

平成 15 年度 CDM/JI 事業調査

プノンペン市廃棄物埋立処分場（Stung Mean Chey）から排出するメタンガス等（LFG）の回収による
温室効果削減及びエネルギー活用事業の F/S 調査

報告書

概要編

平成 16 年 3 月

財団法人 廃棄物研究財団

はじめに

1997年12月に開催された国際連合気候変動枠組条約第3回締結国会議(COP3)で採択された「京都議定書」で、日本は2008年から2012年までの温室効果ガスの排出量を1990年レベルより6%削減することが定められた。この削減目標を達成するために、国内の温暖化対策を進めるとともに、議定書に規定された国際的な地球温暖化対策のメカニズム - 先進国と開発途上国間の「クリーン開発メカニズム(Clean Development Mechanism: CDM)」や先進国間の「共同実施」などについても積極的に推進することが必要となっている。

財団法人廃棄物研究財団は、平成15年度温暖化対策クリーンクリーン開発メカニズム事業調査(以下CDM/JI事業調査という。)を財団法人地球環境センターより受託した。

当調査を実施するために当廃棄物研究財団内に学識経験者で構成した「カ国」プノンペン市廃棄物埋立処分場排出ガス回収によるCDM調査委員会(委員長 田中勝 岡山大学大学院教授)を設置し、調査計画から事業設計書(PDD)作成に至る各時点で委員各位の指導、助言等を得た。

調査を通じて協力を得たカンボジア国環境省、公共事業運輸省及びプノンペン市公共事業運輸局、同環境局他関係者に深く感謝致します。

平成16年3月

財団法人 廃棄物研究財団
理事長 杉戸大作

調査体制

1 調査委員会の設置

当調査の実施に際して財団法人廃棄物研究財団では「カンボジア国廃棄物処分場 LFG 削減 CDM 調査委員会（委員長 田中 勝 岡山大学大学院 教授）を発足し調査に対する指導・助言を得た。

委員会構成員名簿

委員長 田中 勝 岡山大学大学院自然科学研究科 教授
委員 松藤 康司 福岡大学 教授
平賀 良 (財)大阪市環境事業協会 技術部長
孔井 順二 廃棄物コンサルタント協議会（オブザーバー）
諸頭 達夫 廃棄物研究財団 東京研究所 次長

2 調査団員

調査団員名簿

調査団長 三本木 徹 廃棄物研究財団 専務理事
調査団員 諸頭 達夫 廃棄物研究財団 東京研究所 次長
藤川 輝昭 廃棄物研究財団 大阪研究所 次長
木川 修二 廃棄物研究財団 大阪研究所 上席研究員
川田 晋也 国際航業(株) 海外事業部
楠 幸二 " 環境エンジニアリング事業部
高橋 将彦 " 海外事業部

報告書目次

はじめに

1. 調査の概要	
1.1 調査の目的	1
1.2 調査対象事業	1
1.3 調査の基本的視点	1
2. ホスト国の概要	2
2.1 自然	2
2.2 社会・経済	2
2.3 環境行政組織	2
3. CDM プロジェクト	2
3.1 ベースラインシナリオの検討	2
(1) ベースラインシナリオの検討	2
(2) プロジェクトバウンダリー	3
3.2 プロジェクト期間	4
3.3 想定される GHG 削減量	4
(1) プロジェクトサイトの状況	4
(2) パイロット区画からのメタン発生予測量	4
(3) モデル区におけるメタン回収試験と回収効率	7
(4) メタン削減量	8
(5) メタン燃焼試験	9
3.4 概算事業費	10
3.5 周辺住民のエネルギーの利活用	11
(1) エネルギー使用状況調査結果の概要	11
(2) SMC 処分場の LFG 直接利用に関する検討	11
3.6 財務分析	13
4. 環境影響と環境改善への貢献度	15
5. 利害関係者のコメント	15
5.1 環境省計画法務局気候変動室	15
5.2 カンボジア市	15
6. キャパシティビルディング	16
7. ホスト国・地域の持続可能な開発に貢献できる点	16
8. 類似施設への普及の可能性	16

1 調査概要

1.1 調査の目的

CDM は先進国と途上国間における地球温暖化ガス (Green House Gas 以下 GHG という。) 削減スキームであり、本プロジェクトは、GHG 削減数値目標が設定されていないカンボディアにおいて、廃棄物埋立て処分場から大気中に放出されるメタンガスを削減することによる CDM 事業化のフィージビリティ調査を実施するものである。

1.2 調査対象事業

カンボディア国の首都プノンペン市 (2000 人口約 105 万人、面積約 290km²) の唯一の処分場である Stung Mean Chey 処分場 (以下 SMC 処分場という。) は、1960 年代から使用されており、現在日量約 670 トンの都市ごみが埋め立てられている。

当処分場はオープンダンピング方式であるため火災、煙や粉塵、悪臭、蠅の大量発生及び浸出水の排出など、周辺環境に大きな影響を与えており、処分場の劣悪な環境に対する市民からの苦情が当局に寄せられている。

カンボディア政府は SMC 処分場の環境改善を含めて日本政府に調査協力を要請し、日本政府は、この要請に応じて国際協力機構 (JICA) を通じて開発調査を実施した。

JICA 調査団はごみ収集改善実験、住民衛生教育、廃棄物管理データベースの構築と併せて、SMC 処分場をオープンダンピングから衛生理め立て方式へと移行させるため、現処分場の一部に埋立ごみ等で成型し、覆土に古い埋立ごみを利用し、成型埋立層にガス抜き管 (深さ 5m) を設置したパイロットプロジェクト (以下パイロット区画という。) を実施している。

本調査は、SMC 処分場から排出しているメタンガスを含んだ Landfill Gas (以下 LFG という。) の削減と利・活用を対象とし、事業の実施可能性を検討 (F/S 調査) した。

1.3 調査の基本的視点

埋立物の組成と埋立期間中の分解率 (メタン化率) から排出ガス量を予測し、処分場における LFG 回収率を想定して事業の採算性を検討するのが一般的な手法である。当調査は、パイロット区における LFG 収集効率の測定及び改善策の検討並びにモニタリングシステムの構築を並行して行い事業採算性に関する検討を補強した。

LFG の利・活用の面で、木炭等によるエネルギー貯蔵技術の検証、ガス供給等について検討した。また、システムの運用管理面ではカウンターパートに技術移転を含めて実測調査、モニタリング方法を指導した。

