

CDM/JI 事業調査及び温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査
「カザフスタン国における下水汚泥等を活用したバイオガス発電事業調査」
報告書概要版

(1)プロジェクト実施に係る基礎的要素

提案プロジェクトの概要と企画立案の背景

中央アジア最大の国、カザフスタン共和国の首都アスタナ市の人口は、アルマティ市から遷都した 1997 年には 27 万人であったが、2004 年 6 月 1 日現在で 51 万 7,500 人であり、2030 年には 100 万人に達するとの予想もある。

こうした急激な人口増加に伴い、首都アスタナ市では廃棄物処理場の不足や、下水処理場の老朽化・機能低下による環境問題の発生が国際協力事業団（JICA）の「カザフスタン国アスタナ新首都総合開発計画調査（上下水道 F/S）」等にも報告されてきており、これらを受けて国際協力銀行（JBIC）による「アスタナ上下水道整備事業」が実施されている。

本プロジェクトは、アスタナ市下水処理場に嫌気性共発酵システムを導入し、発生するバイオガスを利用する発電設備を設置し、上記環境問題の緩和および JI プロジェクトの実現を目指すものである。

当初計画では、アスタナ市下水処理場において汚泥処理に使用される嫌気性消化槽を利用し、これに周辺食品工場、畜産加工業者等からの有機性廃棄物を加えて嫌気性共発酵システムを形成することとしていたが、調査を進めるに従い、遷都から日が浅いためアスタナ市およびその周囲には、それ程多くの食品工場、畜産加工業者等が存在しないこと、スペインの援助で新たな廃棄物処分場が建設中であり LFG のフレア処理を予定していることなどが判明し、計画を見直さざるを得なくなった。

本報告書では、有機物の収集については、アスタナ市で検討が開始されている廃棄物の分別回収の開始を想定し、これにより回収した有機廃棄物と下水汚泥による嫌気性共発酵システムを利用する計画としている。

ホスト国の概要

以下にカザフスタン国の一般概要を示す。

- 国名 : カザフスタン共和国 (Republic of Kazakhstan)
- 首都 : アスタナ (Astana)
- 面積 : 2,717,300km² (陸地 : 2,669,800km², 湖・川 : 47,500km²)
- 気候 : 大陸性気候, 厳しい冬と暑い夏, 乾燥または半乾燥地
- 人口 : 14,862,500 人 (2002 年 12 月)
- 民族構成 : カザフ人 53.4%, ロシア人 30.0%, ウクライナ人 3.7%, ウズベク人 2.5%, ドイツ人 2.4%, タタール人 1.7%, ウイグル人 1.4%,



図 1 カザフスタン共和国

ベラルーシ人 0.7% , 韓国・朝鮮人 0.5% (1999年3月)

人口増加率 : 0.17% (2003年)

言語 : カザフ語 (国家語) , ロシア語 (公用語)

宗教 : イスラム教 (スンニ派が優勢) 47% , ロシア正教会 44% , プロテスタント 2% , その他 7%

天然資源 : 石油 , 天然ガス , 石炭 , 鉄鋼石 , マンガン , クロムニッケル , コバルト , 銅 , モリブデン , 鉛 , 亜鉛 , ポークサイト , 金 , ウラン

通貨 : テンゲ (Tenge) (131 テンゲ / ドル (2004年11月))

ホスト国の CDM/JI の受入のクライテリアや D N A の設置状況など , CDM/JI に関する政策・状況

カザフスタン国は , 1992年に気候変動枠組条約に署名し , 1995年にナザルバエフ大統領が正式に条約を批准した。1998年のCOP 4 では自主的に排出量を削減する意志があることを表明し , 同年 , UNFCCC 下の Initial National Communication を提出している。

1999年3月には , 非附属書 国 , 且つ , 京都議定書における非附属書B国として京都議定書に署名したが , 同年4月には , UNFCCC に対し附属書 国移行の意図を伝えている。

カザフスタン国は , 2006年には定量削減目標を設定し , 第一約束期間に間に合うよう附属書 国に移行することを目標としており , それに先行し , 2002年からGHG削減プロジェクトに取り組むことが決定されている。

