

平成15年度CDM/JI事業調査

大連経済技術開発区
下水汚泥等有機廃棄物のメタン発酵による
バイオガス利用事業調査

報 告 書
概 要 版

平成16年3月

清水建設株式会社

目次

1. プロジェクトの背景と目的	1
1.1 中国政府の都市固体廃棄物（MSW）処理施策	1
1.2 国内エネルギー状況	1
1.3 大連市の都市廃棄物管理	1
1.4 大連経済技術開発区と廃棄物管理課題	2
2. 現地調査	2
3. 検討結果の概要	3
3.1 プロジェクト活動	3
3.2 対象廃棄物と計画処理量	4
3.3 処理システムとバイオガス生産量	4
3.4 プロジェクト建設費と運営収支	5
3.5 GHG排出削減量	5
3.6 プロジェクト期間と炭素排出権取得期間	5
3.7 経済評価	5
3.8 資金計画	6
3.9 事業実施体制	6
3.10 事業実施スケジュール	7
3.11 事業実施上のリスクと対策	8
4. 事業設計書（PDD）案の概要	8
4.1 ベースラインの考え方	8
4.2 モニタリング方法	10
4.3 持続可能な開発への貢献	10
5. 今後の事業推進	11

1. プロジェクトの背景と目的

1.1 中国政府の都市固体廃棄物（MSW）処理施策

中国政府は、第十期5カ年（2000-2004年）計画において「環境保護とインフラ建設」に関する要求水準を引き上げるべく、生活污水の集中処理水準や都市ごみの無害化処理能力の引き上げを目標設定して施策を実施している。目標達成のための政策課題として、投資の多元化、運営の企業化、処理設備の国産化、廃棄物と污水の資源化を重要視している。また、持続可能な都市発展のために環境保護と循環経済を両輪として推進している。

建設部では、2000年に「生活ごみ分別収集モデル都市」として北京他7都市を選定して、廃電池・紙くず・廃プラスチックの分別収集を開始した。同年6月には、ごみの減量・综合利用、ごみ収集と運搬、衛生埋立処理、焼却処理、コンポスト処理からなる「都市生活ごみの処理及び汚染防止技術政策」を公布した。

こうした政策の仕上げ的な意味を有する通知が2002年9月に国家発展計画委員会・建設部・国家環境保護総局から出された。「都市の污水・ごみ処理の産業化発展推進に関する意見」である。これは、都市污水处理やごみ処理を従来の公的サービス部門から切り離し、海外からの投資を含めた民間活力によって環境産業化する実施方策である。この施策には、污水处理費・ごみ処理費の徴収開始を早急に実施すべきことも謳われている。

1.2 国内エネルギー状況

中国の発電設備容量は2003年に2億2千万kWに達し、発電電力量：1兆6千億kWh（2002年）は世界第2位となった。しかし、国内におけるピーク時エネルギー需給はタイトな状況が続いている。中南部の諸省では、2002・2003年と連続して夏季にピークカット供給を経験しており、一部では、工場の操業にも影響を及ぼしている。これは1998年からの電力消費促進政策と、新規火力発電所建設認可の抑制政策の結果であり、この結果、電力需給調整の短期的なギャップが生じたと言われている。世界最大の三峡ダムが堪水開始し、徐々に発電量を増やしているものの広大な送電設備の増設には時間を要する。結果、一部地域では電力消費促進策と経済成長に見合った十分な発電設備容量が確保されていない状況となった。

しかしながら、大連市を擁する遼寧省を含む東北3省（遼寧・吉林・黒龍江の3省）においては、発電設備能力が需要を上回っており、一層の地域振興が国家により計画推進されている。

1.3 大連市の都市廃棄物管理

大連市は1999年9月に、「都市廃棄物管理規則」を公布し環境衛生行政の基本的な仕組みを制定した。この規則によって、経済技術開発区の管理委員会などの地域（特別）行政機関は、所轄区域の環境衛生主管部門と位置付けられ、廃棄物の分別排出・収集・運搬・処理を段階的にはあるが、着実に実施しなくてはならなくなった。市は、1994年来、世銀融資を得て市内ごみ収集システム・

