 12:15	ECO 社	ECO 社 ICES 社 鹿島建設	Vincent、Ramli 新屋 曾根	・ 汚泥サンプル試験に関する打 合せ
	14:00 ~ 15:00	ECO 社プロジ ェクトサイト (下水汚泥焼 却施設)	ECO 社 ICES 社 鹿島建設	Vincent 新屋 曾根	・ 下水汚泥焼却施設の建設現場 の視察
9/4 (木)	7:30~9:00	Pan Pacific Hotel	SMBC 鹿島建設	中塚 阪東、曾根	・ ERPA 締結に向けた打合せ
	9:30 ~ 13:30	Raffles Club	ECO 社 鹿島建設 SMBC NEA など	Danny、Vincent ら 阪東、曾根 中塚、羽澄、Arnold Siew、Tan、Lin	・ Stakeholder' s meeting
	15:30 ~ 17:00	SETSCO 社	ECO 社 SETSCO 社 鹿島建設	Vincent Sivapalan、Toh 曾根	・ レーザーメタン計の精度試験
9/5 (金)	10:00 ~ 12:00	ECO 社	ECO 社 鹿島建設 SMBC	Danny、Vincent 阪東、曾根 中塚、羽澄、Arnold	・ CDM 実施における役割分担に ついて
	13:30 ~ 14:00	ECO 社プロジ ェクトサイト (下水汚泥焼 却施設)	ECO 社 SMBC	高橋 中塚、羽澄、Arnold	・ 下水汚泥焼却施設の建設現場 の視察

*表中敬称略

(4) 調査結果概要

① 調査①

日 時：2008年9月1日 9:30~13:00

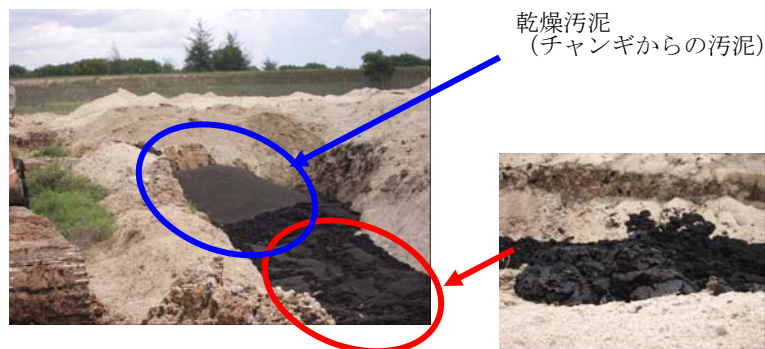
場 所：チャンギ下水汚泥埋立処分場

参加者：【ECO社】Vincent氏、Ramli氏 【PUB】名前不明 【KTC社】名前不明

【鹿島建設】曾根氏 【日本総研】佐々木

要 旨：

- 現在の埋立処分場のオペレーターである KTC 社から、処分場の埋立状況を聴取。
 - 埋立処分場は 1[km]×1[km]の広さであり、100[m]単位で区画分けされている。
 - 受け入れ月ごとに区画を変えている。
 - 受け入れ量についてはトラックスケールで計測している
 - 即日覆土を施している。
 - 6 つの下水処理場ではすべて卵形消化槽にてメタン発酵が行われており、脱水処理された処理汚泥はすべてチャンギ下水汚泥埋立処分場に運び込まれる。
 - チャンギ下水処理場からの汚泥のみ乾燥機を通した乾燥汚泥（他は脱水処理のみの汚泥）である。



- レーザーメタン計測器について PUB 担当者に説明を行った。
 - レーザーメタン計測器は、照射したレーザーと反射光とから吸光度を利用して照射部と反射地点との間のメタン濃度を測定する機械。
 - 2 分間の照射による濃度平均値と照射部と反射地点との距離から、測定地点のメタン濃度を同定できる。
 - Max 濃度、平均濃度は電子データで自動的に保存される。



レーザーメタン計

(左：全体 中：照射の様子 右：照射部と反射地点の距離の測定)

- ・ 翌日のメタン濃度測定本調査に向けて、埋立処分場の下見を実施。
 - チャンギ埋立処分場は、高低差はほとんどない。チャンギ国際空港至近で海に面した立地。
- ・ 7地点について試験的に実測。
 - GPSを用いて観測地点の緯度・経度を記録する。
 - バックグラウンド濃度では10ppm程度である。
 - 7地点の濃度は、15～56ppm程度であった。