2. ホスト国の概要

2.1 自然

カンボディアの気候は、雨季と乾季を伴うモンスーン気候で雨季は5月から10月にインド洋から陸地に向かって吹く南西モンスーンで雨がもたらされる。

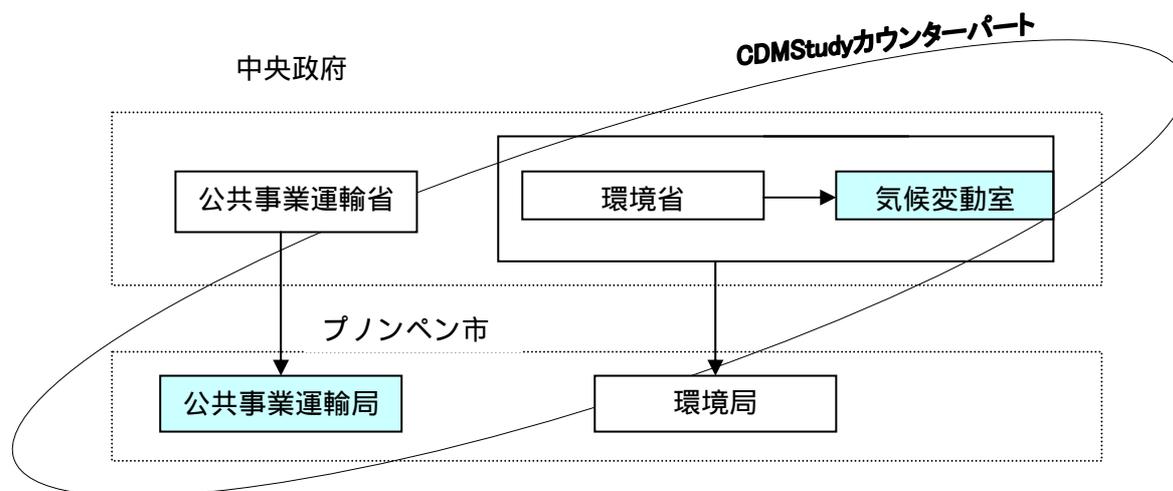
乾季は11月から4月で北東からの乾燥したモンスーンが吹く。中央地域の雨量は1200～1900mmであり、雨季には年間雨量の80%が降る。

2.2 社会・経済

カンボディアは4つの自治体を含む24郡から構成されており1998年の人口は、11,400,000人で、人口増加率は年2.5%、全人口の85%は地方に居住している。2000年から2002年のGDP成長率は、4.5～6%でGDPの12%は外資による投資であり、その5割以上は無償援助である。

2.3 環境行政組織

カンボディア国の行政組織は、中央政府とプノンペン市の各組織が上下関係にあり、中央政府の省の下に同名の局があり、これがプノンペン市に所属している。本調査では、環境省気候変動室が窓口となり、実働のカウンターパートは、SMC処分場を管理しているプノンペン市公共事業局がこれにあたる。



3. CDM プロジェクト

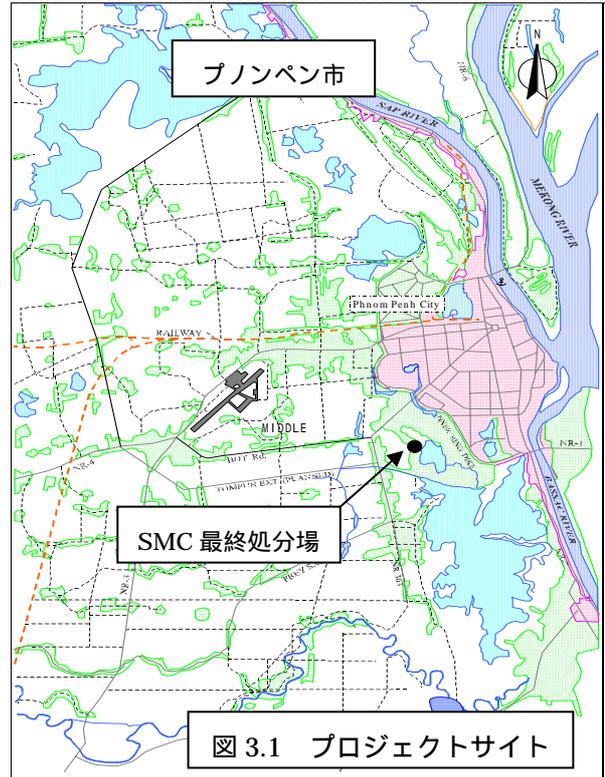
3.1 ベースラインシナリオの検討

首都プノンペン市SMC処分場は、オープンダンピング方式で1960年代から使用されており、現在日量約670トンの都市ごみが埋め立てられている。処分場の立地場所を図3-1に示した。

(1) ベースラインシナリオ

- ・ JICA 調査団によって、首都プノンペン市の廃棄物管理計画マスタープラン(現時点で提案)では処分場は衛生埋立方式でガス抜き管の設置と覆土を奨励しているが、LFGの回収は計画されていない。
- ・ カンボディア国環境省は、廃棄物管理行政においてLFGの回収を義務付ける動きはない。
- ・ JICA 調査のパイロット区画に設置されているガス抜き管のメタンガス濃度は造成当初20～25%であったが2月末時点で25%程度となっている。

- ・現状のメタンガス濃度では工業用エネルギーとしての活用が困難であり、炭素クレジット取引以外の事業化はほとんど見込めない。今後メタンガス濃度が45%を超えるとガスエンジンのエネルギーなどの利・活用が期待できる。
- ・現地での実証試験によると低濃度メタンであっても木炭製造用燃料としては利用できる。このような状況を踏まえて以下のようなシナリオを設定した。
 ベースラインシナリオ
 - ・メタン回収量をゼロとする。
 プロジェクトシナリオ
 - ・「CDM 事業によって回収されたメタンガスの利・活用は地元 NGO が希望すればヤシ殻等の木質廃資源化木炭の製造施設に無償供給
 - ・低濃度メタン含有ガスの場合にはフレアガス燃焼（破壊）による温暖化抑制効果とする。