運搬・埋立場（市内最大の毛萱子埋立場）の近代化を実施してきたが、先の国計委ほかの意見通知（2002年9月）に即して、BOT方式による焼却炉建設準備を進めることになった。2003年12月には、日本と中国の合弁企業によって落札され、この焼却炉建設運営が正式決定された。2005年末の完成・2006年早期の運開をめざしている。

1.4 大連経済技術開発区と廃棄物管理課題

大連経済技術開発区は、中国国内で最初に承認された国家級の経済技術開発区であり1984年に設立された。国内有数の生産規模を誇っており、国内生産総額は同開発区の中で第3位の243億元、輸出総額でも同じく第3位の32.4億ドルである。本開発区は1990年代後半から着実に都市的性格を帯び始め、常住人口17万人・従業員数10万人・進出企業数1,800社を超える規模となった。開発区の行政・企業誘致管理機能は管理委員会が主管しており、上水道、下水道、電力・ガス・熱供給やごみ収集運搬、インフラ建設などの関連企業群も指導している。環境管理システム（EMS）を有し、1999年にはISO14001認証を取得している。

管理委員会は、2003年5月に都市ごみの分別排出に関するモデル住区での実践を通知した。これは、全国モデル8都市での成果を援用したものである（1.1）。分別収集については環境衛生公司などによって、即日収集が実施され大連市の毛萱子埋立場において処分されている。開発区内の2箇所の下水処理場（処理能力：約16万 m^3 /日、活性汚泥法）から排出される余剰汚泥の脱水ケーキ（含水率は約85%）も同様に埋立処分されている。

開発区の都市固体廃棄物処理に関する課題は、市の「廃棄物管理規則」に従い、独自処理を進める必要に迫られていることである。また、開発区の人口成長・経済成長が著しく、大連市内の都市ごみのための計画焼却炉の対象区域から除外されているので、一層早急な独自処理が求められている。因みに、開発区の人口成長率11.4%（過去10年間）に対して大連市内は3.3%である。つまり、技術的にみても市の焼却炉対象エリアに開発区を含めることには無理がある。

2. 現地調査

2003年11月・12月、そして、2004年2月の計3回の現地調査を行なった。この間、諸官庁・企業への聞き取り調査や毛萱子埋立場における土壌発生ガス量の計測と組成分析、下水処理場の余剰汚泥の脱水ケーキの重金属分析等を併せて実施した。