② 調査②

日時：2008年9月1日 15:00～16:30

場所：SETSCO 社 会議室

参加者：【SETSCO 社】Wong 氏、Sivalalan 氏 【ECO 社】Vincent 氏、Ramli 氏

【鹿島建設】曾根氏 【日本総研】佐々木

要旨：

- ・ PDD に「チャンギ下水汚泥埋立処分場からメタンガスが発生している」ということを記載するには、ガス計測を行い検証する必要があると PUB から指示があった。
- ・ ガス計測にあたっては、利用する計測機器の性能について、分析・計測会社の SETSCO 社により書面による認定を受ける必要があると PUB から指示があった。
- ・ 本訪問では、上述のような PUB からの指示を説明し、必要な試験方法について打合せを実施した。
- ・ 計測機器の調査方法は次のとおりとする。
 - 既知濃度のメタンガスをガスサンプリングバッグに封入し、利用する計測機器で分析する。
 - サンプリングバックの厚みをあらかじめ計測しておき、既知濃度と（厚みを考慮した）計測結果とを比較検討して誤差精度を確認する。
- ・ 8月4日午後に実験を行うこととなった。
- ・ 8月2日の埋立処分場でのガス計測についても、立会いのもとに実施することとなった。

③ 調査③

日 時：2008年9月2日 10:00～16:30

場 所：チャンギ下水汚泥埋立処分場

参加者：【SETSCO 社】 Sivapalan 氏、Toh 氏 【ECO 社】 Ramli 氏 【KTC 社】 名前不明
 【鹿島建設】 曾根氏 【日本総研】 佐々木

要 旨：

- ・ 午前に 20 地点、午後に 24 地点を計測。
 - 午後の計測地点のうち、5 地点は 2 年以上前に埋立が完了している閉鎖埋立地 (KTC 社とは別のオペレーター管理下) である。
- ・ 15～100[ppm]程度の濃度分布が観測された。
- ・ 埋立時期によるメタン濃度の差 (埋立時期が最近ほどメタン濃度が高い) は若干見受けられたものの、顕著ではない。
 - 即日覆土、踏み固め処理しているため、メタンが発生したとしてもメタンの通り抜け道が限られる。
 - そのため、通り抜け道となった場所 (ひび割れがある箇所など) においてメタン濃度が高く観測されるのではないかと推測できた。
 - また、天気 (本調査実施直前に激しいスコールがあった) や風による影響も受ける。
- ・ 上述の影響があるものの、100[ppm]は (他の MSW の CDM プロジェクトでの実測結果と比べても) 非常に高い値であり、相当程度メタンが発生していることが確認できた。



北緯			東経			MAX濃度	北緯			東経			MAX濃度	北緯			東経			MAX濃度
°	'	″	°	'	″	[ppm・m]	°	'	″	°	'	″	[ppm・m]	°	'	″	°	'	″	[ppm・m]
1	20	52.2	104	1	29.1	90	1	20	44.5	104	1	37.0	27	1	21	5.3	104	1	20.0	25
1	20	47.7	104	1	27.9	50	1	20	48.8	104	1	38.5	18	1	21	3.0	104	1	22.8	50
1	20	55.2	104	1	27.1	22	1	20	50.5	104	1	39.2	40	1	21	3.2	104	1	22.5	50
1	20	54.9	104	1	24.9	90	1	20	54.4	104	1	38.8	36	1	21	2.2	104	1	25.1	58
1	20	53.4	104	1	37.6	29	1	20	57.7	104	1	35.4	34	1	21	3.2	104	1	31.0	28
1	21	4.1	104	1	16.9	51	1	20	59.4	104	1	31.9	41	1	21	5.8	104	1	30.5	49
1	20	58.2	104	1	20.0	113	1	20	0.6	104	1	28.3	41	1	21	5.5	104	1	26.7	49
1	20	59.1	104	1	13.9	55	1	20	57.3	104	1	24.0	48	1	21	8.8	104	1	24.8	115
1	20	53.5	104	1	13.5	30	1	20	56.0	104	1	22.5	38	1	21	8.1	104	1	20.9	67
1	20	52.7	104	1	16.2	35	1	20	57.2	104	1	20.1	36	1	21	10.9	104	1	19.4	82
1	20	50.8	104	1	20.8	53	1	20	59.3	104	1	17.7	99	1	21	15.3	104	1	19.4	72
1	20	49.4	104	1	23.8	26	1	21	0.0	104	1	13.9	104	1	21	19.1	104	1	19.4	47
1	20	48.1	104	1	28.0	146	1	21	0.4	104	1	13.1	165	1	21	18.9	104	1	23.1	121
1	20	49.0	104	1	30.1	80	1	21	3.0	104	1	13.7	202	1	21	18.6	104	1	25.2	32
1	20	47.9	104	1	31.6	70	1	21	3.8	104	1	15.6	55	1	21	17.8	104	1	27.6	26
1	20	47.8	104	1	36.2	63	1	21	6.8	104	1	16.5	38							