(2) プロジェクトバウンダリー

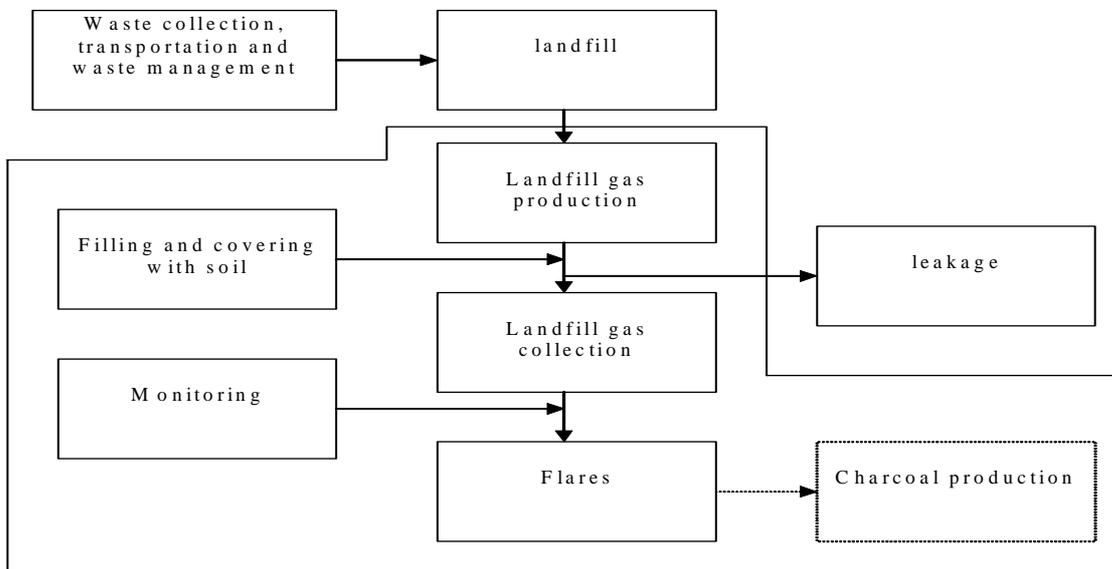


図 3.2 システムバウンダリーの概要

廃棄物埋立処分は、CDM事業に関係なく行われる業務であり、事業に伴って排出されるGHG量は覆土輸送及び工事に伴う車両と重機、モニタリング機材の消費電力等でこれらは一時的で少量の二酸化炭素負荷と考えられるため考慮しない。回収ガスの一部は木炭製造等に利用することもあるが、LFGの利・活用と位置付けた。

プロジェクトバウンダリーとしては埋立処分場内で発生するLFGと実際に回収できるLFGとの差はリーケージとみなすことができるが、ここでは回収したLFGのみを対象とした。

プロジェクトバウンダリーを整理して図3.2に示した。

3.2 プロジェクト期間

- ・プロジェクト期間及びクレジット獲得期間は2005年から2011年の7年間とする。

3.3 想定されるGHG削減量

(1) プロジェクトサイトの状況

- ・処分場から排出されるLFGの自然発火、タイヤ内部の金属を回収するためゴムを燃焼させる行為などで火災が発生している。
- ・SMC処分場で埋立物の搬入管理は行われていないため、ごみの履歴、経過年数、層厚等について処分場監督員からヒアリングして埋立処分場のごみの履歴を整理して図3.3に示した。

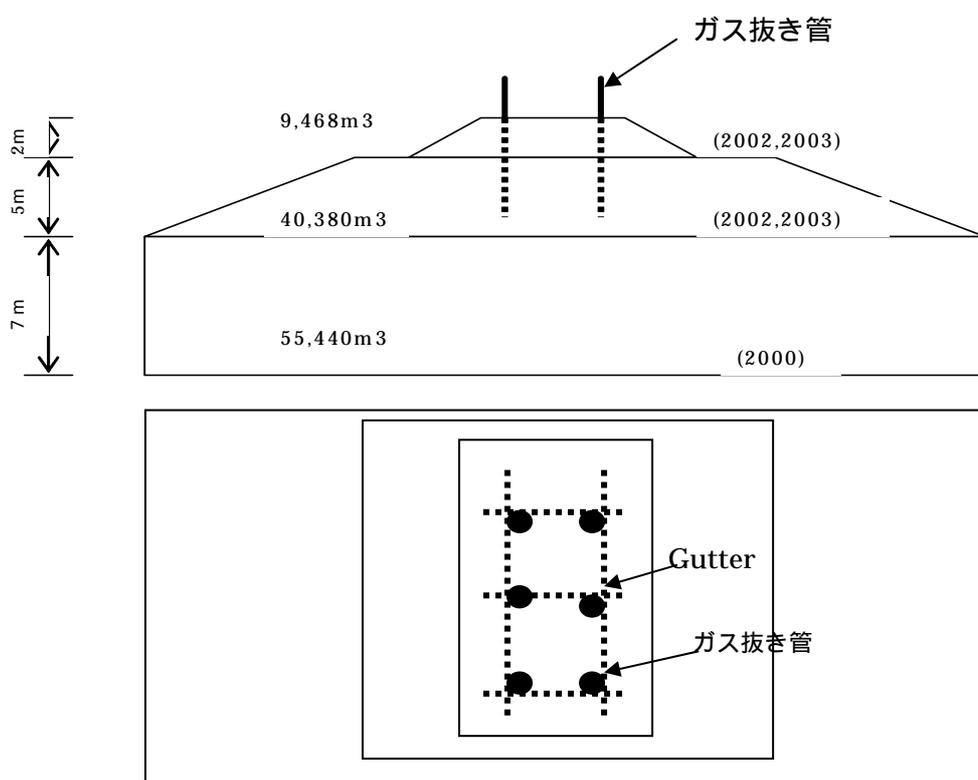


図3.3 パイロット区画の積み込みごみ量と履歴の概要

(2) パイロット区画からのメタン発生予測

当調査ではパイロット区画におけるメタン発生量を調査した。この結果をCDM事業におけるガス発生量の予測にも適用した。

1) メタン発生量の算定式

埋立処分場から発生するメタン発生量の算定式は種々提案されている。

米国のEPAが提示している式

$$Q = 2 k L_0 M_i (e^{-kt_i})$$

ここで、

L_0 : ごみ 1 トンから発生するメタンガスの量で、 $6.2 \sim 270 \text{m}^3/\text{Mg}$ の範囲とし、

k : $0.003 \sim 0.21/\text{年}$ の範囲とされている。

k は廃棄物中の水分、pH、温度、炭素含有量によって決まる値で長期の観測が必要である。

IPCC が提案している式 (当調査で採用)

$$\text{CH}_4 = \text{Land} \times \text{MCF} \times \text{DOCfrac} \times \text{Gasfrac} \times \text{CH}_4\text{frac} \times \text{Conv} - \text{Recov}$$

