

平成16年度CDM / JI事業調査

カザフスタン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

平成17年3月

東北電力株式会社

調査の背景，目的及び概要

調査背景

本報告書は，財団法人地球環境センター（GEC：Global Environmental Centre Foundation）から，東北電力株式会社（Tohoku Electric Power Co., Inc.）が平成16年度事業として受託したCDM/JI事業調査に係るフィージビリティ調査「カザフスタン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」の成果を取りまとめたものである。

1997年12月に京都において開催された国際連合国際気候変動枠組条約（UNFCC：The United Nations Framework Convention on Climate Change）第3回締約国会議（COP3：The 3rd Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change）において，二酸化炭素をはじめとする温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）による地球温暖化防止のため，温室効果ガスの排出量を，先進国では2008年から2012年の平均排出量を1990年比で約5%削減することを目標とする京都議定書（Kyoto Protocol）が採択され，これにより，日本の削減目標は1990年比6%削減となった。

京都議定書には，国際的に協調してGHGの排出削減目標を達成するための柔軟性措置（京都メカニズム：Kyoto Mechanism）が盛り込まれ，「排出量取引」（Emission Trading）に加え，具体的なGHG削減プロジェクト実施を促進する手法として，先進国（「気候変動枠組条約」の附属書I国）と途上国（同非附属書 国）間に適用される「クリーン開発メカニズム」（CDM：Clean Development Mechanism），及び先進国間に適用される「共同実施」（JI：Joint Implementation）の導入が決定された。

京都メカニズムを含む京都議定書の運用ルールは，2001年7月のドイツのボンでのCOP6再開会合で大枠合意され，同年10～11月にモロッコのマラケシュで開催されたCOP7において最終合意がなされた（「マラケシュ合意」）。これを受け，2002年6月4日に日本は京都議定書に批准し，74番目の締約国となった。

京都議定書の発効を巡っては，2001年に米国が離脱を表明，ロシアも態度を保留するなど不透明な事態が続いていたが，2004年11月5日にロシアのプーチン大統領が京都議定書の批准案に署名し，「批准先進国の合計排出量が1990年時点の55%以上となる」という発効要件を満たしたため，京都議定書は2005年2月にも発効する見通しとなっており，京都メカニズムを活用したGHG削減への取り組みは，ますます重要性を増している。

CDM/JIプロジェクトの中でも，メタンガスの排出抑制・有効利用プロジェクトは，メタンガスが二酸化炭素と比較して21倍の温室効果を有することから，その地球温暖化抑制効果の大きさと費用対効果の観点から，促進が期待されるものである。

東北電力は，2002年より実施中のNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）「熱電併給所省エネルギー化モデル事業（カザフスタン）」に関する実施可能性調査（2000年）を受託以来，カザフスタン国におけるJI事業の発掘・形成に積極的に取り組んできている。

本プロジェクトは、これまでの活動で培った気候変動コーディネーター等の現地関係者から、同国首都アスタナ市において廃棄物処理と下水汚泥の処理が爆発的な人口増加に伴い環境問題となっているとの情報を得て、これらの課題の解決とJ事業の実現を同時に可能とすることを目的として調査を実施したものである。

調査目的

カザフスタンにおいては、GHGの発生量のうち、メタンガスの占める割合は、約18%で二酸化炭素に次いで多い。また、総メタンガス発生量のうちの約5%廃棄物起因でありそのうち80%が固形廃棄物に、20%が下水に起因するとのデータもあり、排出量の削減が求められている。

カザフスタン国における固形廃棄物、下水の収集・処理は、各地方自治体傘下の公社が実施している。したがって、本調査では、これら固形廃棄物、下水の収集・処理の枠組みを明らかにし、その中で、下水汚泥や固形有機廃棄物を嫌気性処理して発生するメタンガス（バイオガス）を有効利用して発電や熱供給に利用する発電事業の事業性を検討すること、JIプロジェクトとしてのGHG削減に係る実現可能性を評価し事業実現に向けた課題を明らかにすること、及びカザフスタンにおける今後のJI事業の可能性について検討することを目的とする。

調査概要

本調査は、カザフスタン国の地球温暖化対策の取組み状況、固形廃棄物処理、下水処理に関する体制などの基礎的状況を調査するとともに、本プロジェクトの実施地点として選定したカザフスタン国の首都アスタナ市ならびにアスタナ市下水処理場におけるバイオガス発電事業の実現可能性調査ならびにJIプロジェクトとしてのGHG削減効果に関する評価を実施した。

調査項目は、以下のとおりである。

(1) 事前調査

プロジェクトに関連する情報・データに関する文献調査及び専門家ヒアリングなどを通じた既存データの収集、ならびに現地調査方法の検討。

(2) 現地調査

事前調査結果を踏まえ、必要な情報、データを収集。

(3) ベースライン方法論に関する調査

カザフスタン国の今後の政策などの現地の状況、当該分野における技術の普及可能性、CDM理事会で審議されている方法論などを踏まえたベースライン方法論を立案。

(4) プロジェクト実施期間/クレジット獲得期間に関する調査

温室効果ガス削減（や吸収量）の強化に繋がるプロジェクトの立案、ならびにベースラインの検討に基づくプロジェクト寿命の推計、プロジェクト実施期間/クレジット獲得期間の設定。

(5) モニタリング手法/計画に関する調査

- 当該プロジェクトにおける妥当なモニタリング手法の明確化とモニタリング計画の立案。
- (6) 温室効果ガス排出量計算に関する調査

現地調査での実測データやカザフスタン国が保有するあるいは国際的に認められているデフォルト値、パフォーマンス値を基に、プロジェクトバウンダリー内におけるプロジェクト実施ケースにおける温室効果ガス排出量を定量化。
 - (7) 環境影響に関する調査

本事業の特徴を考慮した影響を調査。
 - (8) その他の間接影響に関する調査

社会的、文化的、経済的等の側面における間接影響の検討。
 - (9) 利害関係者のコメントに関する調査

本事業の利害関係者へのヒアリング調査。
 - (10) 資金計画に関する調査

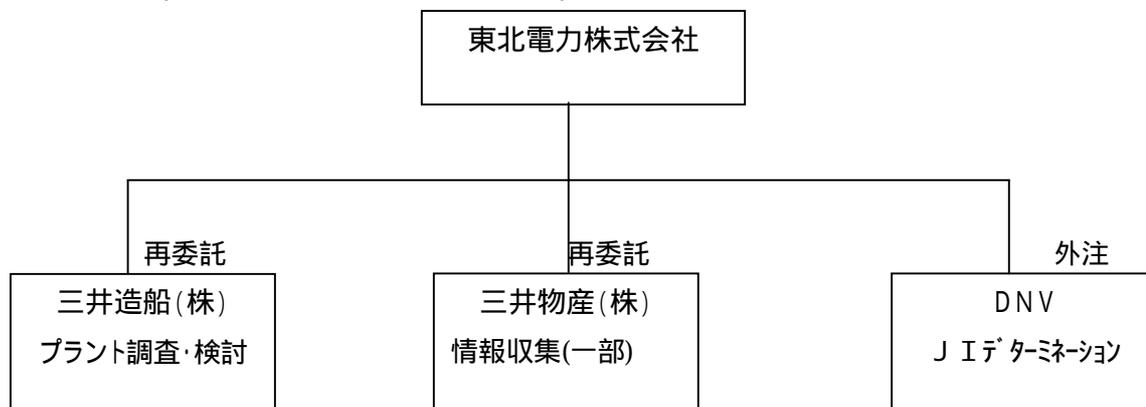
本事業を実施するために必要な経費や副収入を試算。J I 事業として具体化するための資金計画の立案ならびにプロジェクトの事業性を評価できる指標や費用対効果の試算による事業性評価。
 - (11) その他の調査

必要に応じ、CDM理事会やCOP10での決定事項に関して、プロジェクト固有の事項について必要な修正及び調査を行う。
 - (12) プロジェクト設計書(PDD)案の作成
 - (13) 仮の有効化審査の実施

プロジェクト設計書(PDD)案を基に、デスクレビューのみの有効化審査を実施。

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、一部の現地調査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、デット ノルスケ ベリタス エーエス(DNV: Det Norske Veritas AS)に外注し実施した。



本調査を担当した東北電力㈱の調査員は、以下のとおりである。

調査総括：	松崎裕之	グループ事業推進部	課長
廃棄物処理，経済分析：	菅野 修	グループ事業推進部（海外事業）	主査
土木建築設備：	吉田紀之	グループ事業推進部（海外事業）	主査
JI事業評価，PDD作成：	松岡 滋	グループ事業推進部（海外事業）	主任
発電設備：	橘 有一	グループ事業推進部（海外事業）	
発電設備，PDD作成(副)	千葉正広	グループ事業推進部（海外事業）	

本調査の調査期間は，平成16年7月17日から平成17年3月4日である。

なお，調査期間中に，第一回：平成16年8月17日～9月1日，第二回：平成16年10月9日～10月20日，第三回：平成17年1月29日～2月11日の現地調査を実施した。

本調査の実施に当り，カザフスタン国エネルギー天然資源省，環境保護省，労働厚生省，アスタナ市ならびに傘下の各公社，KEGOC，アスタナエネルギーサービス，気候変動コーディネーターセンターの協力を得られた。