3. 検討結果の概要

3.1 プロジェクト活動

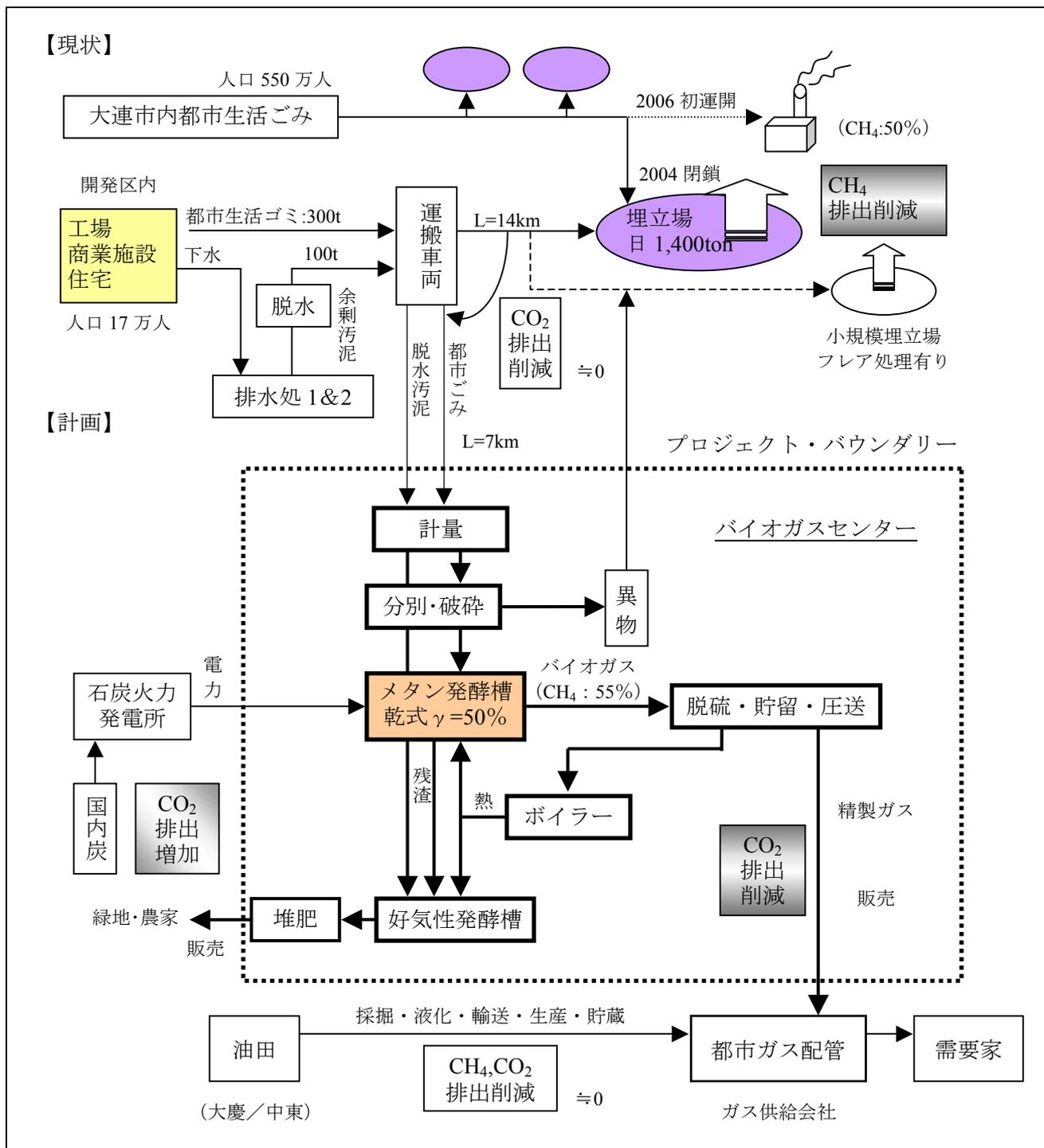


図1 プロジェクト活動の概要

新設されるバイオガスセンターは、開発区内の都市固体廃棄物を受け入れ（収集運搬は従来通り、環境衛生公司のような企業が担当する）、計量後貯留し、ベルトコンベヤー移送途中に人力による選別を行なう。金属類・プラスチック類・木片など非有機系の廃棄物等は異物として取り除かれ、有機物は5mm以下に破碎されて蒸気により一定温度（55℃）を保たれてメタン発酵槽に投入される。これらの有機系の原料は約20日間の滞留期間中に、嫌気状態でバイオガスを生じ、残渣は槽下部から排出される。生成されたバイオガスは、メタンガス濃度約55%、残り大半はCO₂である。この中から、都市ガス燃料として不適当な硫化物を脱硫し脱湿を行い、他の都市ガス燃料（プロパン（C₃H₈）・メタン（CH₄））とのカロリー調整後、都市ガス本管に圧入され販売・利用される。残渣と高含水率の汚泥の脱水ケーキなどは、堆肥化槽に送られ2ヶ月程度の好気性発酵によってコンポスト製品にされ、販売される。

本プロジェクトによって、埋立処分による埋立地発生ガス（CH₄：50%程度）が完全に抑制されるので、従前のベースラインに比較して、プロジェクトによるGHG発生量は大幅に削減できる。

3.2 対象廃棄物と計画処理量

対象廃棄物	有機物：食品廃棄物、果物の皮、木・竹・葉・草、紙類、繊維・布類 下水処理場の余剰汚泥（脱水後）
非 "	無機物：煉瓦・石瓦、貝殻、動物骨、残土、 廃物：プラスチック類、金属類、ガラス類、廃ゴム