ここで、

CH_4	: メタン排出量 (Gg/y)
Land	: 年間埋立処分量 (Gg/y)
MCF	: メタン修正係数
DOCfrac	: 有機性炭素含有率
Gasfrac	: 有機性炭素ガス化率
CH_4frac	: ガス中のメタン率
Conv	: $16/12(\text{CH}_4/\text{C})$
Recov	: メタン回収量 (= 0.0)

本調査では、ごみ質分析は JICA 調査によって行われており、LFG 中のメタン濃度等については当調査で実測しているため、IPCC の提案する式を適用して発生ガス量を予測する。

以下に算定に必要な諸元の設定方法について示した。

2) メタン修正係数

メタン修正係数 (MCF) は、管理型の埋立場から発生するメタンガス量を 100% とした場合、埋立層厚 5m 以上の非管理型埋立場から発生するメタン量を 80% としている。CDM 事業を実施する場合は管理型となるが、過去の実績を考慮し、当面は非管理型で埋立てられるので「埋立深さ 5m 以上、非管理型」の係数を採用する。

メタン修正係数は深さを考慮して、0.8 を採用した。

3) 有機炭素含有率

有機性炭素含有率 (DOCfrac) は、表 3.1 を参考に搬入ごみの有機性炭素含有量をごみの種類別に再整理して次式によって計算した結果を採用した。

$$\text{DOC frac} = 0.40 \times A + 0.17 \times B + 0.15 \times C + 0.30 \times D = 0.15$$

ここで、A、B、C、D はごみの種類別湿潤重量比を示す。

表 3.1 有機性炭素含有率(JICA 調査団)

Category	Composition (%)	DOC	Organic carbon content
A. Paper & Textile	0.09	0.40	0.04
C. Kitchen Waste	0.63	0.15	0.09
(B. + D.)Grass & Wood	0.07	0.235	0.02
Total	0.79		0.15

注：有機炭素含有量を：B+D = (0.17+0.30)/2 = 0.235

4) 有機性炭素ガス化比率

有機性炭素ガス化比率 (Gas Frac) は、以下の算出式を用いて、過去の埋立て量と今後の埋立て予測量をもとに、経過時間で積分してメタン排出量を経年ごとに算出した。

福岡大学工学部の式

$$y = 0.76X - 0.02 \quad (0 \sim 3 \text{ 年})$$

$$y = 30.61 \log X - 6.91 \quad (4 \text{ 年} \sim)$$

ここで

y：ガス化率 (%)

X：経過時間：単位(月) (X>1)

ただし、この式は累積量であり、各年ごとの係数は図 3.4 のとおりである。

表 3.2 Gas Frac (%)

Age	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
GasFrac	3.10	8.11	8.08	18.22	3.06	2.42	2.01	1.71	1.50	1.33	1.19	1.09	0.99	0.91	0.85

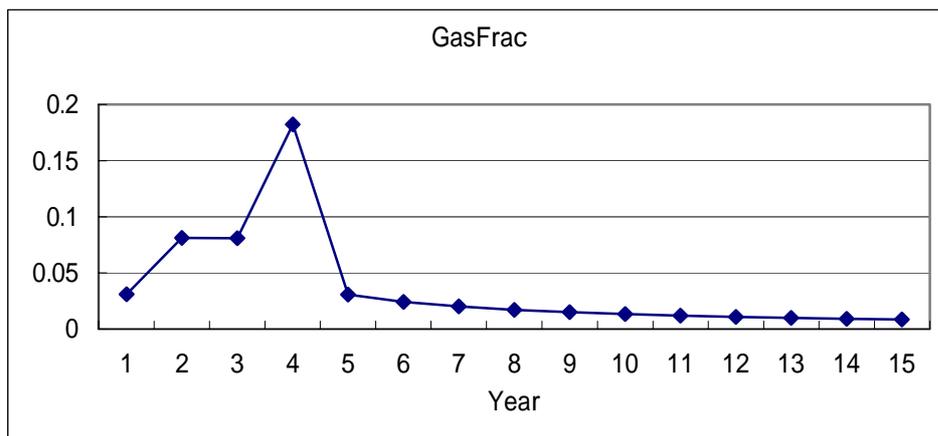


図 3.4 有機性炭素ガス化比率

5) LFG 中のメタン含有率

LFG 中のメタン含有率 (CH₄ Frac) は、パイロット区画で実測した LFG のメタン濃度(20~25%)を参考に 20%を採用した。

6) CDM 事業対象区域からのメタン排出量

パイロット区画で得た実測値等を加味して CDM 事業区域から排出されるメタン量を計算すると

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 &= \{(9,468+40,380) / 2 \times 0.031 + (9,468+40,380) / 2 \times 0.0811 + 55,440 \times 0.1822\} \times \\ &\quad 0.8 \times 0.15 \times 0.20 \times (16 / 12) \\ &= 394.76 \text{ ト/年} \\ \text{日当り} & (394.76 / 365) = 1,081.5 \text{ kg/日} \end{aligned}$$