また，日本国内では，財団法人地球環境センター（GEC）殿よりご指導いただいたことに加え，本調査のプロジェクトサイトであるアスタナ市下水処理場の近代化事業に対し円借款を供与している国際協力銀行（JBIC）殿からも調査への協力を得ることができた。

ここに，関係各位に対して，深く御礼申し上げますこととしたい。

目次

概要	
第1章 カザフスタン国の概要	1
1.1 カザフスタン国の地理	1
1.2 カザフスタン国の気候	2
1.3 カザフスタン国の歴史	3
1.4 政治, 経済, 社会の状況	5
1.4.1 政治	5
1.4.2 経済, 社会	7
1.5 アスタナ市の概要	9
第2章 カザフスタン国における地球温暖化に関する取組み	12
2.1 地球温暖化を巡る枠組みの中でのカザフスタン国の位置付け	12
2.2 地球温暖化によるカザフスタン国への影響	12
2.3 GHG削減に関わるカザフスタン国の組織体制	13
2.4 気候変動コーディネートセンターの活動	14
2.5 気候変動におけるカザフスタン国のプライオリティー	15
2.6 カザフスタン国のGHG排出の現状	16
2.6.1 1990年レベルの排出量	16
2.6.2 2002年レベルの排出量	16
2.7 京都議定書を巡る最近の動き	19
2.8 熱電併給所省エネルギー化モデル事業	20
第3章 カザフスタン国における廃棄物処理と下水処理	21
3.1 カザフスタン国における廃棄物処理・下水処理に関する法制度	21
3.2 カザフスタン国ならびにアスタナ市における廃棄物処理体制と下水処理体制	23
3.3 アスタナ市における固形廃棄物処理	24
3.3.1 固形廃棄物処理の現状	24
3.3.2 アスタナ市固形廃棄物埋立処分場の状況	26
3.3.3 新埋立処分場建設プロジェクト	27
3.3.4 固形廃棄物分別回収の動きについて	29
3.4 アスタナ市における下水処理	30
3.4.1 アスタナ市における下水処理の状況	30
3.4.2 アスタナ市下水処理場の状況	32
3.4.3 JBICプロジェクト	36
3.4.4 モスクワプロジェクト	38
第4章 カザフスタン国の電力事情	41
4.1 電力分野におけるカザフスタン国の法制度	41
4.2 電力事情の概要	41

4.3	電力セクターの基本区分	44
4.4	国家的に重要な大型発電所の現状と課題	44
4.4.1	大型発電所の現状	44
4.4.2	大型発電所の課題	45
4.5	送電・配電	45
4.6	カザフスタン国における電力自由化	46
4.7	再生可能エネルギーの状況	46
4.8	アスタナ市の電力事情	49
4.8.1	電力供給の現状	49
4.8.2	アスタナTETSの状況	49
4.8.3	バイオガスプロジェクトへの興味	50
第5章	バイオガス発電技術の概要	51
5.1	バイオマスエネルギーとバイオガス発電の位置付け	51
5.2	嫌気性メタン発酵反応	52
5.3	バイオガス技術の開発動向	55
5.4	バイオガスによる発電	59
J Iプロジェクトの検討		
第1章	J Iプロジェクトの立案	61
1.1	想定システムの概要	61
1.1.1	プロジェクトの背景	61
1.1.2	バイオガス発電システム選択理由	61
1.1.3	現地調査前のプロジェクト立案条件	62
1.2	現地調査の実施	62
1.3	現地調査後の想定システム	63
1.3.1	現地調査後のプロジェクト立案条件	63
1.3.2	既存システムとJBICのシステム	63
1.3.3	プロジェクトシステム	65
1.4	設備詳細	66
1.4.1	設備概要	66
1.4.2	システムフローおよび物質収支	71
1.4.3	下水処理場の設計諸元	71
1.4.4	物質収支	71
1.5	機器詳細	74
1.6	実際の工事について	79
1.6.1	工事行程，工事の注意点	79
第2章	事業スキーム，体制，スケジュール	80
2.1	想定事業スキームと役割	80

2.2	事業実施スケジュール	81
第3章	本プロジェクトの JI プロジェクトへの適用	81
3.1	システムバウンダリー	81
3.2	ベースラインの設定・追加性の立証	81
3.2.1	ベースラインの設定	81
3.2.2	追加性の立証	84
3.3	プロジェクト実施による GHG 削減量及びリーケージ	84
3.3.1	プロジェクト実施による GHG 削減量	84
3.3.2	リーケージ	86
3.3.3	ベースラインシナリオによる GHG 削減量	87
3.3.4	リーケージを含んだプロジェクト実施による GHG 削減量	90
3.4	モニタリング計画	91
3.5	環境影響/その他の間接影響	94
3.6	その他	95
3.6.1	提案プロジェクトがホスト国の持続可能な開発へ 貢献できる点・技術移転できる点	95
3.6.2	利害関係者のコメント	95
3.6.2.1	周辺住民	95
3.6.2.2	地域配電会社	96
3.6.2.3	下水処理管理会社および固形廃棄物 処理会社	96
3.6.2.4	自治体	96
第4章	バリデーション/デターミネーション	97
4.1	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	97
4.2	OE とのやりとりの経過	97
4.3	JI デターミネーションレポートの概要	98
第5章	事業性の検討	99
5.1	プロジェクト資金調達の見通し	99
5.1.1	資金調達計画	99
5.1.2	資金調達の見通し	99
5.1.2.1	国際協力銀行の投資金融制度について	99
5.1.2.2	日本国内商業銀行からの融資について	100
5.1.2.3	資本金について	101
5.2	プロジェクトの収益性	101
5.2.1	財務分析	101
5.2.1.1	評価方法	101
5.2.1.2	前提条件の設定 (Base Case)	102

5.2.1.3	資金計画	104
5.2.1.4	発電計画	105
5.2.1.5	売電価格	106
5.2.1.6	運転費（O&M コスト）	106
5.2.17	減価償却と税制	107
5.2.2	分析結果	108
5.2.2.1	収益性（Base Case）	108
5.2.2.2	CO2 クレジット原価	110
5.2.3	財務分析結果のまとめ	110
5.3	カザフスタン共和国の投資環境	111

まとめ

第1章	アスタナ市における下水汚泥等を活用したバイオガス	
	発電事業調査結果	115
1.1	調査結果	115
1.2	プロジェクトの実現可能性が低い主な要因	115
1.3	調査全体に対する課題と方向性	115
第2章	カザフスタン国におけるバイオガス JI 事業の可能性	116
2.1	カラガンダ市におけるバイオガス利用	116
2.1.1	下水処理場におけるメタンガス削減	116
2.1.2	廃棄物処分場における LFG 回収	116
2.2	アルマティ市におけるバイオガス利用	116
2.2.1	下水処理場におけるメタンガス削減	116
2.2.2	廃棄物処分における可能性	116
2.3	その他の可能性	116
2.3.1	農業分野でのバイオガス利用	116
2.3.2	その他のバイオマス利用	116
第3章	現地調査記録	117

概要

第1章 カザフスタン国の概要

1.1 カザフスタン国の地理

カザフスタン国(正式名称「カザフスタン共和国」)は、ユーラシア大陸の中央部、中央アジアに位置する。

国土面積は、2,717,300km²と広大であり、CIS 諸国の中ではロシアに次ぐ2番目の大きさで、日本の国土のおよそ7倍に相当する。北はロシア、東は中国、南はキルギスタン、ウズベキスタン、トルクメニスタンに接し、西はカスピ海を隔ててコーカサス三国に面している。その国境線の総延長は、12,000km を超える。

東部にはカザフ高原と呼ばれる台地状の地形が広がり、西部には沿カスピ海低地(カザフステップ)と呼ばれる大平原、北部には西シベリア低地が広がっている。南西部には、5,000~7,000m 級(平均標高約 4,000m)の山々の連なる天山山脈とアルタイ山脈(平均標高約 3,000m)が位置している。

カザフスタン国には、85,000 本の川が流れており、ウラル川とエンバ川が最も長く約1,000km で、ともにカスピ海へ注いでいる。シルダリア川はアラル海へ、イルティッシュ川、イシム川、トボル川は、北極海に続いている。また、これらの河川の中には、砂漠地帯で消滅するものも数多い。

湖も多く、大小合わせて約4万8千の湖沼が存在し、代表的なものは、アラル海、バルハシ湖、ザイサン湖、アラコル湖、テンギス湖、セレテンギス湖であり、カスピ海の北部と東半分もカザフスタン国の領土となっている。