京都議定書の署名後 , カザフスタン国では省庁間委員会やワーキンググループが組織され , 批准に向けた課題が議論されてきている。

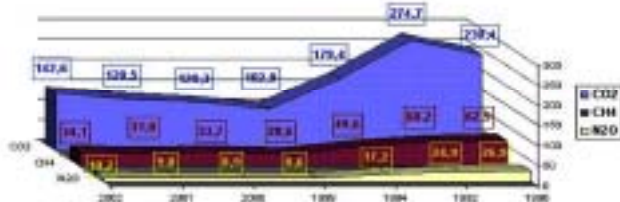
省庁間委員会 (2004/4設置) の目的は , UNFCCC に対する京都議定書の批准 , UNFCCC 下のカザフスタン国の義務遂行 , 国際的な気候変動に関する協議 , 共同プロジェクトによって国内のGHG 排出削減を目指す活動の実施に関わる意思決定において省庁間の調整を行うことであり , これまで附属書 国移行に向けた課題 , GHG 排出量削減メカニズム等について , 議論が進められてきている。省庁間委員会の下には , 実働機関として気候変動コーディネートセンターが置かれ , 前述のワーキンググループの事務局としても機能している。

「カザフスタン国の産業・革新発展に向けた戦略 (2003~2015)」 (2003/5) では , GDP の向上 , 産業の多様化が謳われている。省庁間の議論では , 経済目標の達成と附属書 国への移行に伴う排出削減義務量の設定との兼ね合いなどが議論となっているが , 一方で , カザフスタン国は



Energy Intensityを2倍に引き上げることを目標に挙げており、これはエネルギー効率を向上させることに他ならず、経済発展とGHG削減との両立を目指すこととしている。そのため、外資や新技術を導入したいと考えており、有望な選択肢の一つとしてバイオガスの利用を含む再生可能エネルギーの開発が挙げられている。

図 - 3 1992年から2002年までのGHG排出量

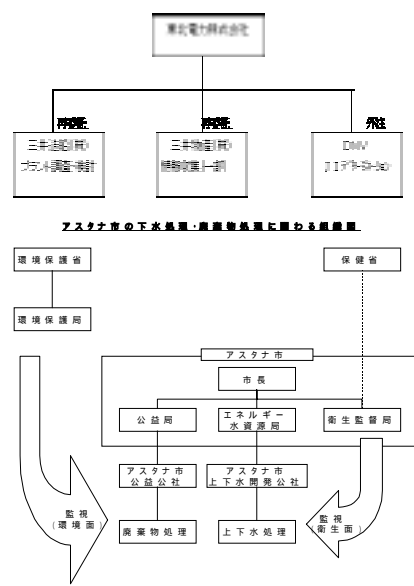


調査の実施体制（国内・ホスト国・その他）

本調査の日本側実施体制は以下のとおりであり、バイオガス発電プラントの調査検討について三井造船株式会社に、一部の現地情報収集について三井物産株式会社に再委託を行った。また、PDD案の有効化審査（JIデターミネーション）については、DNV（Det Norske Veritas AS）に外注し実施した。

カザフスタン国内では、三井物産株式会社アルマトゥイ事務所の協力の下、気候変動コーディネートセンターの協力を得ながら調査を実施した。

なお、本事業の直接のカウンターパートとなるアスタナ市の各局、傘下の公社も概ね調査には協力的であった。



(2) プロジェクトの立案

プロジェクトの具体的な内容

本プロジェクトは、アスタナ市において分別回収された有機廃棄物と下水処理場から発生する下水汚泥を同一の発酵槽に投入し、共発酵させることにより、メタンガスを回収し発電を行うプロジェクトである。

このプロジェクトにおいて削減できる GHG ガスは次のとおりである。

- ・ 従来であれば廃棄物処分場で嫌気性発酵し大気中にメタンを放出する有機性廃棄物を嫌気性発酵槽に投入することによる廃棄物処分場の LFG の削減
- ・ 下水汚泥と有機性廃棄物によりメタン発酵槽から発生するメタンガスを利用した発電による系統電力削減による CO₂ 削減