過去の廃棄物統計は見当たらないが、2003年現在、開発区の都市固体廃棄物量は日200tonである。将来のごみ排出量の増加割合は、開発区内の人口成長要因と経済成長要因（IPCC基準参照）から、それぞれ、8.1%と1.53%となり、年率10%（2010年まで）と計画した（2011年以降は5%）。運開後5年目で日400tonとなり、これを計画処理量とした。内訳は、下水汚泥：100tonと都市ごみ：300tonである。

3.3 処理システムとバイオガス生産量

有機系廃棄物の種類とバイオガス発生ポテンシャルは、高いほうから、

$$340\text{Nm}^3/\text{ton} = \text{可燃ごみ（紙ごみ等）} > \text{厨芥類} > \text{汚泥} = 50\text{Nm}^3/\text{ton}$$

である。従って、水分が多くバイオガス発生量の少ない汚泥は、発酵槽などを大規模化させるデメリットが大きいので、堆肥化装置に直接投入することとする。また、これにより、比較的水分量の少ないごみ種が中心となるので乾式のメタン発酵装置を採用した。このシステムは、規模効率が良いことと、排水が生じないので処理設備費・運転費が不要になる、という特徴を有する。

バイオガスの発生量の内、約半分量が余剰バイオガスとして販売可能である。

	バイオガス	蒸気用	堆肥化用	余剰バイオガス
バイオガス (Nm ³ /日)	40,950	5,220	16,000	19,730
熱量 (GJ/日)	806	103	315	388

3.4 プロジェクト建設費と運営収支

作業項目	数量	金額 (千元)	備考
建設費	一式	306,600	
エンジニアリング・サービス費用	4%	19,500	
合計		326,000	

事業運営収支計画

	支出項目	金額 (元/年)		収入項目	金額 (元/年)
1	人件費	1,089,600	1	堆肥販売	1,854,000
2	電気代	2,703,500	2	バイオガス販売	9,362,000
3	機械燃料費	1,099,000	3	廃棄物輸送削減効果	1,533,000
4	薬品費：脱硫材	1,100,000	4	処分費削減効果	1,460,000
5	機器補修費ほか	1,861,100	5	ごみ処理料金徴収	4,380,000
	支出合計	7,749,000		収入合計	18,589,000
		運営利益		+10,840,000元/年	

3.5 GHG排出削減量

#	項目	年間排出量 t-CO ₂	備考
1	ベースライン排出量	224,000	計画ごみ排出量 400t/日の場合
2	都市ガス燃料代替による削減量	7,200	
3	プラント設備・照明用電力使用による排出増加	-6,400	
4	堆肥化設備燃料消費による排出増加	-910	
	ベースライン排出量-プロジェクト排出量=	224,000	

#1には埋立地のメタン回収量 2,860t-CO₂が控除されている

3.6 プロジェクト期間と炭素排出権取得期間

プロジェクト期間は、主要設備であるメタン発酵装置の設備耐用年数をもとに15年、炭素排出権の取得期間は10年間（固定）とした。長期に設定するほど事業リスクなども大きくなる傾向があり、7年は短過ぎ14年（更新1回）は長過ぎると判断した。

3.7 経済評価

この事業は炭素排出権の価格期待値がUS \$ 15の時、プロジェクトIRRは18.9%となり、投資回収年は5年と試算される。VE（バリューエンジニアリング）等による10%建設費コストダウンの場合は、US \$ 13レベルでもIRR15.5%（投資回収年6年）となるので、コストダウンの効果は大きい。