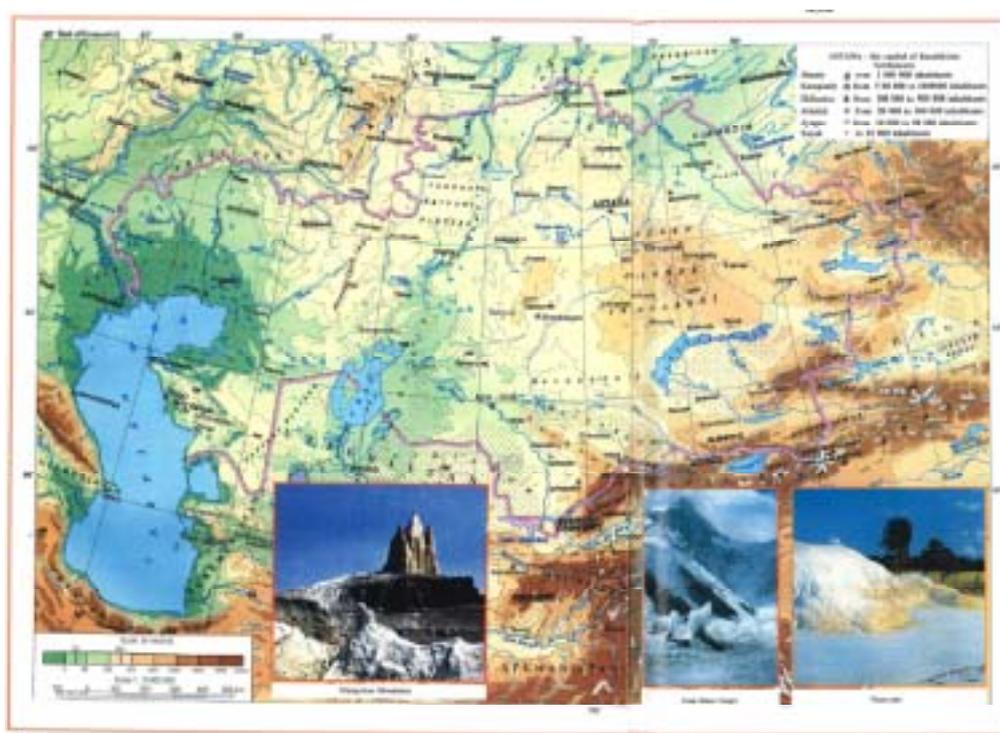


図 I-1-1 カザフスタン国の地形
(出典：Atlas of Kazakhstan's Geoglyphy)

1.2 カザフスタン国の気候

カザフスタン国の国土は、厳しい大陸性気候であり、夏は暑く冬は寒さが厳しく乾燥している。北部はシベリアの、南部は中央アジアの気候に影響されるため、南北の気候差は大きい。東部山地には地中海性気候も見られる。大別すると、森林ステップ気候、ステップ帯、半砂漠帯、砂漠帯に区分されるが、山岳地帯では、山岳ステップ、森林湿性草地、亜高山帯、氷河帯の順に移り変わる。年間平均気温は、ペテロパブロフスクの 0.8 からシムケントの 12.1 まで幅があり、年間降水量もキジオルダの 129mm からアルマティの 616mm と幅があり、山岳地帯では降水量は標高とともに 700mm から 1500mm へと増加する。

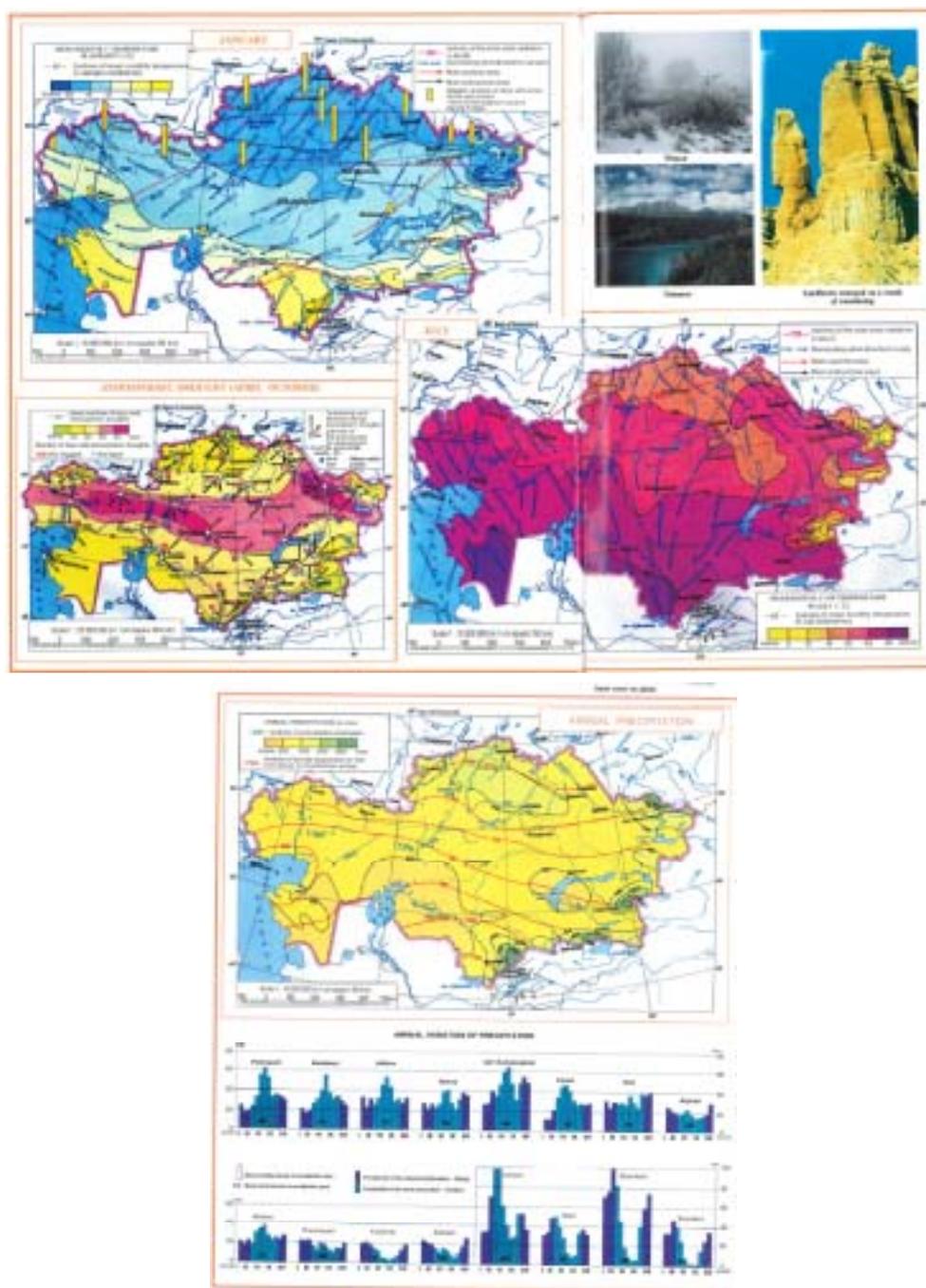


図 I-1-2 カザフスタン国の気候
(出典：Atlas of Kazakhstan's Geoglyphy)

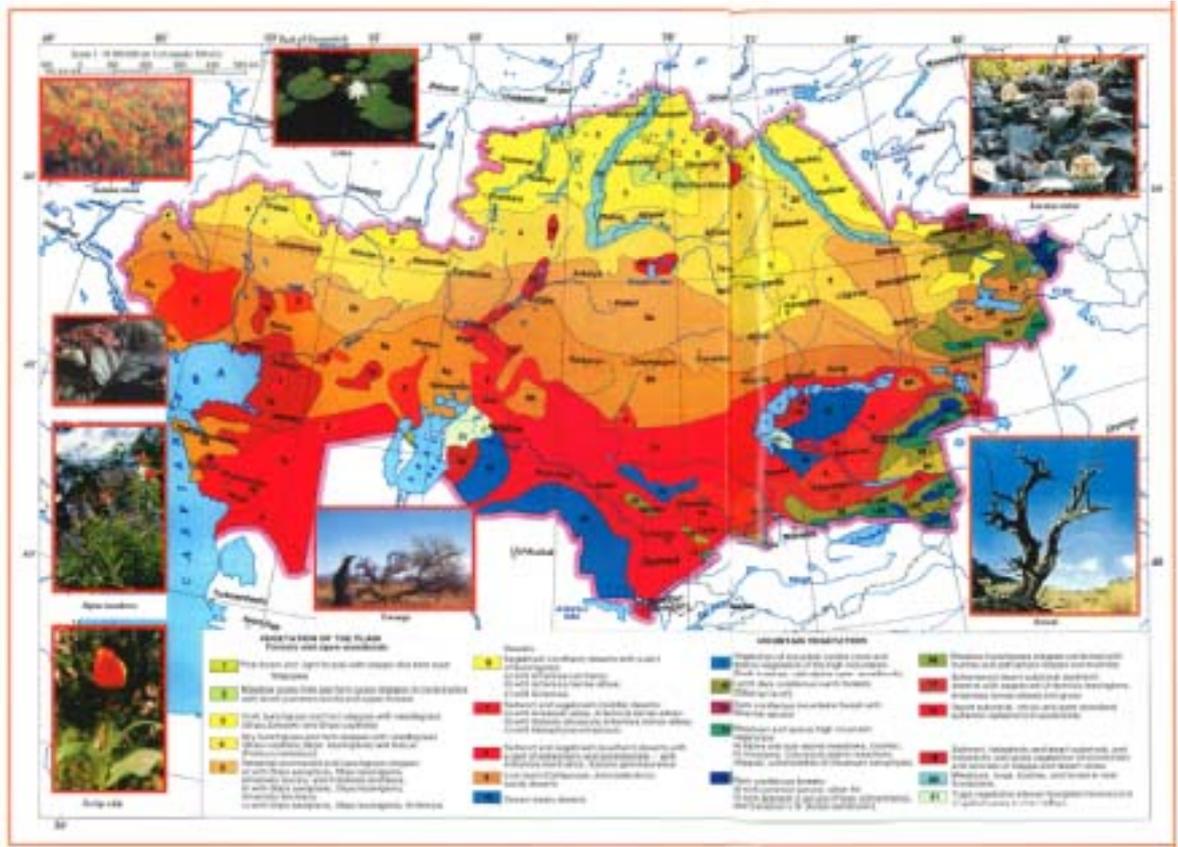


図 I-1-3 カザフスタン国の植生
 (出典 : Atlas of Kazakhstan's Geoglyphy)