なお、アスタナ市の下水処理場を含む円借款事業「アスタナ上下水道整備事業」（以下「JBICプロジェクト」）が2003年7月に供与されており、本プロジェクトは同事業の実施を前提とし、既存のシステムに大きな影響を与えない系統ならびに設備を採用している。

プロジェクトシステムは、アスタナ市において埋立て処分場に搬入される一般廃棄物のうち共発酵槽に受け入れ可能な有機性廃棄物（食品廃棄物）を年間 60,130 受け入れる設備とし、

下水処理場における下水流入量は処理量 136,000m³/日としてガス量を算定した。その結果、固形廃棄物由来、下水汚泥由来のガス発生量は、それぞれ 7,235Nm³/日 11,125m³/日である。

・受入供給設備 (生ごみ)：受入 破碎・分別 貯留(可溶化) メタン発酵設備へ
・メタン発酵設備 (生ごみ可溶化液)：投入調整 中温メタン発酵 貯留 汚泥処理設備へ (バイオガス)：ガス回収 脱硫 貯留 エネルギー・回収設備へ
・汚泥処理設備 (消化汚泥)：調質 脱水 処分先へ 脱水分離液は、下水処理場へ
・エネルギー・回収設備 (バイオガス)：ガス発電 電力生成 (廃熱) 温水生成

以上により、ガス発生量から算出される日平均発電電力量は、30.07MWh となり、平均発電出力は 1.25MW となる。本プロジェクトのフローは、受入供給設備 メタン発酵設備 エネルギー・回収設備 汚泥処理設備という流れになる。

次頁に機器配置図を示す。

プロジェクト境界・ベースラインの設定・追加性の立証

・プロジェクト境界

本プロジェクトにおいて、プロジェクトバウンダリーは下水処理場の中にプロジェクト設備を設置することから、右図のようになると考えられる。

なお、廃棄物を分別し、下水処理場内にある嫌気性発酵槽まで搬入する行為は、行政の役目であり当該プロジェクトのプロジェクトバウンダリーとしない。

・ベースラインの設定・追加性の立証

現在のアスタナ市では、廃棄物は一括収集され、有機、無機廃棄物も一緒に埋立地に搬入され、衛生埋立後に LFG フレア処理が行われている状況であり、下水処理場の下水汚泥は、消化槽にて嫌気性発酵され、バイオガスはボイラの燃料として冬季に利用されている。この状況をふまえ、シナリオとして考えられるのは、次の 1 2 のシナリオである。

表 1 想定シナリオ

ケース	収集されたごみ	下水処理場
1	一括収集後埋立処	埋立て処分を行い、発生した LFG をフレア処理
2		埋立て処分を行い、発生した LFG は埋立て処分場内で発電に利用される。
3		埋立て処分を行い、発生した LFG の処分場以外への提供
4		埋立処分場のうち、分別回収または工場からの有機物を用いて、有機物の堆肥化
5		可燃物の焼却処分
6		埋立処分場のうち、分別回収または工場からの有機物を用いて、下水処理場への有機物の搬入
7	埋立処理以外の処	下水汚泥によるメタン発酵
8		下水汚泥によるメタン発酵
9		下水汚泥によるメタン発酵
10		下水汚泥によるメタン発酵
11		下水汚泥 + 有機廃棄物によるメタン発酵
12		下水汚泥 + 有機廃棄物によるメタン発酵