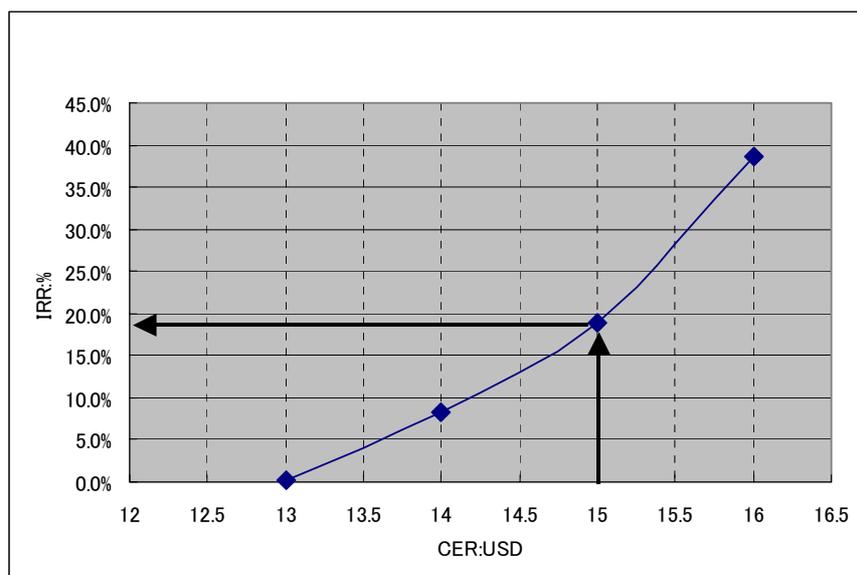


図2 CERとIRR

3.8 資金計画

炭素排出権の取得目的の資金は、一括前払い各年配分として、CER価格＝US \$ 15.0
 2,284,000t-CO₂で2.7億元（全体の83%）、ホスト側資金0.56億元（17%）となる。この資金は日本の政府系金融機関から融資を受けるものとする。6年償還（1年据置）、年利1.5%（グラント・エレメントは25%未満）として、民間金融機関との協調融資も有り得る。日本側の投資は、日本政府の事業補助制度（炭素排出権の買取）、（仮）日本版炭素基金、民間企業などで構成される。民間企業のうち、炭素排出権を希求する業種は、金融・証券・商社はもとより、電力・石油・自動車部品・電気電子工業などの業界であり、経済状況によっては（成長が著しい場合）、これに自動車や鉄鋼業界も加わる可能性も期待できる。

3.9 事業実施体制

事業の実施に当たっては、国計委等の「都市ごみ処理産業化意見」・外資企業法を根拠に、BOT方式の独資企業形態をもってCDM事業を実施することが出資側にとっても開発区にとっても有利であると考えられる。日本側の出資者は共同で現地法人を設立し、ここを通じて独資企業に出資する。この出資は、将来の排出権の買取を前提にした初期一括払いの形態が望ましい。残余の事業資金は、公的及び民間金融機関の協調融資を利用する。CDM事業は、「特別のプロジェクト」に該当すると考えられ、総投資額と登録資本との比率などは、対外貿易経済合作部などとの協議を要する。管理委員会とCDM事業体とは、特別許可経営の契約を締結して、8年以内の事業移管期間を定めて、事業を実施する。ごみ処理料金の徴収・メタンガスの供給販売・グリッド電力の供給・技術移転についても管理委員会が仲介して約定し、必要な価格優遇を適用する。技術移転はCDM事業の重要要件の一つであり、運開後1-2年以内の確実な実行が不可欠である。