1.3 カザフスタン国の歴史

カザフスタンという民族名が、歴史上初めて登場するのは、15 世紀中頃である。元々ウズベク族と一緒にあった民族が分裂し、現在のカザフスタン国に勢力を拡大した。その後、一時中国清朝の藩族国となるが、1860 年代にはロシアの支配下に入り、大量のロシア人農民の植民が始まった。

1920 年には、革命後の内戦を経て、ロシア共和国を構成する「キルギス・自治ソヴィエト社会主義共和国」が創設され、1924 年には、中央アジアの民族間国境設定により国境戦を変更し、翌 1925 年には首都をオレンブルグからキジオルダへ移し、国名を「カザフ・自治ソヴィエト社会主義共和国」に変更した。

1925 年、首都を現在のアルマティに移転、1929 年にはロシア共和国から分離し、「カザフ・ソヴィエト社会主義共和国」を創設し、ソ連邦構成共和国となった。その後、冷戦の終焉とともにソヴィエト連邦中央政府の支配力が衰えると、構成共和国内における民族運動が活発化した。1990 年 10 月 25 日には、共和国主権宣言を行い、1991 年 12 月 10 日に国名を「カザフスタン共和国」に変更し、同 12 月 16 日には共和国の独立を宣言した。この際、他の旧ソ連邦共和国と共に独立国家共同体が設立され、ソヴィエト連邦は崩壊した。

1997 年 12 月 10 日には、首都をアルマティからアクモラへ遷都し、翌年 5 月にはアスタナと改称し現在に至っている。

以下にカザフスタン国の一般概要を示す。

< 概要 >

国名 : カザフスタン共和国 (Republic of Kazakhstan)
首都 : アスタナ (Astana)
領土 : ボルガ川からアルタイ山脈までの土地, またシベリア西部の平野から中央アジアのオアシスと砂漠まで
面積 : 2,717,300km² (陸地 : 2,669,800km², 湖・川 : 47,500km²)
国境線 : 12,012km (隣接国 中国 : 1,533km, キルギスタン : 1,051km, ロシア : 6,846km, トルクメニスタン : 379km, ウズベキスタン : 2,203km)
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)
主要都市 : アスタナ (49 万人), アルマティ (131 万人), カラガンダ (44 万人), シムケント (36 万人), タラズ (33 万人), ウスチカメノゴルスク (31 万人), パプロダール (30 万人), セミパラチンスク (27 万人), アクチュピンスク (25 万人), ウラルスク (25 万人)
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%, ベラルーシ人 0.7%, 韓国・朝鮮人 0.5% (1999 年 3 月)
年齢構成 : 0-14 歳 25.4% (男性 : 2,161,510 人 女性 : 2,089,780 人)
15-64 歳 66.8% (男性 : 5,425,545 人 女性 : 5,769,457 人)
65 歳以上 7.9% (男性 : 458,379 人 女性 : 859,124 人) (2003 年)
平均寿命 : 男性 58.16 歳 女性 69.06 歳 全体 63.48 歳 (2003 年)
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%
識字率 : 98.4% (男性 99.1%, 女性 97.7%)
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, ボーキサイト, 金, ウラン
日本時差 : 夏季 (4 月 ~ 10 月) 東部 : -2 時間, 中部 : -3 時間, 西部 : -4 時間
冬季 (11 月 ~ 3 月) 東部 : -3 時間, 中部 : -4 時間, 西部 : -5 時間
通貨 : テンゲ (Tenge)
為替レート : 131 テンゲ / ドル (2004 年 11 月)