自然発火その他の火災による影響について調査した結果、焼失物は堆積したごみの深部には至らずその時点の表層部分に限られていると観測された。

ここでは火災等による焼失ガス量を 10%とした。(自然発火を含めて焼失によって温暖化係数が 1/21 低下することになるがここでは事業規模が 10%縮減するとした。)

$$\text{回収できるメタンガス量(CH}_4\text{)} = 1,081 \times (1 - 0.1) = 972\text{kg/日}$$

(3) モデル区によるメタン回収試験と回収効率

図 3.6 にモデル実験区のガス回収施設位置図を示した。CDM 事業でガス回収装置を設置する場合も当調査結果を参考に設置されるものと考えられる。

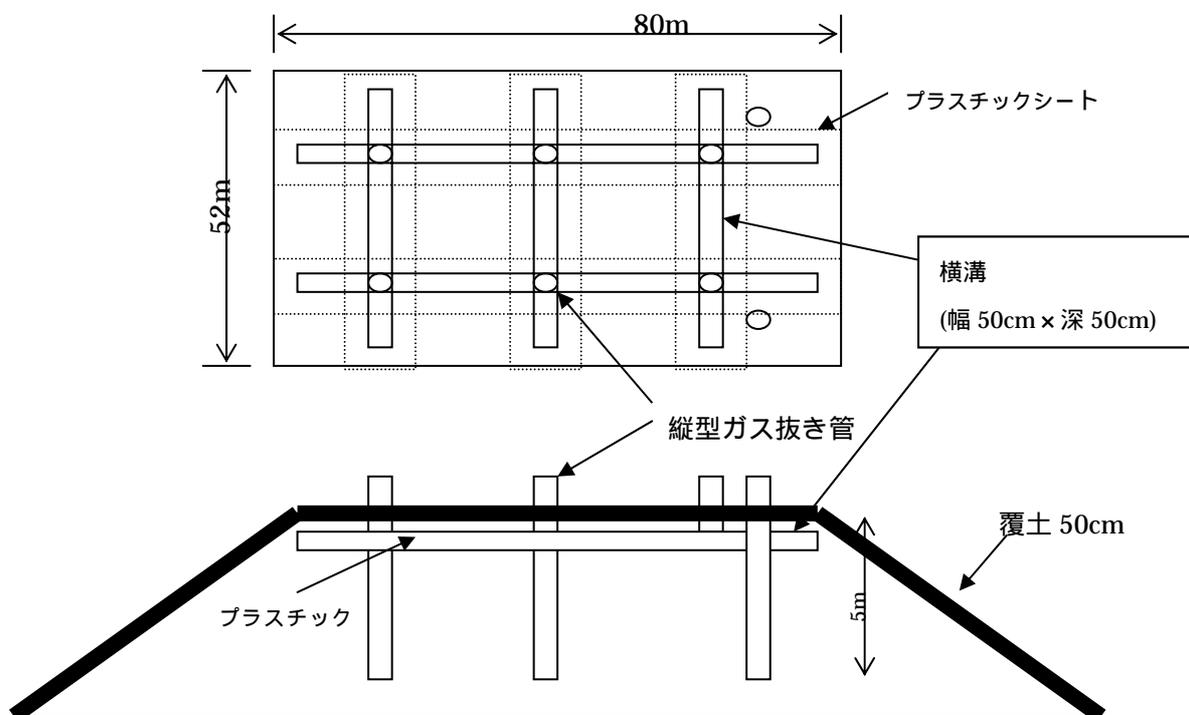


図 3.5 ガス回収用施設位置図

LFG 回収装置

- ・モデル区に設置されている縦型ガス抜き管 No 1 ~ 6 : 深さ 5m(JICA 調査)
- ・横溝の上部はプラスチックシートでカバーし、その上に 50cm の覆土を行った(CDM 調査で設置)。No.7 と No.8 は埋立層に深く挿入せず短管とし、横溝だけで収集できるガス量を測定した(CDM 調査で設置)。

観測方法

温度 () 湿度 (%): アネモハイグロメーター

流速 (m/s) 流量 : アネモハイグロメーター、

メタン濃度 (%) 硫化水素濃度 (ppm) 一酸化炭素濃度 (ppm): 携帯用分析器

測定結果

- ・縦型ガス抜き管 (JICA 設置 5m 深さ) のメタンガス濃度の総平均は 20.6% で 12 月下旬から 2 月上旬半月毎の平均値を時系列で見てもほとんど変化は認められなかった。
- ・横溝式ガス回収装置(CDM 調査で設置)は 1 月下旬から測定されており、メタンガス濃度は 1 月下旬 21.5%、2 月上旬 24.1%であった。

メタン回収効率

- ・JICA 調査団によるごみ成形と覆土工事が遅延したため、NO. 5、NO. 6、NO. 7、NO. 8 の計測が出来ず、観測開始が遅れた。
- ・2 月第 2 週の NO.5,6 と NO.7,8 について比較すると正確性に欠けるが、LFG 回収量に占める比率についてみると縦型のガス抜き管が全体の 60% ~ 70% 対して、表面に設置した横溝からは約 30% ~ 40% 程度であった。

表 3-3 縦型ガス抜き管と横溝の回収寄与率(単位 : kg/日)

パイプ	縦型ガス抜き管	横溝	合計
NO.5 & 7	295(71%)	119(29%)	414(100%)
NO.6 & 8	269(62%)	164(38%)	433(100%)

12 月下旬から開始した観測結果は別添資料のとおりであるが、実験サイトにおけるメタン回収量は約 900kg/日であった。これからメタンの回収効率を求めると以下のとおりである。

$$\text{回収効率} = 900 / 972 \times 100 = 92.6 \%$$

(4) メタン削減量

埋立地から排出されるメタンガス量

SMC 処分場は既に 30 年間を超えて利用されているが、過去のデータはほとんど整備されていないため、不明な点が多い。

本調査では、JICA 調査団が行ったごみ組成等の実測調査及び将来予測値から外挿法によって 1996 年までの LFG 中のメタンガス量等から回収できるメタンガス量を算定し、表 3-4 に示した。

表 3-4 CDM 事業期間中のメタンガス回収量予測値(単位：ト/年)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1996	134	350	349	787	132	105	87	74	65	57	51	47	43	39	37	0
1997	0	146	381	380	857	144	114	95	80	71	63	56	51	47	43	40
1998	0	0	160	418	416	939	158	125	104	88	77	69	61	56	51	47
1999	0	0	0	174	454	452	1,020	171	136	113	96	84	74	67	61	55
2000	0	0	0	0	188	493	491	1,108	186	147	122	104	91	81	72	66
2001	0	0	0	0	0	205	537	535	1,207	203	160	133	113	99	88	79
2002	0	0	0	0	0	0	223	584	582	1,312	220	174	145	123	108	96
2003	0	0	0	0	0	0	0	242	633	631	1,423	239	189	157	134	117
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	259	677	675	1,522	256	202	168	143
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	279	729	727	1,638	275	218	181
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	784	781	1,761	296	234
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	134	496	890	1,759	2,048	2,338	2,630	2,933	3,251	3,577	3,617	3,154	2,662	1,146	979	824
累計										3,577	7,194	10,348	13,010	14,156	15,135	15,959