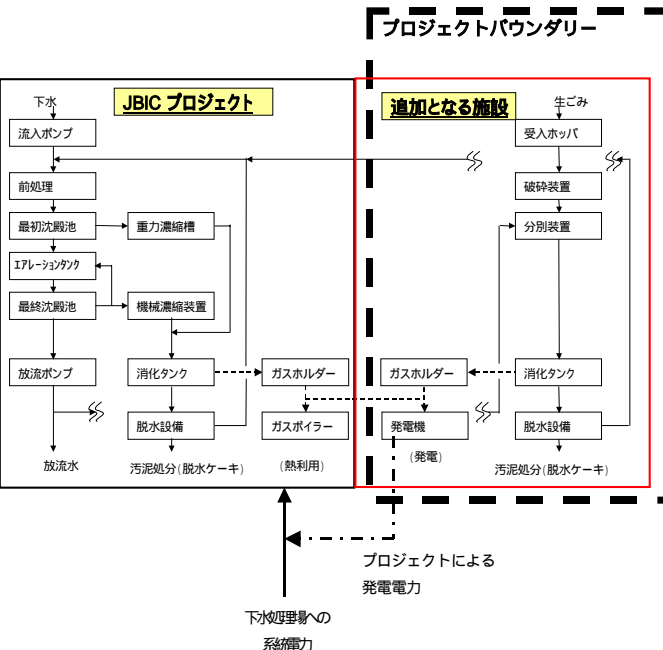


図 6 プロジェクトバウンダリー

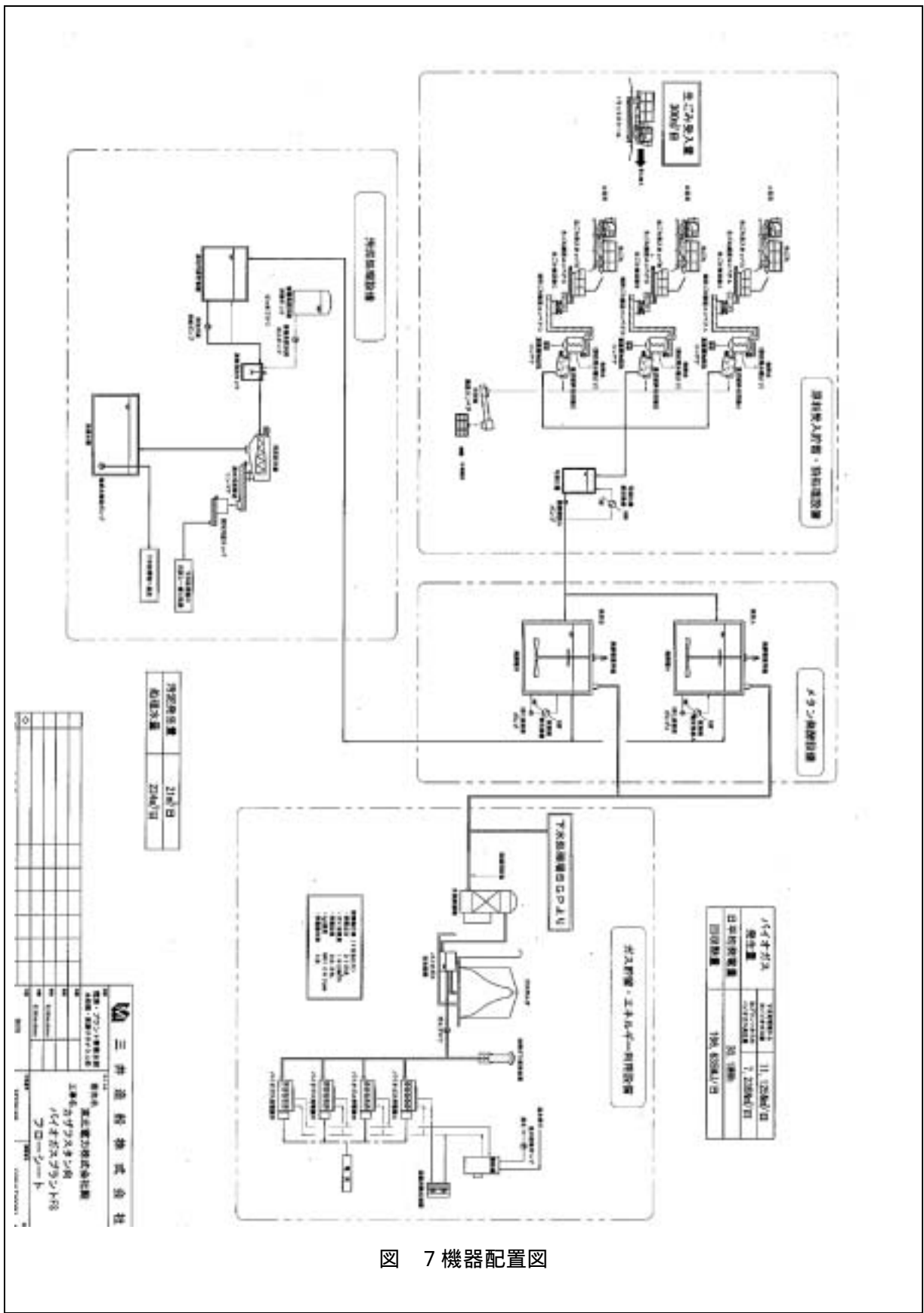


図 7 機器配置図

想定されるシナリオの概略図を以下に示す。

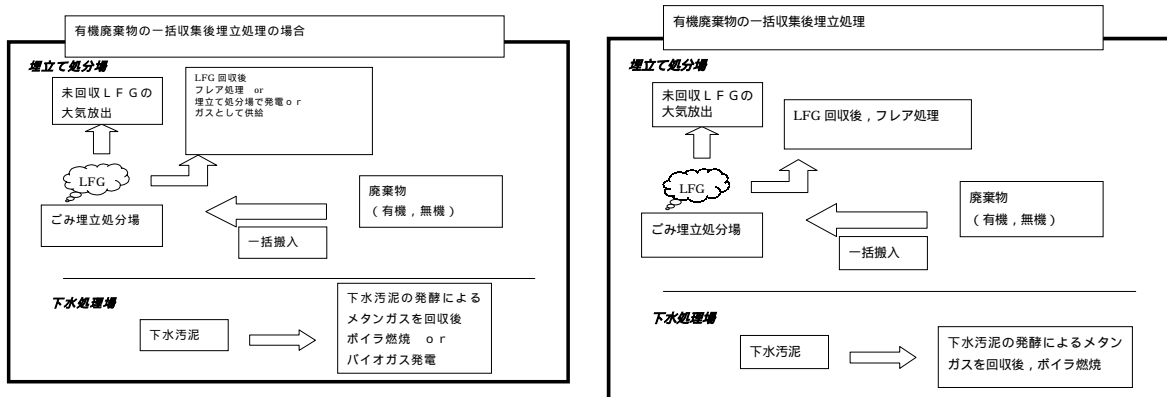


図 8 想定シナリオ（左および左下）とベースラインシナリオ（上）

この 12 のシナリオからベースラインを想定することとなる。

法律・制度，技術的バリア，投資バリア，環境影響，地域性，市場障壁を考慮し，各項目を検討した結果として案 1 をベースラインシナリオとした。

ベースラインとした案 1 のシナリオは「廃棄物は一括収集後，埋立て処分され，発生したメタンガス（以下 LFG）はフレア処理される。また，下水汚泥は嫌気性発酵させ，発生したメタンガスはボイラにて燃焼される。」である。

・追加性の立証

プロジェクトシナリオについては，案 12「廃棄物のうち，分別回収または工場からの有機物を下水処理場へ搬入し，その有機廃棄物は下水汚泥と一緒に下水処理場の嫌気性発酵槽に投入され，発生したメタンガスは発電に利用される。」とする。

このプロジェクトシナリオは，ベースラインシナリオと比較して，技術的バリア，投資バリアで劣っている。しかし，JI プロジェクトを実施することにより，技術的バリアは技術指導などによりバリアを超えることができ，投資バリアについては，CO₂ クレジット売買によりバリアを低くすることができる。このことにより追加性がある。

プロジェクト実施による GHG 削減量(CO₂ 吸収量)及びリーケージ

プロジェクトシナリオは，下水汚泥および有機性廃棄物を嫌気性発酵槽で共発酵させ，発生したメタンガスによる発電システムを導入するシナリオである。

このプロジェクトにおいて削減できる GHG ガスは次のとおりである。

- ・ 廃棄物埋立処分場の回収システムから漏れてフレア処理されず大気中に放出されるメタンを発生する有機性廃棄物を，嫌気性発酵槽に投入することによる LFG の削減
- ・ 下水汚泥と有機性廃棄物によりメタン発酵槽から発生するメタンガスを利用した，発電によ