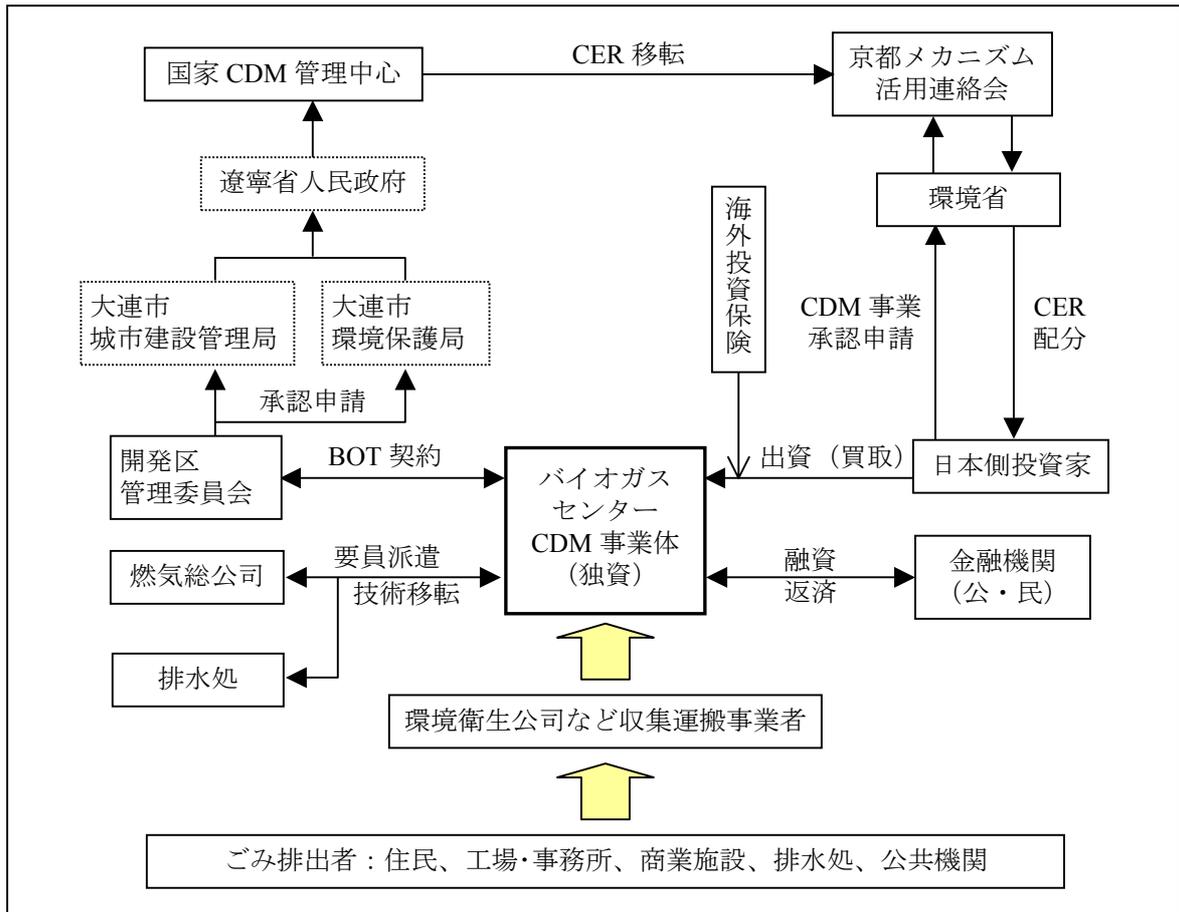


図3 事業実施体制案

3.10 事業実施スケジュール

事業実施のスケジュールは、以下のとおりである。大連市の焼却発電事業の本格運開に遅れること約半年後の事業開始となるが、CDM事業特有の国家承認や有効化審査などが半年程度は必要と考えられる。

#	作業項目	暦年	2004年	2005年	2006年	2007年
1	FS-PDD案作成		→ 3			
2	PDD最終化		■ (2)			
3	PDDの承認、有効化		(6) ■■■■			
4	事業計画&投資家募集			■■■■ (5)		
5	FS申請、事業会社登記			■■■■ (6)		
6	日中政府CDM事業承認		■ (2)			
7	実施設計			■■■■ (5)		
8	建設、試運転			(12) ■■■■■■■■■■		
9	運転開始				● 10 →	
*	(大連市焼却場操業)			10 ◆ ←		

() 内数字は所要月数

* 約6ヶ月の試運転調整後、本格操業開始予定

#3、#5、#6は最短の月数

3.11 事業実施上のリスクと対策

CDM事業には、通常の事業リスクのほかに京都議定書リスクが認められる。この内、政府認証リスクとしては、中国政府が、CDM事業管理運営暫定弁法を現行通り正式化し、厳密な実施運用を行なった場合、本事業が前提にしているBOT方式—独資企業形態が障害となる可能性が大である。しかしながら、同じ国務院が出した「都市ごみ処理産業化」意見には合致している。従って、リスク回避の観点からは、暫定弁法の段階でCDM担当部局に事前申請を行い、大連および開発区の地域ニーズを含めて伝達することが重要と考えられる。中国企業または、中国側出資51%以上のCDM事業体には日本側投資家が出資を躊躇する可能性が大きい。