* 実測濃度 = 平均濃度 / 照射距離

** 平均濃度は機械に電子データで保存されている。上表には記載していない

*** 照射距離は上表には記載していない。2m 程度である。

④ 調査④

日 時：2008年9月3日 10:00～11:15

場 所：ECO社 会議室

参加者：【ECO社】Danny氏、Vincent氏、Ramli氏 【鹿島建設】曾根氏
【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ 翌日のStakeholder's Meetingのプレゼンテーション資料に関する打合せ

⑤ 調査⑤

日 時：2008年9月3日 11:15～12:15

場 所：ECO社 会議室

参加者：【ECO社】Vincent氏、Ramli氏 【ICES社】新屋氏
【鹿島建設】曾根氏 【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ PDD作成に必要なパラメータ(DOC、k)の実測値を得るためのラボスケール実験を実施する。
- ・ 実験の手順と、必要な汚泥サンプルの採取方法について、実験を担当するICES社の新屋氏より説明があった。
 - ▶ 下水汚泥処理施設のダイジェスターに投入される直前の汚泥
 - ◇ 20[L]のポリバケツに採り、拵取した後、2[L]を採取。
 - ▶ ダイジェスターにて処理され、脱水処理された直後の下水汚泥
 - ◇ 2[kg]をビニル袋に採取。
- ・ サンプルは6つの処理場すべてから採取する。
- ・ 9月12日までにサンプルを採取し、ICESに送付する。
- ・ ICES社ではサンプル受領後、バイアルにてメタンガス発酵実験を実施する。

⑥ 調査⑥

日 時：2008年9月3日 14:00～15:00

場 所：ECO社 下水汚泥焼却処理場(プロジェクトサイト)

参加者：【ECO社】Vincent氏 【ICES社】新屋氏 【鹿島建設】曾根氏
【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ 建設中の下水汚泥焼却処理場(プロジェクトサイト)の視察を行った。
- ・ サイト建設は2009年4月までに完了し、4月から下水汚泥を受け入れ運転を開始する。



⑦ 調査⑦

日 時：2008年9月4日 7:30～9:00

場 所：Pan Pacific Hotel

参加者：【鹿島建設】阪東氏、曾根氏 【SMBC】中塚氏 【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ Validation以降の進め方（役割や費用負担、スケジュールなど）についての打合せ。
- ・ ECO社、鹿島建設、SMBC、日本総研の4社で締結を予定している Agreementに関する打合せ。

⑧ 調査⑧

日 時：2008年9月4日 9:30～13:30

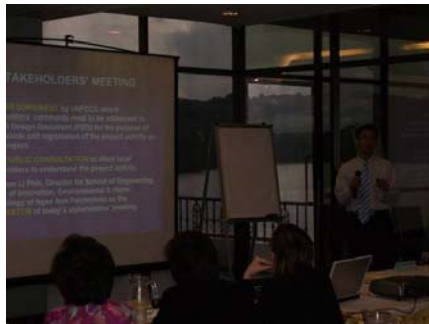
場 所：Raffles Club

参加者：【ECO社】Danny氏、Vincent氏、Ramli氏ら 【鹿島建設】阪東氏、曾根氏
【SMBC】中塚氏、羽澄氏、Arnold氏 【日本総研】佐々木 その他

要 旨：

- ・ 出席者の合計は、30人程度。
 - 会の司会を務めた Tam Li Phin 氏 (School of engineering centre of innovation) や、NEA・PUBなどの政府機関、NGO、サイト周辺工場関係者、CDMコンサルタントなどが出席した。
- ・ 第一部では、ECO社がPUBから委託される下水汚泥焼却処理事業の事業概要の説明とCDM事業化の説明を行った。
- ・ 第二部では、Tam Li Phin氏をモデレーターとしてフロアからの質疑応答を実施。フロアからの質問内容は次のとおり。
 - ベースラインの設定に関する質問
 - ◇ 現状の処理方法でメタンが発生しているのかの確認
 - ◇ 輸送に伴う排出量が含まれているのかの確認
 - ◇ 年々排出量が増加する原因
 - CDMの手続きに関する質問
 - クレジットのBuyerとpriceの見通しに関する質問
 - Social Sustainabilityに関する質問（社会に与える具体的な影響の例示）