る系統電力削減による CO₂ 削減

プロジェクトを実施した場合の GHG 排出量は以下の式で計算される。(詳細計算は本報告書を参照)

$$\text{GHG 削減量} = \text{ベースライン GHG 排出量} - (\text{プロジェクト GHG 排出量} + \text{リーケージ})$$

$$= 73,923 [\text{t-CO}_2/\text{年}]$$

ここで、 ベースライン GHG 排出量 = 67,200 ; プロジェクト GHG 排出量 = -6,798
リーケージ = 75 (運搬による)

なお、当初想定では、アスタナ市における固形廃棄物の処分状況から、GHG 削減量を約 16 万 t/年と計算していたが、調査の過程でスペインの援助を受けた新埋立て処分場建設が進められていることが判明し、想定条件が変更となり GHG 削減量が減少する結果となった。その結果として、GHG 排出削減量を減少側に大きく見直さざるを得ず、本プロジェクト実施に向けての CO₂ クレジット収益性の面で大きな影響を及ぼした。

モニタリング計画

モニタリングに当たっては、GHG 削減量が正確に積算できるようにデータの計測が重要となる。モニタリング計画の概要図は以下のとおりとなる。

環境影響/その他の間接影響 (植林の場合、リスク調査結果も含む)

本プロジェクトにおいて想定される具体的な環境影響として

は、バイオガスを用いるガスエンジンを設置し運用することから、騒音あるいは振動の問題が想定される。また、有機性廃棄物を下水処理場に受け入れることから、有機廃棄物からの異臭の問題が想定される。

しかしながら、対策を行うことで環境影響を十分に低減することが可能である。その対策について、以下にまとめた。

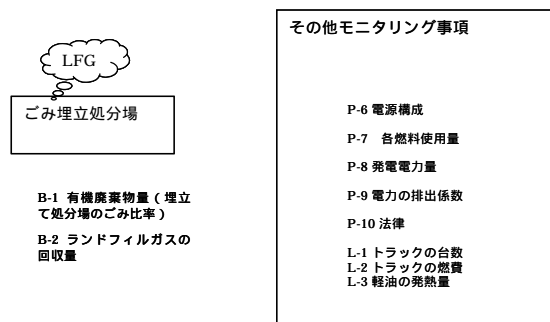
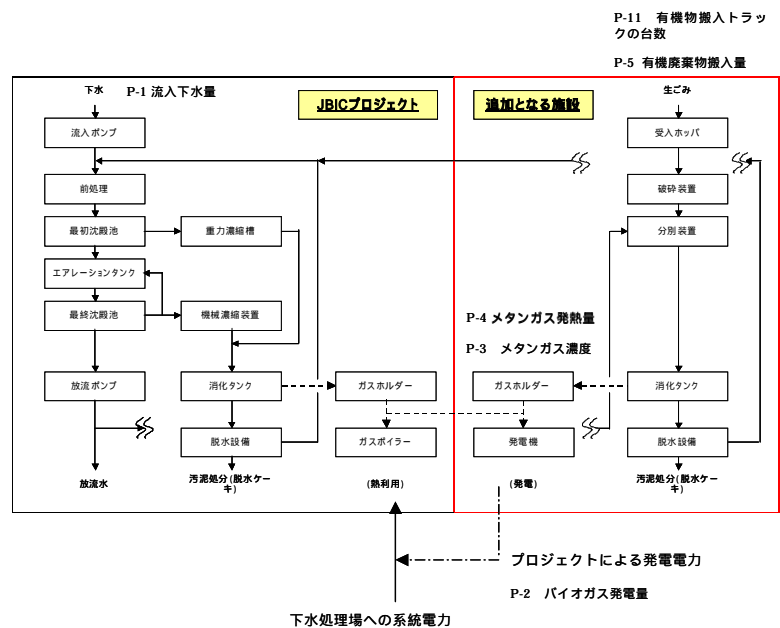