自然発火等に伴う焼失量

火災の履歴調査から焼失量は回収量の 10%と想定しているので事業化によって回収できるメタン回収量とその利活用を含めて燃焼によって改善される温暖化ガス削減量を二酸化炭素当量として算定した。

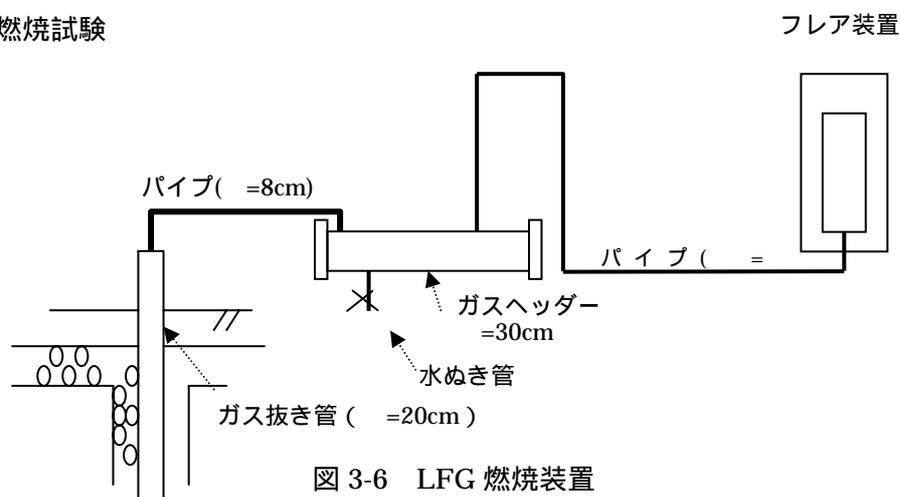
- ・メタンガス累積回収量： $15,959 \times (1 - 0.1) \times 0.926 = 13,300$ ト (2005～2011 年の 7 年間)
- ・炭酸ガス換算値： $13,300 \times 21 = 279,300$ ト (CO_2 eq)

ガス回収に伴う概算費用

- ・総投資額：958,000 ドル (表 3-7 参照)
- ・温暖化ガス削減費原単位： $958,000 / 279,300 = 3.43$ ドル / ト (CO_2)

(5) メタン燃焼実験

排出ガスの燃焼試験



LFGの測定と燃焼試験を行なうためすべてのガス抜き管から排出するガス量、濃度等の測定と排出ガスの安全燃焼を行うため図3-6に示した移動式のLFG試験装置を設置した。
この内、燃焼試験結果はいかのとおりであった。

- ・縦型ガス抜き管の吐出口で直接点火した結果風の影響で火が消えるものがあったが、吐出口部分にレンガを置くことで24時間燃焼を継続することが出来た。
- ・NO.1のパイプに設置した自動燃焼装置は自然噴出でフレアー装置として十分に機能する。

排出ガスの直接利用試験

- ・NO.2ガス井戸付近に木炭製造装置を設置し、排出ガスで木炭の製造を行った。
- ・装置は、石油ドラム缶の周囲をレンガで囲った簡易なもので、燃焼装置も単にパイプの先端を曲げただけのもので、特別な燃焼口を設けてはいない。
- ・燃焼開始から1時間で300℃に達し、その後、約800℃で8時間の燃焼を継続し、良質な木炭を製造することが出来た。
- ・燃料はLFGのみであり、自然噴出状況で燃焼が継続された。
- ・LFG中のメタンの濃度は20～25%程度であったが炭焼き用燃料として十分利用できる。



写-1 製造された木炭・竹炭

3.4 概算事業費

(1) 事業概算諸元の概要

- ・処分場の運用期間：2006年まで使用し、その後は新規処分場を予定している。
- ・埋立終了時の成形及び覆土：2005年と2006年の2カ年で実施する。
- ・モニタリング装置の設置、観測：2005年に一括購入。
- ・機材のメンテナンス費用：年間5,000ドルを計上。
- ・人件費：5名で10,000ドル/年を計上。

(2) 概算事業費

(1)で示した事業計画から概算事業費を整理して表3-5に示した。

表3-5 CDM概算事業費(単位:ドル)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	計
ごみ成形・覆土	455,000	353,000	0	0	0	0	0	808,000
測定機材等設置	45,000	0	0	0	0	0	0	45,000
モニタリング費用	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	35,000
人件費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	70,000
計	515,000	368,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	958,000

3.5 周辺住民のエネルギーの利活用

(1) エネルギー使用状況調査結果の概要

1) 電力

SMC 処分場周辺に居住する民家から、ランダムに 20 家庭を抽出し調査した。

- ・あなたが払っている電気料金の単価(リエル/ kWh)はいくらですか。

<回答> : 550 : 3 名、 900 : 2 名、 1000 : 6 名、 1200 : 6 名、 1700 : 3 名

- ・電気料金は適切ですか。

<回答> : 不適切 : 90%、 適切 : 10%

2) SMC 処分場周辺住民の燃料需要

家庭内における燃料の利用状況を把握する目的で、以下の調査を行った。

対象地域及びサンプル数

- ・SMC 最終処分場の周辺地域を 4 区分し、各区域から 10~15 の家族を抽出し、ヒアリング調査を行った。
- ・A : 幹線道路沿道の店舗兼用住宅が多い、B : 処分場アクセス道路沿道で廃品回収業者が多い
C : 古い住宅地域 D : 新興の住宅地域(戸建が多い)

調査内容

- ・家庭の属性 : 家屋の形態、居住年数、家族構成員、収入
- ・使用燃料 : 使用燃料別用途、使用量、燃料費

調査結果

- ・家族の構成員 : 5 人から 8 人程度である。
- ・収入 : 100~200 米ドルに集中している。B 群は最高でも 300 米ドル未満、D : 500~1,000 米ドルの家族が見られる。
- ・燃料 : 半数がプロパンガス、2 位 : 木炭で 36%、その他 : 薪が 14%であった。
- ・木炭が主用燃料としている家族 : 全体の 36%、第 2 位に木炭を使用している家族は 52%であり、88%の家庭で木炭が利用されていることがわかった。
- ・燃料使用量 : 薪が 130.9kg/月/家族で最も多く、次が木炭の 39.4kg であり、ガスは 1 ヶ月に約 1 本のプロパン(約 15kg)が消費されている。
- ・燃料費 : ガス代が最も高く 5.6 米ドルであり、木炭が 4 米ドルで最も安価である。