この他にUNFCCCの新方法論承認、DOEによるバリデーション、登録などの手続に関するリスクが考えられる。これは、想定以上に期間を要することや排出削減量を減じられることなどである。事業開始時期の遅延に伴って、管理委員会にごみ処理上の障害が生じる。ホスト側がこのリスクを低減するには、大連市当局と、開発区自前の処理施設運開の遅延に伴う、市処理施設による廃棄物受入を打診し、事前了解を得ておくことが有効である。

廃棄物処理事業特有の事業リスクとして、経済成長の鈍化により廃棄物量が計画通りに集まらない、計画した組成と異なる（有機炭素率が低下、ガス発生量が減少）、分別排出が普及せず分別コストが上昇する、などが考えられる。大連市の焼却炉との連携を求め、有機系廃棄物（市から）とプラスチック類（開発区から）との相互融通などの協議を行なうこと、分別排出の普及徹底を図ること、などが必要である。

4. 事業設計書（PDD）案の概要

4.1 ベースラインの考え方

- ・ 方法論名称 都市生活ごみ処理におけるバイオガス生産・都市ガス燃料代替、中国
- ・ 方法論の選択 マラケシュ・アコード48 (b)
投資に対する障害を考慮し、経済的に魅力的となる技術からの排出
- ・ 方法論の適用

大連市の経済技術開発区は、中国国内初の国家級経済技術開発区として1984年来、工業団地のインフラ建設・運営・管理、企業誘致、外資導入、税の徴収などの行政機能・工業団地運営機能を担ってきている。市の都市廃棄物管理規則により、区独自の廃棄物処理システムの構築を迫られている。中国建設部の廃棄物処理に関する技術指針は、「衛生埋立」「焼却」「堆肥化」の3種類であり、開発区はこの中から経済的に最も魅力的な技術を選択すると考えられる。

3者の経済性比較を行なった結果、建設費+運営費（10年間）の総額では、衛生埋立が最もコストが安い。これを補填できる処分費徴収水準も衛生埋立が最も低い。

	衛生埋立	堆肥化	焼却	焼却発電
建設費+運営費（億円）	1.191	1.822	1.984	3.388
上記を補填すべき処分費：元/t	82	125	136	232
積込・運搬費を加えた額：〃	105	148	159	255

これに現行の積込・運搬費の23元/tを加えた額が、廃棄物処理総額である。

衛生埋立以外では、区内の産業廃棄物処理費水準（100元/t）を大幅に値上げせざるを得ない。即ち、衛生埋立以外の方法では、開発区内の入居企業の廃棄物管理コスト・アップを招き、国際競争力に悪影響を及ぼす懸念が認められるのである。従って、プロジェクト無き場合は、開発区は衛生埋立を採用して独自処理を行なうと推定できる。更に、建設部制定の建設標準は埋立ガスの収集・処理を推奨しており、大連市内では世銀援助案件で既にこの方法を採用している。従って、メタンガスの回収はこの実施例の水準を踏襲することが合理的と考えられ、実測値を採用した。

ベースラインは、開発区内の都市ごみは埋立られメタンが発生し、一部フレア回収される以外は大気中に放散される、である。

このプロジェクトでは、ヨーロッパや日本において既に実績のある有機物のメタン発酵技術を中国に導入し、大連においてそのバイオガスを都市ガス燃料代替として供給し、副産物である発酵残渣を堆肥化して周辺地域の有機農業新興にも役立てる事業である。大連市内の一部で既に実施されている、都市ごみ処理における課金制度を開発区にも導入する。