1.4 政治，経済，社会の状況

1.4.1 政治

カザフスタンの中央政府組織図について，以下に示す。

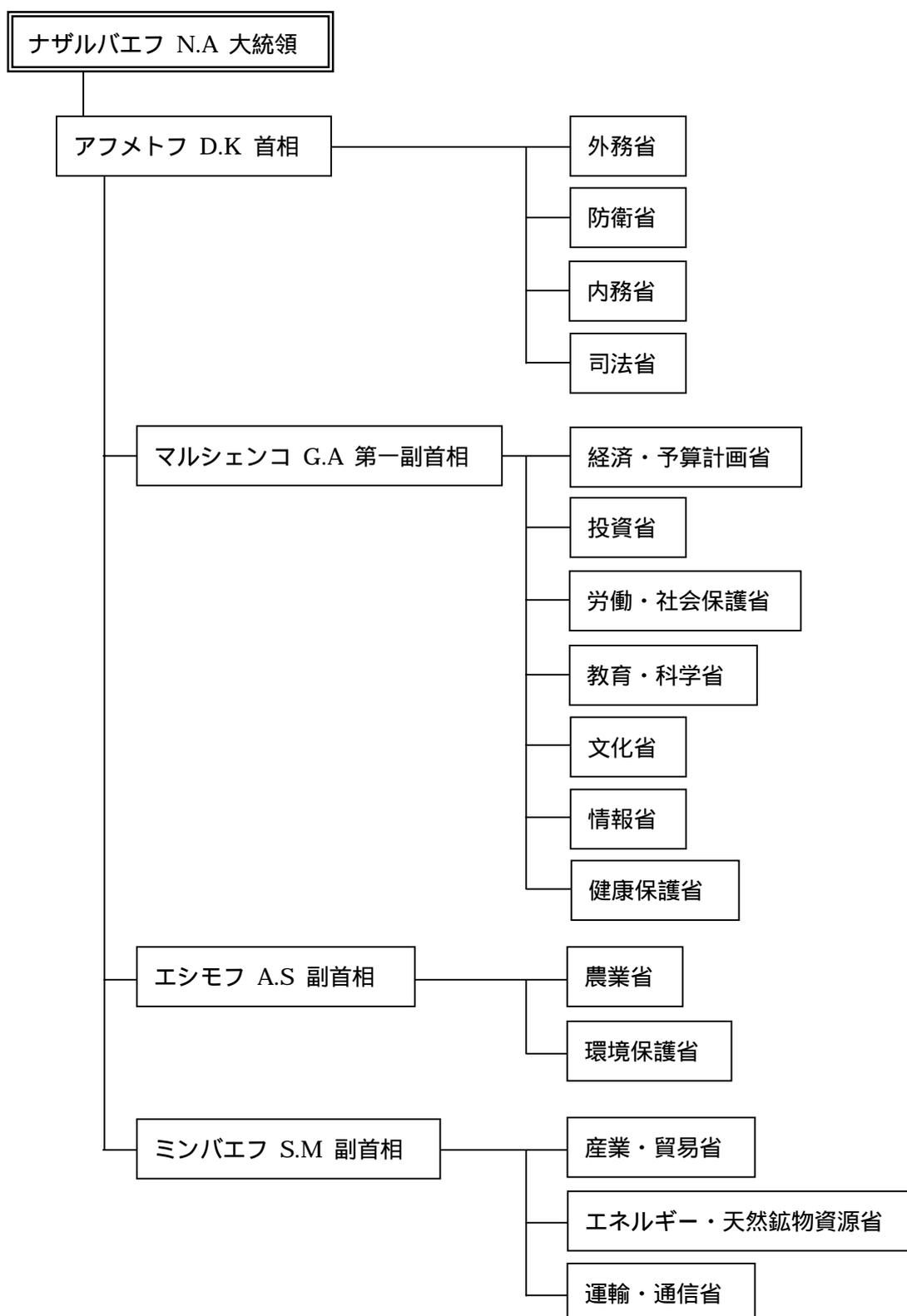


図 I-1-4 カザフスタンの中央政府組織図（1）

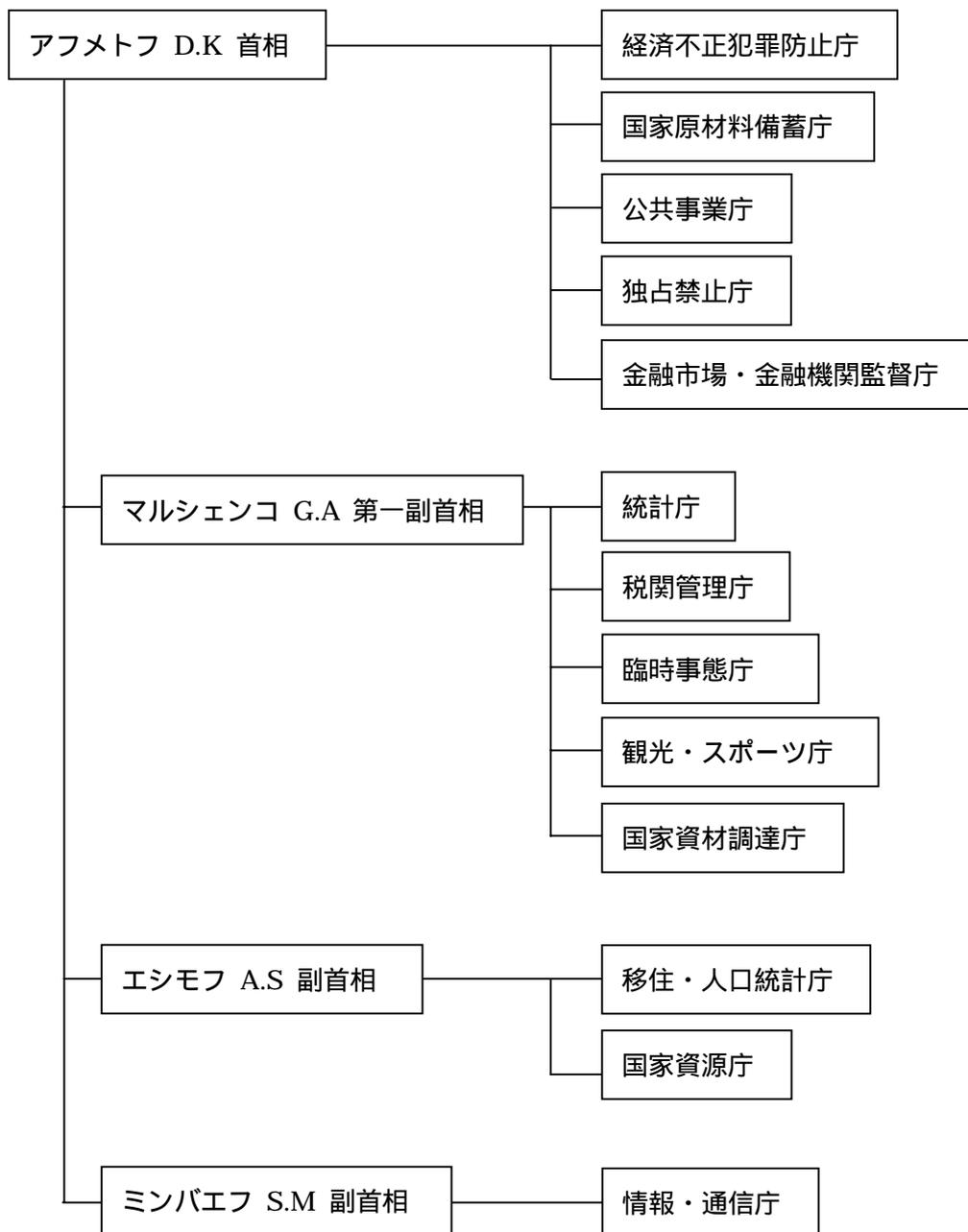


図 I-1-4 カザフスタンの中央政府組織図 (2)

カザフスタンの外交政策は、いわゆる全方位外交である。国が位置する地理的条件等から、ロシア、旧ソ連諸国との安定関係を維持するとともに、西欧諸国との政治・経済関係の親密化、ならびに中国、インド、パキスタン、トルコ等の近隣諸国との関係拡大も図っている。カザフスタンは海に面していないことから、経済発展に欠かせない陸路での貿易ルート確保のためには全方位の外交方針を選択せざるを得ないのが実態である。

ロシアは、カザフスタンにとって無視することのできない大国である。同国内でその人口比率は減少しつつあるものの、未だ製造部門や軍事関係、管理部門等において中枢を担うロシア人は多い。約7,000kmにも及ぶ国境を接する同国は、紛れもなくカザフスタンの産業を支える大きな柱となっており、政治・経済・社会のいずれの面においても多大な影響力を持っている。

トルコとは、1992年10月に域内経済協力の促進などの合意をはじめとして関係強化が図られている。その背景として、民族的・宗教的な親近感の他、経済的にもカスピ沖油田のパイプライン敷設を巡って利害が一致していることが挙げられる。

中国とは、1992年5月に二国間経済協定に調印し、同年中にアルマティと中国西部ウルムチを結ぶ鉄道が開通した。また中国と隣接する、ロシア、キルギス、タジキスタンと同国の5ヶ国（「上海ファイブ」）の首脳は1996年4月に上海で「国境地帯の信頼醸成措置に関する協定」に調印したのに続き、地域安全保障を強化する観点から毎年、首脳会議を開催して信頼関係を強化している。2001年6月には、ウズベキスタンも加えて、常設組織「上海協力機構」が発足した。同組織は、域内の「テロ活動、分裂主義、宗教過激派の取り締まり」を主目的としているが、エネルギー輸送面でのカザフスタン・ロシア・中国間の協力も将来的な課題となっている。

アメリカとの関係強化は、ロシアの強い影響力とのバランスをとるために必須であるが、アメリカ資本の石油開発部門などへの積極的な参入の結果、経済面でも重要性を増している。アメリカとしても、ナザルバエフ大統領の独裁的政治手法を非難しつつも、同国の天然資源開発に際し、ロシア、中国などの影響力排除を狙っており、1992年5月にいち早く最恵国待遇の付与および投資保護協定に合意している。

1.4.2 経済、社会

豊富な鉱物資源を持つ同国は、旧ソ連時代の分業システムの下で原材料・資源の供給地と位置づけられ、主としてロシアに原材料・中間材を輸出しロシアから加工品を輸入する役割を担っていた。1991年の独立後、共産主義経済から市場経済への移行に伴う混乱から経済は低迷、1995年のGDPは1991年の55%まで下落したが、1996年～98年にかけて安定、その後成長に向かい2001年にはGDP成長率約14%を記録している。

表 I-1-1 カザフスタン国の年別経済指標 (1)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
実質 GDP	5,152	11,649	16,594	20,893	22,129	22,070	16,956	18,295	22,135	24,410	29,238
GDP 成長率	-9.2	-12.6	-8.3	0.5	1.6	-1.9	2.7	9.8	13.5	9.5	9.5
CPI 上昇率	1.8	36.1	100.0	139.1	163.3	175.2	190.0	215.3	233.3	247.0	263.0

実質 GDP : 百万 US\$, GDP 成長率 : % , 物価上昇率 : 1995 ベース

(出典 : IMF)

表 I-1-2 カザフスタン国の年別経済指標 (2)

項目	1998	1999	2000	2001	2002
電力消費量 (kWh/人)	2,329	2,390	2,622	2,850	-
石油換算エネルギー消費量 (kg/人)	2,503	2,315	2,563	2,705	-
無償援助を除いた国家歳入 (GDP %)	11	9	11	11	-
商品と労働力の輸出 (GDP %)	30	42	57	46	47
総資本形成 (GDP %)	16	18	18	27	27
産業付加価値 (GDP %)	31	35	41	39	39

(出典 : 世界銀行)

カザフスタンの経済は、ロシアとの緊密な関係があったがゆえに、連邦解体の影響は大きく、1994 年には対前年比 GDP12.6%減、工業生産 28.1%減、消費者物価上昇率約 20 倍と独立後最悪の状況を記録した。この経済状況の悪化は、1993 年 7 月のロシア新ルーブル導入によるルーブル圏の崩壊と自国通貨テンゲの導入に伴う国内経済の混乱によるものである。しかし、カザフスタン経済は翌 1995 年より安定化の傾向を見せ始めた。同年、GDP と工業生産はともに低下幅が縮小、消費者物価上昇率も前年比 2.8 倍まで落ちついた。この 1995 年における物価安定化の要因は、1994 年 7 月に採択された「改革の深化と経済危機からの脱出のための政府活動プログラム (15 ヶ月プログラム)」によるものである。

同プログラムは、15 カ月間で生産増加と生活水準向上のための基盤を作ることを目的に策定された。中央銀行の独立性と権限の確立、金利引き上げ、入札による投資配分などが行われ、民営化、価格自由化、金融制度改革、市場経済移行に係る法制・制度の改革という構造改革計画が実施された結果、民営化による商業部門の伸び、外資導入に成功した燃料・エネルギー分野、また、非鉄金属両部門の輸出増加によって国内経済が回復した。1995 年のカザフスタンの CIS 外向け輸出総額は、金属輸出の効果で従来の 12 ~ 14 億ドルから約 23 億ドルへと倍増している。以後、カザフスタンの資源輸出は順調に拡大し、1996 年にはもう 1 つの基幹部門である燃料部門でも生産が増加した。工業生産の伸びにより、

1996年にカザフスタンのGDPは独立後初のプラス成長を記録した。

1997年のカザフスタン経済は前年の回復基調を引き継ぎ、発展させた。工業生産は前年比4.0%増と伸び幅を広げ、消費者物価上昇率も1996年の対前年比40%増から、1997年は12月の前年12月比11.2%増へとさらに縮小した。また、1997年のカザフスタンの投資は対前年比20.2%増であり、独立以来、初めて投資が前年比プラスを示した。これは外国投資の増加によるもので、カザフスタン固定資本への投資に占める外国投資のシェアは、1996年の13.5%から1997年は25%に増加した。分野別では、1997年の外国投資の40%は非鉄金属工業部門、37%が石油・ガス工業部門に投資された。非鉄金属と石油はカザフスタンの最も重要な輸出品となっている。

カザフスタンにおける外国投資増加の重要な要因として、民営化の進展が挙げられる。15ヶ月プログラム成功の後を受けて、1995年末にカザフスタンでは新しい経済改革プログラム「1996～1998年経済改革促進プログラム」が策定された。前プログラム目標の「経済安定」に対して「生産・投資の拡大」へと目標を上げ、「経済構造改革」と「経済重要分野（輸出）の発展」を掲げた。