(2) SMC 処分場の LFG 直接利用に関する検討

1) 発電

LFG のメタン濃度が 20~25% で低いため、発電機用燃料としての利用は困難である。

2) 周辺家庭のガスボンベ燃料

SMC 処分場周辺の家庭を対象に実施した調査によると、都市ガスの供給システムはなく、ガス利用者はボンベガスを購入している。使用量は 1 世帯 1 ヶ月当たり約 15kg である。この実績から、SMC

処分場から発生する LFG を家庭の燃料として活用した場合、表のようになる。

15kg のガスが充填されたボンベが市価で 1 本 9 ドルするので、ボンベのつめかえ施設の建設に 200,000 ドルかかるとして、1 本当たり市価の 3 割引で販売したとすれば、254,230 ドルの利益が得られる計算になる。

$$72,100 \text{ 本} \times 9 \text{ ドル} \times (1 - 0.3) - 200,000 \text{ ドル} = 254,230 \text{ ドル}$$

しかし、実際の LFG に含まれるメタン濃度は 20～25% であり、市販のボンベガスと比較すると 1/5 の内容量となる。従って、1 世帯で 1 ヶ月に消費するボンベ数は 5 本となる。すなわち、交換用ボンベ数や配達・輸送頻度が 5 倍になり、運営維持管理費用が高額になる。また SMC 処分場から常時排出される LFG を貯蔵するために通常ガスの場合と比べて 5 倍の容量をもった貯蔵タンクを整備しなければならず、現実的ではない。

ガス供給事業化の可能性を検討する場合は LFG に含まれる窒素、二酸化炭素等を除去(メタンガスの分離)に関する設備費とのトレードオフとの関係について検討する必要がある。しかし、当 CDM 事業は期間が 7 年間と限定されている事もあり事業終了後の設備の引継ぎ等の課題があるためガス供給事業は行わないものとする。

参考に LFG 回収量をガス供給に充当した場合の供給世帯数を表 3-6 に示した。

表 3-6 メタンをボンベガスとして利用した場合の世帯数

年	発生メタンガス量 (t/年)	メタン利用可能量 (t/月)	利用可能世帯数 (戸)
2006	3,617	301	20,000
2007	3,154	262	17,400
2008	2,662	221	14,700
2009	1,146	95	6,300
2010	979	81	5,400
2011	824	68	4,500
2012	696	58	3,800
計	13,077		72,100

3) 木炭製造用燃料

ドラム缶 1 個に 1 回 40kg の木材を入れて燃焼し、約 10kg の木炭を製造できることを確認した。一工程の所要時間は約 10 時間であるためその間のメタンガスの消費量は、以下ようになる。

- ・ LFG 消費量： $0.87 \times 0.04 \times 0.04 \times 3.14 \times 60 \times 60 \times 10 = 157.35 \text{ m}^3$
- ・ 消費メタンガス(CH₄)量： $157.35 \times 0.25 \times 16 / 22.4 = 28 \text{ kg}$
- ・ 算定根拠：流速：0.87m/sec、ホース半径：0.04m、所要時間：10 時間
- ・ LFG のメタン濃度：25%、
- ・ メタンの分子量：16 g、メタンの 1 モル体積：22.4L

1 回の木炭製造に 10 時間を要するため、1 日当たりのメタン利用可能量を求め、1 日当たりの木炭製造可能量を算出した。さらに、1 年間の稼働日数を 240 日とすると、7 年間で 306.2 トンの木炭製造が可能になる。木炭の単価は約 0.1015 ドル/kg であるからこれを販売すれば、31,080 ドルの売り上げとなる。

木材を原料として木炭を製造するケース

木炭の材料である薪は 1kg 当たり約 0.0321 ドルであり、木材を原料として木炭を製造すると重量が約 1/4 になるため採算ベースにはのらない。

$$(\text{木炭単価}) - (\text{薪単価} \times 4) = 0.1015 - 0.0321 \times 4 = -0.0269$$

廃棄物を原料として木炭を製造するケース

処分場に搬入されるココナッツ殻及びさとうきびの皮と絞りカスを材料として木炭製造を行った。出来上がった木炭はそのままでは利用勝手が悪いいため、さらに粉末にして、キャッサバの粉、粘土粉末、松脂、水を混入して固め、乾燥させて新しい燃料として利用できることが判明した。廃棄物を原料の木炭化事業については現在、プノンペン市公共事業運輸局が検討している。

このケースの概算事業費を表 3-7 に示した。

表 3-7 有機性未利用廃棄物(ヤシ殻・バカス等)を原料とした木炭製造事業の概算

年	発生メタンガス量 (t/年)	メタン利用可能量 (kg/日)	木炭製造可能量 (kg/日)	木炭製造高 (kg/年)	販売額 (ドル)
2006	3,617	9,909	353	84,720	8,599
2007	3,154	8,641	308	73,920	7,502
2008	2,662	7,293	260	62,400	6,333
2009	1,146	3,139	112	26,880	2,728
2010	979	2,682	95	22,800	2,314
2011	824	2,257	80	19,200	1,948
2012	696	1,906	68	16,320	1,656
計	13,077			306,240	31,080

3.6 財務分析

CDM プロジェクト実施しない場合は、事業費が発生するのみで収入はゼロである。従って、炭素クレジットを考慮しない場合、事業化の可能性はない。S M C 最終処分場で埋立終了区域毎に成形・覆土を行いガス抜き管を設置するなど L F G 回収施設を設置するための概算費用(表 3-5 参照)に対して回収して利・活用する事によって得られる C E R s の価格との関連で事業化の可能性を検討した結果以下の結論を得た。

- ・ CERs が CO₂ 1 トンあたり、3 ドル、4 ドル、5 ドルの 3 ケースについて FIRR を求めた。
- ・ 物価上昇率及び金利は考慮していない。
- ・ CO₂ 1 トン当たり 4 ドルで CER s が取引された場合、FIRR は 3.4% となる。5 ドルで取引されれば、FIRR は 26.4% となる。

表 3-8 FIRR

ケース	FIRR
1 : 3 ドル/CO ₂ eq ton	- 15.2%
2 : 4 ドル/CO ₂ eq ton	3.4%
3 : 5 ドル/CO ₂ eq ton	26.4%