● GHG排出削減量の計算式

$$\begin{aligned}
 \text{GHG排出削減量} &= \text{ベースライン排出量} - \text{プロジェクトによる排出量} \\
 &= (\text{有機廃棄物埋立によるメタン総発生量} - \text{メタン回収量 (50年間)}) \\
 &\quad - (\text{都市ガス供給代替によるGHG発生量 (一)}) \\
 &\quad + \text{プラント電力・使用によるGHG発生量} \\
 &\quad + \text{機械燃料消費によるGHG発生量)
 \end{aligned}$$

ベースライン排出量はIPCC Default式を採用した。

$$CH_4 = MSW_T \times MSW_F \times MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times Conv - R$$

上式におけるメタン修正係数（MCF）に関しては、管理型埋立処分場によるものとして、MCF=1.0を採用した。メタン回収量（R）は、有機廃棄物の長期の嫌気性分解期間として50年を採用し算出した。

- 炭素排出権取得期間中におけるGHG排出削減量は、下表の通りとなる。

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
①	293	322	354	390	409	430	452	474	497	522
②	176	193	212	234	245	258	271	284	298	313
③	163,900	180,100	198,000	218,100	228,700	240,500	252,800	265,100	268,400	268,400
合計 CER		2,284,000t-CO ₂								

①計画廃棄物量 (t/日)、②異物 (20%) 除去後の純有機物量 (t)、③計画 CER (t - CO₂)

4.2 モニタリング方法

モニタリングの対象データ等は以下のとおりであり、データの保管方法は、電子媒体・紙媒体両方であり、記録文書の保管期間は排出権取得期間の10年間とする。

データ種類	データ変数	同左単位	測定値/計算値/推定値	記録頻度	モニターされるデータの比率
GHG 排出量	搬入下水汚泥量	t/日	測定値	毎日	100%
	都市生活ごみ	t/日	測定値	毎日	100%
	異物除去量	t/日	測定値	毎週	100%
	汚泥の有機炭素割合	%	測定・計算値	毎月	サンプル
	ごみの有機炭素割合	%	測定・計算値	毎月	サンプル
	システム電力使用量	kWh/y	測定値	毎月	100%
	機械燃料消費量	㏩/日	測定値	毎週	100%
	バイオガス生産量	Nm ³ /日	測定値	毎日	100%
	ガス化率	%	計算値	毎週	100%
	バイオガス供給量	Nm ³ /日	測定値	毎日	100%
	堆肥生産量	t/日	測定値	毎日	100%
	堆肥中の肥料成分	%	測定値	年4	サンプル

4.3 持続可能な開発への貢献

京都議定書第12条に定められたCDM事業の要件、非付属書 I 国の持続可能な開発に貢献する本事業の適応性は以下のようなものである。

1. 中国における都市廃棄物処理の技術体系：埋立・焼却・堆肥化に加えてバイオガス生産技術を導入・技術移転して、都市環境インフラと循環経済のモデルを建設・普及させることで、中国都市部の発展に貢献できる。
2. 都市ごみ処理における民間活力・外資活用の産業化を促進して、地域雇用の確保、ごみ処理産業の高度化などに貢献できる。また、開発区周辺の農村部に有機堆肥を供給して、有機農業振興を促し、都市・農村の発展に貢献する。

3. 開発区内の入居企業1,800社の廃棄物処理コストの引き下げに寄与し、これら企業の国際競争力を高めることで、開発区の経済発展の持続性を高めることができる。
4. バイオマス利用の再生可能エネルギー技術として、中国の科学技術発展に貢献し、化石燃料消費を抑制する。
5. 大連市周辺の沿岸部のごみ埋立処理を回避でき、海洋汚染防止につながり、地域の水産業の持続可能性を高めることができる、などである。

5. 今後の事業推進

弊社としても、今後、事業の実現に向けて大連経済技術開発区管理委員会、大連市（城市建设管理局や環境保護局）、遼寧省環境保護局、国务院国家発展計画委員会などにより具体的な協議を行っていく予定である。

本調査成果に基づく事業の推進によって、著しい経済成長を続け我が国との緊密な関係が一層深まりつつある中国沿海部の大都市における環境・エネルギー問題解決と、日中両国によるCDMプロジェクトの実現に貢献したい。