目標達成のため、燃料・エネルギー、通信など従来民営化対象とはなっていなかった部門まで民営化を拡大することが決定された。石油・ガス部門民営化は1996年後半より開始され、1997年末までに国内7つの生産企業のうち5つの企業の株式の支配比率が外国企業に売却され、3つの製油所のうち2つが賃貸によってやはり外国企業の管理下に入った。

1996～1997年にかけて回復基調をみせたカザフスタン経済も、1998年8月のロシア通貨・金融危機の影響を受けて、1998年には再びマイナスに転じている。しかしながら、石油などの鉱業部門は外資を大胆に導入した結果、原油の増産と輸出増により高い経済成長を記録するようになった。

自国通貨テングは、国際金融界でも高い評価を得ており、2004年6月時点の各社ソブリン格付けもロシアとほぼ同等であり、CIS諸国で最も高い格付けとなっている。原燃料の輸出依存経済が進んだ一方、旧ソ連時代にはある程度存在した機械産業は壊滅状態。また、旧ソ連時代には主要産業でもあった農業は大きな打撃を受け、再編を模索中である。

1.5 アスタナ市の概要

カザフスタン国の首都アスタナは、同国の中央部からやや北東のイシム川流域に位置する。アスタナ市は、1824年要塞都市アクモリンスルクとして誕生し、ソヴィエト連邦時代にはツェリノグラードと呼ばれたが、1991年にカザフスタン共和国が独立すると、「白い墓」を意味するアクモラと改称された。1997年に首都がアルマティから移されると翌年には現在の名称アスタナ市に改称された。

アスタナ市では、国際コンペに優勝した日本の株式会社黒川紀章建築都市設計事務所の原案に基づき、旧ソ連時代の都市アクモラを歴史的都市として保存しつつ、イシム川左岸

に近代的な新首都を建設する事業が行われており、広大なステップに忽然と現れる近代都市とその発展ぶりには目を見張るものがある。

首都アスタナ市の面積は、約0.7 km²、人口は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。

アスタナ市の気候は、典型的な大陸性気候であり、寒暖の差が激しいが、特に冬の寒さは厳しく、最低気温が-

20 を下回ることも珍しくない。また、アスタナ市は、風が強く冬期の体感温度は、実際の気温を大幅に下回る。

降水量は少なく、年間を通じ月間降水量は10～60mm、年間でも300mm程度であり、これは東京の約1/5に過ぎない。

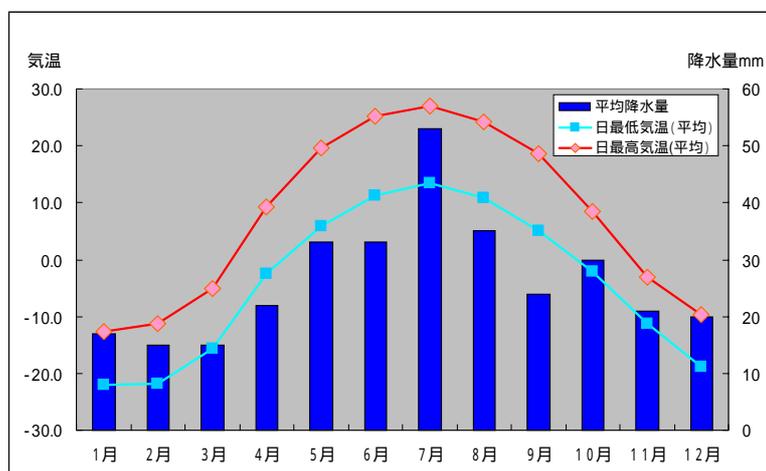


図 I-1-5 アスタナ市の気候

以下にアスタナ市の主な経済指標を示す。

表 I-1-3 アスタナ市経済状況

区分	2002	2003
地域内総生産(GRP), 10 億 KZT	210.8	258.4
鉱工業	7.8%	7.6%
建設	17.5%	16.7%
貿易	22.5%	19.3%
輸送・通信	9.7%	11.9%
その他	42.2%	44.3%
共和国内に占めるアスタナ市 GRP のシェア	5.9%	6.5%

(出典: アスタナ市経済貿易局)

表 I-1-4 社会・経済開発の状況 (2004 年上半期)

項目	2002	2003	2004 年上半期
実質鉱工業生産指数: Index of the physical volume of industrial production, (IPV), %	110.3	111.5	112.0
鉱工業企業数(中～大規模)	60	59	59
全鉱工業生産(事業・サービス) 百万 KZT	28 252.0	32 822.6	23 370.8
再掲(業種別)			
石油精製業	21 374.6 IVP119.1%	24 934.5 IVP110.7%	18 061.3 IVP119%
電力, ガス, 水道(生産・配送) 百万 KZT	6 877.4 IVP103.7%	7 888.1 IVP112.9%	5 309.4 IVP101.4%
食品産業生産 百万 KZT	7 865.2 IVP109.4%	8 423.2 IVP 93.4%	5 195.7 IVP93,8%

(出典: アスタナ市経済貿易局)



図 I1-1-6 カザフスタン共和国とアスタナ市

第2章 カザフスタン国における地球温暖化に関する取組み

2.1 地球温暖化を巡る枠組みの中でのカザフスタン国の位置付け

カザフスタン国が国際連合の気候変動枠組み条約に署名したのは1992年である。1995年には、ナザルバエフ大統領が正式に条約を批准した。

1997年、京都で開催されたCOP3の冒頭、カザフスタン国の外務大臣が「カザフスタン共和国が1990年レベルにGHG排出を削減し制限する行動に関する議論に参加する準備がある」と表明した。この中で、カザフスタン国は、世界銀行が提唱した国際炭素クレジット市場の設立に関するカーボン・イニシアティブへの指示も表明している。

1998年に開催されたCOP4において、カザフスタン国は自主的に排出量を削減する意志があることを表明し、UNFCCCの下に定められたInitial National Communicationを提出している。

1999年3月、カザフスタン国は京都議定書に署名したが、その位置付けは、UNFCCCにおける非附属書国であり、且つ、京都議定書における非附属書B国としてである。すなわち、この時点では附属書国としての排出量削減目標を持たない位置付けであるが、同年4月には、カザフスタン国はUNFCCCに対して附属書国への移行の意図を正式に伝えている。

具体的には、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。

2.2 地球温暖化によるカザフスタン国への影響

1998年に作成されたInitial National Communicationによれば、1894年から1997年までの平均気温が約1.3℃上昇するなど、カザフスタン国において温暖化の兆候が見られ、将来に危惧される地球温暖化によるカザフスタン国における影響として、以下の事象が予測されている。

- ・ 2050年から2075年にかけてCO₂が2倍になった場合、気温が4～7℃上昇する。
- ・ 半湿潤地帯の穀物収量が6～23%減少する。また、別の予測では半湿潤地帯は消滅し、乾燥地帯が38%にまで増加する。
- ・ 年度により収量の増加もあるが、春の穀物収量は27%減少する。
- ・ 高温の期間が27～57日間増加することにより、羊肉の生産が5～25%減少し、羊毛の生産量も10～20%減少する。
- ・ CO₂が2倍となるケースでは、水資源が20～30%減少する。

また、KazNIMOSKという機関の調査では、春季の小麦収量が44～51%、冬季の小麦収量が12～35%減少、羊毛生産が11～19%、羊肉生産が20～26%減少、トボル川の流量が24～26%、ウルバ川とウバ川の流量が23～29%減少、雪山の残雪標高が500～700m上昇し泥流の活動が活発化、カスピ海の水面も上昇するとの報告がある。

このように、カザフスタン国では、主として温暖化による気候への直接的な影響に加え、農業や水資源に対する大きな影響が予測されている。

2.3 GHG削減に関わるカザフスタン国の組織体制

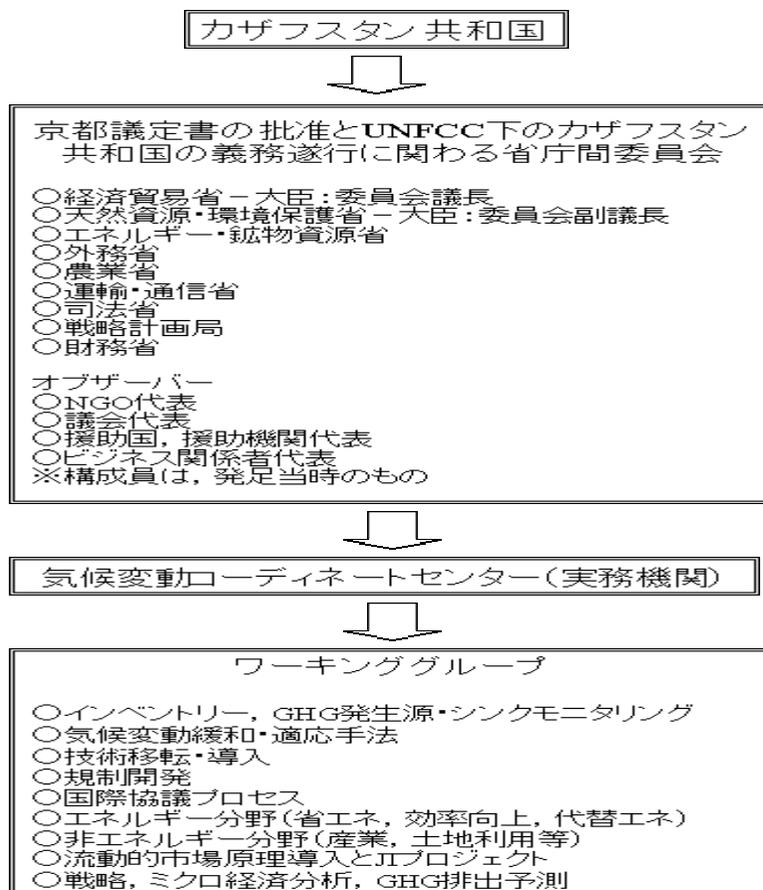
京都議定書の署名後、カザフスタン国ではワーキンググループが組織され、批准に向けた課題が議論されてきている。