事業収支を表 3-9 に示した。

表 3-9 概算事業費と想定される CERs による収入

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	計	
ごみ成形・覆土	455,000	353,000	0	0	0	0	0	808,000	
測定機材・モニタリング施設	95,000	72,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	192,000	
人件費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	70,000	
計	560,000	435,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	1,077,000	
収入	CH ₄ (t)	3,577	3,617	3,154	2,662	1,146	979	824	15,959
	CO ₂ eq (t)	75,117	75,957	66,234	55,902	24,066	20,559	17,304	335,139
	Capture(t)*	62,603	63,303	55,199	46,589	20,057	17,134	14,421	279,305
	3 ドル/t	187,808	189,908	165,598	139,766	60,170	51,402	43,263	837,915
	4 ドル/t	250,410	253,210	220,798	186,355	80,226	68,535	57,685	1,117,219
5 ドル/t	313,013	316,513	275,997	232,944	100,283	85,669	72,106	1,396,524	

*Capture (t) = (メタン発生量) x (火災による削減量) x (回収効率) = CO₂eq x (1 - 0.1) x 0.926

4．環境影響と環境改善への貢献度

CDM 事業を実施する事によって以下の効果が期待できる。

- ・ SMC 最終処分場は 2005 年から埋立処分場の覆土が開始され、メタンの回収が実施される。
- ・ この結果、火災・煙害、粉塵・ごみの飛散等景観の改善、悪臭・ハエ・蚊の発生防止。
- ・ 周辺住民の健康被害、ウェストピッカーの人身事故等改善。
- ・ 少量の雨水の浸透はメタン発酵に必要であるが、覆土によって埋立層に浸透する雨水量が減少するため、浸出水の流出量が削減される。
- ・ CDM プロジェクトの実施は、大幅な環境改善に貢献することになり、新たな環境問題を惹起する可能性はない。

5．利害関係者のコメント

5.1 環境省計画法務局気候変動室

- ・ 2003 年 6 月 23 日に環境大臣によって署名された NO.195 の宣言によって、環境省計画法務局内に気候変動室が設置され、UNFCCC の出先の機能も持つ。
- ・ 事業概要：計画・方針策定、UNFCCC の実行、新しい技術について気候変動に悪影響を及ぼすか温暖化ガスを削減するかの評価、キャパビル、啓蒙活動等の任務を担う。
- ・ カンボディアは 1995 年 12 月 18 日には UNFCCC にサインした。1996 年には委員会が発効し、2002 年 7 月 4 日京都議定書に首相がサインし、2002 年 8 月 22 日に発効した。
- ・ 1999 年：CCEAP(Climate Change Enabling Activities Project)で UNDP と GEF(Global Environment Facility)の支援を 1994 年時点の地球温暖化ガスのインヴェントリーと 1994 年から 2020 年までの予測と削減計画がまとめられた。

5.2 CDM 事業に対する期待

- ・ 農業低開発国のカンボディアは、地球温暖化によって環境、社会、経済が大きな影響を受ける国であるという認識を強く有しており、気候変動室は CDM の推進に積極的な姿勢を示しており、海外からの事業実施、投資活動に強い関心を持っており、特に本件 F/S 調査実施後の事業化を強く望んでいる。
- ・ カンボジア市公共事業運輸局(DPWT)及び廃棄物管理公社(PPWM)は、埋立処分場から発生するメタンの回収による CDM 事業の成立に期待をにかけている。
- ・ この案件が CDM 事業として実施されれば、2006 年の処分場閉鎖に当たって、覆土やガス抜き管の設置工事がクレジットで得られた資金によって行われるため、プノンペン市はその予算措置を免れる利点があることも、積極的な姿勢をとらせる原因の一つになっている。
- ・ 周辺住民は、モデル区の覆土とガス抜き管の設置によって、処分場の環境が大幅に改善されることを目の当たりにしており、CDM 事業の実施に期待を寄せている。
- ・ 覆土することでウェストピッカーの生活基盤の喪失問題であるが、JICA 調査団の衛生埋立計画によると、ウェストピッカーが有価物の回収を行うことを妨げる方法は採らず、ウェストピッカーのごみ回収活動を保証しながら覆土を実行する計画であり、ウェストピッカーが

らの同意も得られている。

6．キャパシティビルディング

- ・ホスト国カンボディアの組織は、環境省（MOE）の下部組織としてはプノンペン市に「環境局（DOE）」があり、一方、同市の DPWT の上部組織は「公共事業運輸省（MPWT）」である。
- ・今回の CDM 調査は、「プノンペン市環境局（DOE）」ではなく、サイトを管理している DPWT をカウンターパートに選んでいる。
- ・局長は Mr. Nhem Saran で、実際は事業管理部の Mr. Moeung Sophan 副部長が窓口になっている。両氏は、CDM 事業がプノンペン市へもたらす利点を十分に認識しており、積極的な姿勢を維持している。
- ・JICA パイロットプロジェクトで設置したガス抜き管のメンテナンスやモニタリングは、以下の DPWT の職員が担当している。

Mr. KHEM Sandap Mr. TED Sambath

- ・2004 年 2 月末までの現地観測は、上記両名が担当し、継続調査を実施した。

7．ホスト国・地域の持続可能な開発に貢献できる点

- ・CDM 事業として実行された場合、ホスト国にもたらされる利益は多大なものがある。処分場の環境が改善することで、首都圏の持続可能な開発に大きく貢献することが期待できる。

8．類似施設への普及の可能性

- ・埋立処分場に覆土してガス抜き管を設置しメタンを回収する技術はそれほど高度なものではない。カンボディア国の技術水準で十分対応できる。
- ・一般に途上国への普及の可能性は高いといえるが、覆土材の費用負担、分析機器や測定機材の調達、維持、盗難防止、人材教育等の問題解決をどう図るかについて検討する必要がある。
- ・カンボディア国内には 23 の郡があるが、本件で実施した調査結果によると、首都プノンペン市以外の全国の廃棄物処分場で 1 日に処分されているごみ量は、僅か 300 トン未満であり、最大のシェムリアップ地方でも処分量は 57 トン/日である。従って、カンボディア国内で類似施設への普及の可能性は低いといわざるを得ない。
- ・東南アジア諸国については、地理的条件、自然条件、経済・社会条件が類似している場合には、適用の可能性が十分にあると考えられる。