- プロジェクト排出量に関する質問
 - ◇ 輸送に伴う排出量以外の要素が存在するのかの確認
- 技術移転と焼却残渣（灰）の利用用途の可否に関する質問
- ・ 活発に質疑応答が交わされ、参加者一同はCDM化の意義についてよく理解できたと思われる。
- ・ セッション後の座談会にて、関係者へのヒアリングした結果は次のとおり。
 - すぐにでもPDDとPINを提出すればよい。すぐに精査にとりかかる。(NEA)
 - シンガポール国内に広く意義を訴えかけるだけでなく、シンガポールから東南アジア諸国にどのようなプロジェクトを広げていくという視点は素晴らしい。積極的に広報していくべきだ。(NGO)
 - 日本政府から補助金をもらっていることは力強い。日本からの技術移転で事業が実施され、日本に排出権が移転されるのであれば非常にきれいなスキームである。(学識)



⑨ 調査⑨

日 時：2008年9月4日 15:30～17:00

場 所：SETSCO 社会議室

参加者：【SETSCO社】Sivapalan氏、Toh氏 【ECO社】Vincent氏、Ramli氏
 【鹿島建設】曾根氏 【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ レーザーメタン計の簡易性能試験を実施した。
- ・ 既知濃度（2,500[ppm]）のメタンガス封入サンプル3つ（厚さ：14[cm]、24[cm]、27[cm]）と空気を封入したサンプル（厚さ：0.27[cm]）のサンプルを計測し測定誤差を確認した。
- ・ 結果は下表のとおり。



サンプル		1st			2nd			3rd		
幅 [m]	濃度 [ppm]	試験時間	照射時間 [min]	MAX濃度 [ppm・m]	試験時間	照射時間 [min]	MAX濃度 [ppm・m]	試験時間	照射時間 [min]	MAX濃度 [ppm・m]
0.14	2,500	15:55	1	401	16:10	1	390	16:23	1	336
0.24	2,500	16:03	1	637	16:12	1	682	16:28	1	542
0.27	2,500	16:05	1	670	16:14	1	663			
0.27	Air	16:08	1	22	16:16	1	10			

* 実測濃度 = 平均濃度 / 幅、 ** 平均濃度は機械に電子データで保存されている。上表には記載していない

- ・ 誤差は 5～10%程度であり、機器の信頼性は担保できると考えられる。
 - 簡易試験であったため測定方法の差異（照射角度やサンプルバッグ表面素材など）により、誤差が生じるものと考えられる。
- ・ 0.5 秒毎の実計測データを SETSCO 社に送り、後日 SETSCO 社から書面にて性能評価に関する正式なコメントを得ることとなった。

⑩ 調査⑩

日 時：2008 年 9 月 5 日 10:00～12:00

場 所：ECO 社 会議室

参加者：【ECO 社】高橋氏、Danny 氏、Vincent 氏 【鹿島建設】阪東氏、曾根氏

【SMBC】中塚氏、羽澄氏、Vincent 氏 【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ GEC 補助金を得ていることから、本プロジェクトの排出権は日本政府（NEDO）が優先的な交渉権を得ていることを確認した。
- ・ NEDO の買い取り対象外となった場合にも、日本企業に売却することを第一に交渉することを確認した。
- ・ 排出権の売買に関しては、SMBC が担当することで合意が得られ、詳細については今後調整する。

⑪ 調査⑪

日 時：2008 年 9 月 5 日 13:30～14:00

場 所：ECO 社 下水汚泥焼却処理場（プロジェクトサイト）

参加者：【ECO 社】高橋氏 【SMBC】中塚氏、羽澄氏、Vincent 氏 【日本総研】佐々木

要 旨：

- ・ 9 月 4 日と同じサイトを見学
- ・ 前日よりも工事は進んでおり、焼却炉と Dryer を接続するダクトの取り付け工事が開始された。
- ・ ECO 社・高橋氏によると、工事の進捗は 20%程度。
- ・ 同サイト近接の空スペース（すべて ECO 社所有）には ECO 社の事業拡大に伴い、今後、産業廃棄物焼却の第二炉、ISO タンク洗浄工場、ISO タンク保管スペース、事務所棟などを建設する予定である。