図 9 モニタリング概要

表 - 2 環境影響と対策

環境影響が想定される項目	問題点と対策
・ガスエンジンの設置による騒音、振動の問題	エンジンが小型のものを屋内に複数設置することから、騒音、振動の問題は少ない。
・ガスエンジンの排気ガス	環境影響の特定と評価を行う必要があるが、小型のガスエンジンであり、排出総量が少ないことから、追加的な対策は不要と推定される。
・有機廃棄物搬入時の悪臭について	脱臭装置などの設置で解決できる。

利害関係者のコメント

・周辺住民

現在、インタビューを行ってはいないが、基本的には、周辺環境の改善効果が期待できプロジェクトの実現化に対して、周辺住民としては肯定的であると推定される。

・地域配電会社

アスタナエネルギー社は、本プロジェクトに対して大変友好的であり、仮に売電を行うのであれば、是非、当社に相談して欲しいと回答を得ている。

・下水処理管理会社および固形廃棄物処理会社

アスタナ市においては、下水処理管理会社は、ASA社、固形廃棄物処理会社はゴルコムホーズという会社がある。両者とも本プロジェクトに興味を示しているが、具体化に向けては、本プロジェクトに関する理解を更に深めるよう働きかけていく必要がある。

・自治体

アスタナ市は、首都アスタナ市開発マスタープランにしたがい、家庭や工場から発生する固形廃棄物収集方法の質を国際レベルにまで高める取組みがなされており、本プロジェクトに対して前向きな姿勢を示している。

(3)事業化に向けて

プロジェクトの実施体制（国内・ホスト国・その他）

以下に本バイオガス発電事業を実施する場合の想定スキーム例を示す。

この事例では、プロジェクトファイナンスによるIPP形態による実現を想定している。本事業のキーパートナーであるASA、公益公社の参加が、本スキーム実現の鍵である。

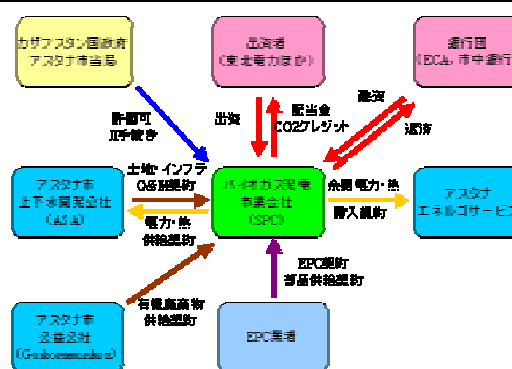


図 - 10 バイオガス発電事業の想定スキーム例

プロジェクト実施のための資金計画

プロジェクトの所要資金は、プロジェクトファイナンスにより調達することで計画する。

本計画では、プロジェクトファイナンスにおける出資・負債の割合を3：7とし、出資金はカザフスタン共和国側企業及び日本側企業で拠出。借入金は、カザフスタン側金融機関の外貨融資能力を考慮し、その全額を日本国の金融機関から調達することで検討を行う。

表 - 3 ファイナンス・ストラクチャー（単位：1,000US\$）

所要資金		資金調達	
EPC 費用	12,970	出資金	4,234
開発費用	130	借入金（ECA）	5,928
操業準備費用	200	借入金（商業銀行）	3,952
その他費用	6		
初期運転費	230		
建設中金利	380		
財務経費	198		
事業費計	14,114	調達資金計	14,114

借入金は、国際協力銀行の投資金融制度を可能な範囲において活用することとし、同制度でカバーできない部分について日本国内の商業銀行からの融資により調達する方針とした。

資本金については、東北電力(株)に加え、今後プロジェクトの開発を進めていく段階で同国の各種事情に精通している日系商社などに出資を呼びかけることとする。

また、本プロジェクトの成功のため、アスタナ市上下水開発公社やアスタナ市公益公社にも、出資を含めた何らかの参画を働きかけていくこととする。

費用対効果

本プロジェクトの事業性評価は、(1) 財務分析（クレジット価値未考慮 クレジット価値考慮 当初想定ベースライン）(2) クレジット原価（現ベースライン 当初想定ベースライン）により実施した。