2000年4月17日付の政令590号により、京都議定書の批准と気候変動枠組み条約の下でも義務遂行に関する省庁間委員会が設置された。

省庁間委員会の目的は、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 国への移行に当たっての課題、GHG排出量削減の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。

非附属書 国を目指しているため、指定国家機関（DNA）等は整備されていない。



図I-2-1 省庁間委員会の構造

(出典：気候変動コーディネートセンター)

2.4 気候変動コーディネートセンターの活動

気候変動コーディネートセンターは、米国援助機関USAID (US Agency for International Development) の協力の下、2000年3月から活動を開始している。2000年4月には、省庁間委員会の発足と共に、その実働機関としての機能を担っている。

これまでの主たる活動としては、以下の次項が挙げられる。

UNFCCCと京都議定書の実行のための目標達成の法的、制度的基礎の構築

これらの目的達成のため、気候変動コーディネートセンターは、省庁間委員会の実働機関として関係省庁間の調整に当る他、環境保護省やKazNIMOSKのGHGインベントリー作成への協力、環境・自然委員会と協力した大気保護・気候保護・オゾン層保護に関する法律の草案作成、GHG削減に関する国際協議におけるカザフスタン国の役割増大を狙った国際ワークショップ「気候変動に関するUNワークショップ」の開催等を行っている。また、こうした活動の一環として、カザフスタン国外務大臣からUNFCCC事務局に宛の「カザフスタン国がUNFCCC上の附属書 国入りを目指す」という書簡を2000年に作成・送付している。

カザフスタン国のGHG排出削減戦略の構築

USAIDの協力の下、GHGインベントリーの作成とミクロ経済学による将来予測を作成し、これを活用して「気候変動に関する計画のミクロ経済モデリング」と題した国際ワークショップやクレジット取引を含む各種セミナーを開催するなどして、国内外の専門家に対する情報提供や啓発を行ってきた。

共同実施 (JI) プロジェクトの評価メカニズムの開発

オランダ、スイス、フィンランド、日本、オーストラリア、世界銀行炭素基金等と、共同実施に関する二者間の合意書を準備したほか、GHG削減のプロジェクトマニュアルの作成、GHG削減プロジェクトの評価などを実施している。

JIプロジェクトに関する意思決定やJIプロジェクトのモニタリングに関する法的、技術的、制度的枠組みの構築

プロジェクトパイプラインに対して必要な専門知識として、ベースライン特定やクレジット定量化、認証、確認手法の開発を行ってきた。また、JIプロジェクトの承認過程に用いる標準的なプロジェクトレポートフォーマット作成のためのプロジェクト・スクリーニング、評価、適格性審査、モニタリング等の内部手続きルール作成や関係省庁との調整、GHGクレジットモニタリング・追跡システムに必要な国内のGHG登録簿、炭素クレジット登録簿の作成などを行ってきた。

この他、現在、気候変動コーディネートセンターで実施されているプロジェクトとしては、GHG排出削減のための制度強化プロジェクトが、英国大使館、プリティッシュ・ガス、シェル、BPの援助の下で実施されている。当該事業の目的としては、以下が挙げられている。

- ・ 具体的なGHG削減方法の実施を確実なものとする

- ・ 有効な新技術を用いる
- ・ 再生可能エネルギー源を導入する
- ・ カザフスタン国の経済における電力集中度のレベルを減少する

また、GHG削減プロジェクト開発にも取り組んでおり、エネルギー効率、再生可能エネルギー、メタン捕捉等に注目している。GHG削減プロジェクト開発における気候変動コーディネートセンターの役割は、以下のとおりである。

- ・ GHG削減プロジェクトの監視を行い、カザフスタン国政府に対しクレジットの発行についてアドバイスする。
- ・ 潜在的GHG削減プロジェクトについて、環境面、カザフスタン国の発展の観点、財務面から評価し、投資家に対して魅力的な炭素オフセットプロジェクトに関するアドバイスを実施する。
- ・ カザフスタン国で実施されたGHG削減に関するモニタリング、確認、追跡をアレンジする。

以上、地球温暖化に関する事項のみならず、気候変動コーディネートセンターでは、オゾン層の保護に関する活動、各種科学情報・知識の普及・浸透に関する活動も実施している。

2.5 気候変動におけるカザフスタン国のプライオリティー

カザフスタン国では、気候変動にもたらされる影響の重大さに鑑み、附属書 国として京都議定書に参加し、外資や新技術を導入したいと考えている。今後の重要性の高い活動としては、以下の事項が挙げられている。

再生可能エネルギー源の開発条件の整備や経済分野のエネルギー効率向上を含む国家省エネルギープログラムの作成、第一約束期間（2008～2012）前にカザフスタン国の実態に即した京都議定書のメカニズムの実際的な可能性を評価するのに役立つGHG排出削減、省エネルギー、新技術導入を用いた優先パイロットプロジェクトの実施やエネルギーバランスへの再生可能エネルギー源の導入（カザフスタン国では、50程度のプロジェクトリスト有り）

気候変動に関する国家戦略を作成し政府レベルで承認すること。現在、カザフスタン国では、各経済セクターレベルで国家開発戦略を策定しており、政府レベルの気候変動国家戦略の作成と承認は現実的な課題である。

GHG排出モニタリング・制御に関する国家システム構築を開始し、カザフスタン国が附属書 国に移行後、GHGインベントリーの作成と毎年の報告をUNFCCCに継続的に行うこと

このように、再生可能エネルギーの開発と利用は、カザフスタン国におけるプライオリティーの一つとされているが、その利用の現状は芳しいものではない。

カザフスタン国の再生可能エネルギーのポテンシャルは高く、特に水力発電の潜在能力は、170,000GWh/年とされ、このうち技術的観点から開発可能なものは62,000GWh/年、経済的に

開発可能なものが27,000GWh/年とされているが、このうち、現在開発されているものは8,000GWh/年に過ぎない。

風力についても、アルマティ州のジュンガル・ゲート (Djungar gates), シェルクスキー・コリダー (Sheleksky Corridor) を中心にポテンシャルが高く、一部でパイロットプラントの建設が行われている。

カザフスタン国は、高緯度の割には気象条件が良く、年間の晴天時間が2,200～3,000時間、日射量は1,300～1,800kW/m²/年に達し、辺境地ではポータブルシステムにより太陽光発電として利用されている。

地熱資源にも恵まれているが、開発は進んでおらず、暖房や発電への利用が望まれている。また、バイオマスの利用も課題となっており、特にバイオガスの熱供給や炊事等への利用が望まれているが、カザフスタン国においてバイオガスを発電に利用した実績はなく、新たな分野として期待されている。

2.6 カザフスタン国のGHG排出の現状

2.6.1 1990年レベルの排出量

気候変動コーディネートセンターによれば、1990年におけるカザフスタン国のGHG純排出量 (シンク考慮) は、350百万t- CO₂強である。1994年では230百万t- CO₂強であり、このようにカザフスタン国では、GHG排出量は34%以上も減少している。

カザフスタンにおける最大のGHG排出はエネルギー活動に起因するもので1990年に291百万t- CO₂、1994年には195百万t- CO₂と、総排出量の80%以上を占めている。エネルギー活動起因のGHG排出量のうち、約90%が燃料燃焼によるもので、10%が採掘、運搬、加工時の漏洩によるものである。

1998年にUNFCCCに提出されたINC(Initial National Communication)のGHGインベントリーによれば、1990年におけるエネルギー起因のGHG排出量は226百万t- CO₂とされていたが、修正されたインベントリーでは266百万t- CO₂とされた。同様に産業プロセス起因のGHG排出量は4百万t- CO₂から20百万t- CO₂へと修正されている。

これらの修正の理由は、INCの提出後専門家が90年代のGHG排出量比較を行い、カザフスタン国の景気後退が1990年に始まったことを考慮すると、1990年のGHG排出量が1991年、1992年の排出量より小さいことは考えにくいため、1990年のデータの欠落を1991年と1992年のデータを用いて補足したものを現時点での1990年レベルのデータとしている。

2.6.2 2002年レベルの排出量

カザフスタン国のGHGインベントリーによれば、2002年における総GHG排出量は186.9百万t- CO₂、森林によるCO₂の吸収8.3百万t- CO₂を考慮した純GHG排出量は178.6百万t- CO₂となっている。