(5) 特筆すべき成果・問題点

本海外出張における成果と問題点（課題）は、次のようにまとめることができる。

<成果>

- ・ Stakeholder's Meeting を開催し、出席者から本案件に関して前向きな意見を得ることができ、案件実現化に向けたプロセスを着実に進めることができた。
- ・ 現状の下水汚泥埋立処分場からメタンガスが比較的高濃度で発生していることが確認でき、シンガポール政府の承認を得る際の障壁を取り払うことができた。
- ・ また、PDD 作成に向けた基礎データの採取と、それに向けた準備を実施することができた。
- ・ Validation 以降の実施体制などを再確認し、案件実現化に向けた道筋をつくることができた。
- ・ 生成する排出権を日本国に移転できる道筋をつくることができた。

<問題点>

- ・ 最近の CDM 案件の増加に伴い、Validation にかかる期間が長くなっている。TUV、SGS、DNV の大手 3 社だけでなく、日本の DOE においても状況は同じで、Validation の着手は早くても 12 月になる模様。
- ・ 2009 年 4 月のプラント開始と同時にクレジット期間開始となるように、PDD 完成や両国政府承認などをできるだけ早く終えるようなスケジュールを組んでいるが、Validation がボトルネックになる可能性が高い状態である。
- ・ 帰国後、早期に DOE にコンタクトし、Validation に向けたアポイントを確保することとしたい。

13.2 第 2 回現地調査

(1) 現地調査出張者

株式会社日本総合研究所 総合研究部門 研究員 佐々木努

(2) 現地調査日程

<期間>

2008 年 11 月 17 日～20 日

- | | |
|----------------|------------------------------------|
| 11 月 17 日 | 関西国際空港発－シンガポール着（シンガポール航空） |
| 11 月 17 日～19 日 | Pan Pacific Hotel Singapore 泊（2 泊） |
| 11 月 20 日 | シンガポール発－関西国際空港着（シンガポール航空、機内泊） |

<主なスケジュール>

出張期間中全て、追加性証明に関するディスカッションと Evidence の有無の確認を実施。

(3) 日程別調査内容

詳細な調査内容（日時、調査/訪問先、面会者、調査概要）は次表のとおりである。

日時		調査・訪問先	面会者・同行者		概要
11/18 (火)	8:00~9:30	SMBC シンガポール支店	SMBC JRI	中塚、羽澄、Arnold 佐々木	・シンガポールの廃棄物処理業界の経営状態などの情報収集
	10:00 ~ 20:00	ECO 社	ECO 社 鹿島建設 SMBC JRI	Vincent 曾根 中塚、Arnold 佐々木	・追加性証明についてのディスカッション
11/19 (水)	8:00 ~ 21:00	ECO 社	ECO 社 Navis 社 鹿島建設 SMBC JRI	Vincent Tee 曾根 中塚、Arnold 佐々木	・追加性証明についてのディスカッション ・追加性証明のための Evidence データの有無の確認

*表中敬称略

(4) 調査結果概要

① 調査①

日時：2008年11月18日 8:00~9:30

場所：SMBC シンガポール支店

参加者：【SMBC】中塚氏、羽澄氏、Arnold氏 【日本総研】佐々木

要旨：

- ・ 自社投資基準と比較できるベンチマークとなりうるファイナンス指標を得るため、下記のデータ収集を実施した。
 - シンガポール国の貸出金利 (National Lending Rate)
 - シンガポール国の国債利回り
 - ECO 社の業界の財務指標 (ROE や利益率など)

② 調査②

日時：2008年11月18日 10:00~20:00

場所：ECO 社 会議室

参加者：【ECO 社】 Vincent 氏 【SMBC】中塚氏、Arnold 氏
【鹿島建設】曾根氏 【日本総研】佐々木

要旨：

- ・ 追加性証明に関する打合せ
- ・ ECO 社内機密事項を含むため本報告書では非開示とする。

③ 調査③

日時：2008年11月19日 10:00~21:00

場 所：ECO 社 会議室

参加者：【ECO 社】 Vincent 氏 【Navis 社】 Tee 氏

 【SMBC】 中塚氏、Arnold 氏 【鹿島建設】 曾根氏 【日本総研】 佐々木

要 旨：

- ・ 追加性証明に関する打合せ
- ・ ECO 社内機密事項を含むため本報告書では非開示とする。



(5) 特筆すべき成果・問題点

本海外出張における成果と問題点（課題）は、次のようにまとめることができる。

<成果>

- ・ 追加性証明に必要な Evidence の多くについて確認でき、また利用されているパラメータの妥当性も確認できた。

<問題点>

- ・ 早期に Validation を終了させ国連登録する必要がある。
- ・ DOE からの指摘事項について素早く対応する必要がある。