検討の結果、現ベースラインでは、本事業をプロジェクトファイナンスを利用したJI プロジェクトとして実現できる可能性は低いとの結果となったが、同時に、異なるベースラインを設定できるケースについては、十分な実現可能性があることを示す結果となった。

(1) 財務分析

表-4 財務分析結果

項目	クレジット未考慮	クレジット考慮	当初想定ベースライン
内部収益率 (Project IRR)	計算不能	計算不能	12.10%
自己資本内部収益率 (Equity IRR)	計算不能	-1.00%	17.90%
投資回収期間	N.A.	N.A.	7年
NPV	-12,609千US\$	-10,167千US\$	109千US\$

割引率は、S&P格付けが同等のフィリピン10年国債を参考に12%とした。

なお、単位発電量当り CO₂削減量は、プロジェクトケースで 8.15t- CO₂/MWh、廃棄物処分場においてフレア処理がない当初想定ベースラインケースで 53.86t- CO₂/MWh、CO₂ クレジット価値は 5 US\$/t- CO₂とし、財務分析上の CO₂クレジット獲得期間は、20年間とした。

(2) CO₂クレジット原価

原価の算定に当たっては、GHG削減活動に必要な出資金、借入金返済額等の NPV を、発生 CO₂量で除し、発電事業によるプロジェクトキャッシュフロー（営業による利益）の考慮・未考慮の2通りで検討した。なお、実施中の NEDO モデル事業に倣い、発生したクレジットはすべて出資者に帰属するものと仮定した。

その結果、現ベースラインで 11.96 ~ 11.97 US\$/t- CO₂、当初想定ベースラインでは、1.81 US\$/t- CO₂となった。

具体的な事業化に向けての見込み・課題

本プロジェクトは、アスタナ市における廃棄物の分別回収実現を前提としているためその具体化は、分別回収に関する検討の進捗に依存する。しかし、アスタナ市では、首都アスタナ市開発マスタープランにしたがい、家庭や工場から発生する固形廃棄物収集方法の質を国際レベルにまで高める取組みがなされているところであり、分別回収が近い将来に実現される可能性は高いと考えられる。

アスタナ市においては、新廃棄物処分場計画によるベースライン上の問題があり、事業実現に向けた大きな障壁となることが判明している。調査開始後にこれらの事情が判明したことは残念であり、今後は、現地事情に対する事前調査を更に充実させることとしている。

一方で、本プロジェクトスキームは、ベースライン上の問題が無ければ、アスタナ市と同様な課題を抱える他都市についても応用が可能であり、本調査の中でも、新たな候補地点として、アルマティ市とカラガンダ市の状況についても確認している。

その結果、カラガンダ市においては、下水処理場におけるバイオガス利用可能性と廃棄物処分場における LFG 利用の可能性があり、本スキームの適用も可能であることが判明した。また、アルマティ市においても、下水処理場でのバイオガス利用可能性があることに加え、廃棄物の分別回収が開始されており、本事業スキームの適用可能性があることが判明した。

これら地域において、本事業スキームを適用するか、個別の要素事業として実施するかについては、事業の経済性を勘案しながら検討することとする。

また、このほかにも、カザフスタン国では、代表的産物である小麦殻の利用、鶏糞の利用、畜産業における家畜糞尿利用等、バイオマス利用のポテンシャルは高く、これらの検討を進めることとしている。

(4)バリデーション/デターミネーション(本プロセスを行った場合)

バリデーション(デターミネーション)又は、デスクレビューの概要

ホスト国であるカザフスタン共和国は、JI 国として京都議定書を批准する予定としており、現在、国内の調整を進めている状況である。カザフスタン共和国は、自国の温室効果ガス排出量を正確に把握する体制が整いつつある。しかしながら、その体制が整わずに京都議定書に批准する可能性も否定できない。そのため、今回は、「第2トラック」と呼ばれる CDM における CDM 理事会と指定運営組織と類似した第三者機関による検証プロセスを受けるために、PDD を作成し、DOE に検証を依頼している。

OE とのやりとりの経過

1月上旬、PDD を DOE に提出し、1月26日に DOE (DNV) のインタビューを受け、DNV に依頼してデターミネーションが終了している。