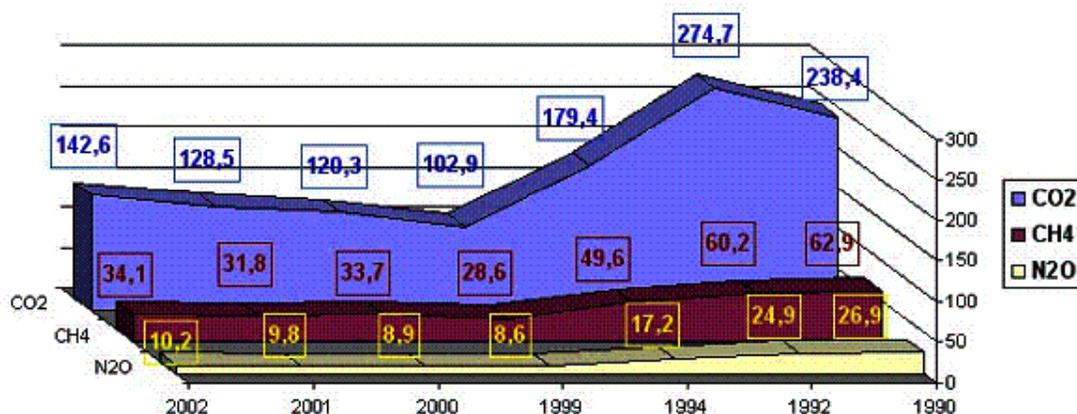
総排出量の内訳は、エネルギー活動が最も多く150.3百万t- CO₂、14.4百万t- CO₂が産業プロセ

すから，17.2百万t- CO₂が農業から，5百万t- CO₂が廃棄物から発生している。

表I-2-1 1990，1992，1994，1999-2002のGHG排出量（単位：t- CO₂）

IPCCによる区分	1990	1992	1994	1999	2000	2001	2002
CO₂	238.4	274.7	179.4	102.9	120.3	128.5	142.6
エネルギー活動	218.3	257.8	171.9	94.0	108.5	115.6	128.3
燃料燃焼	213.5	252.9	168.1	88.4	102.1	107.8	119.4
揮発	4.8	4.9	3.8	5.6	6.4	7.8	8.9
産業プロセス	20.0	16.9	7.5	8.9	11.8	12.9	14.4
土地利用変化と森林吸収	-10.5	-10.4	-10.0	-8.9	-8.3	-8.3	-8.3
CH₄	62.9	60.2	49.6	28.6	33.7	31.8	34.1
エネルギー活動	43.6	41.4	33.7	18.5	22.8	20.4	21.6
燃料燃焼	1.5	1.9	1.0	0.2	0.3	0.4	0.4
揮発	42.0	39.5	32.7	18.3	22.5	19.9	21.2
産業プロセス	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
農業	16.5	16.1	13.4	7.0	7.3	7.5	7.9
廃棄物	2.7	2.7	2.5	2.9	3.6	3.8	4.6
N₂O	26.9	24.9	17.2	8.6	8.9	9.8	10.2
エネルギー活動	0.8	0.9	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4
燃料燃焼	0.8	0.9	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4
農業	25.6	23.6	16.1	7.9	8.3	9.0	9.4
廃棄物	0.5	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4
総排出量	328.1	359.8	246.3	140.1	163.0	170.1	186.9
純排出量	317.7	349.5	236.3	131.3	154.7	161.8	178.6

（出典：気候変動コーディネイトセンター）



図I-2-2 1992年から2002年までのGHG排出量の推移

（出典：気候変動コーディネイトセンター）

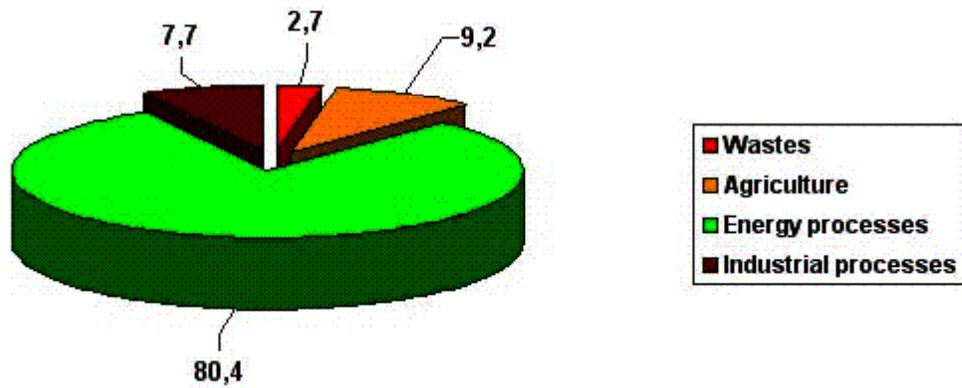
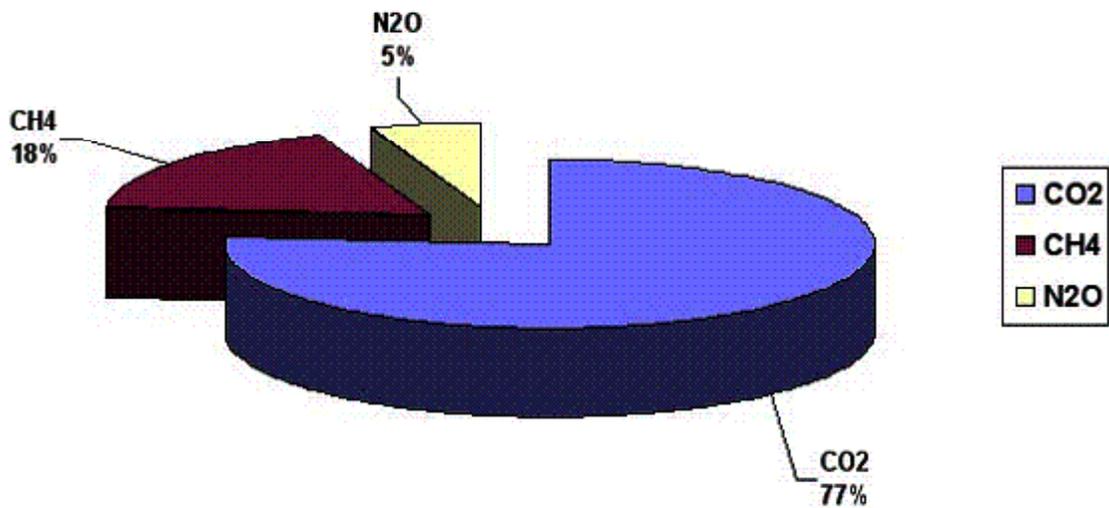


図 I-2-3 2002 年の排出源別 GHG 排出割合
 (出典：気候変動コーディネートセンター)



図I-2-4 2002年のGHG種別ごとの排出割合
 (出典：気候変動コーディネートセンター)

図I-2-2はCO₂、CH₄、N₂Oの各GHG排出量の推移を示したものであるが、各ガスとも1990年からの景気後退によって1999年にかけて減少し、その後徐々に増加に転じていることが伺える。1990年のCO₂排出量は、現在ではその後の専門家の検討によって1992年レベルと遜色ない程度に修正されている。

図I-2-3は、排出源別の排出割合を示したものであり、エネルギー活動起源が最も多い。また、図I-2-3に見られるように、全排出量に占めるCH₄の割合はおよそ18%であることが分かる。

表I-2-1を詳しく見ると、CH₄排出のうち大部分をエネルギー活動起因の排出量が占めているが、その内訳は揮発性のものであり、カザフスタン国で問題となっている石油随伴等によるものであると考えられる。廃棄物起因のCH₄については、80%が固形廃棄物に起因し、残り20%が下水に起因するとの報告がある。特に固形廃棄物からのメタンガス発生量は近年大きく増加しているとの報告や、1990～1999年のメタンガス排出量増加の原因は、廃水から大気中への排出増が原因との報告もあり、下水汚泥と有機固形廃棄物の共発酵システムによるバイオガス利用は、カザフスタン国のCH₄削減に大きく寄与する可能性があると考えられる。

2.7 京都議定書を巡る最近の動き

カザフスタン国では、1999年3月以降、省庁間委員会を中心に京都議定書に定められる義務遂行についての議論が継続されている。カザフスタン国では、2003年5月に「カザフスタン国の産業・革新発展に向けた戦略（2003～2015）」（Strategy of industrial and innovational development of the Republic of Kazakhstan in 2003 – 2015）が発表され、この中では、2015年にはGDPを2000年比で3.5～3.8%向上させ、産業を多様化することが謳われている。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为目标に挙げているが、これはエネルギー効率を向上させることに他ならず、GHG削減との両立を目指す姿勢に変わりはない。

また、こうした議論が続く中、2004年10月の第二回現地調査時点でロシアの京都議定書批准の可能性が高まった（その後、2004年11月5日にプーチン大統領が京都議定書の批准案に署名）が、気候変動コーディネイトセンターのバイガリン所長からは、「現時点でロシアの動きを受けてカザフスタン国内では公式な動きはないが、今後に向けた良いシグナルであり、カザフスタン国の政策決定に対して良い影響を与える」とのコメントが得られた。

2004年はカザフスタン国にとって国政選挙の年であり、9月の投票から12月までは体制の変更等で混乱が予想されている。京都議定書の批准についても、2004年6月からエシモフ副首相の下にワーキンググループが作られ議論を進めているが、選挙の影響から議論は年内一杯かかる見込みである。また、附属書 国としての削減目標設定については、政府内部にも種々の意見があるとみられ、カザフスタン国における京都議定書批准の動きが本格化するの、早くても2005年1月であると考えられている。

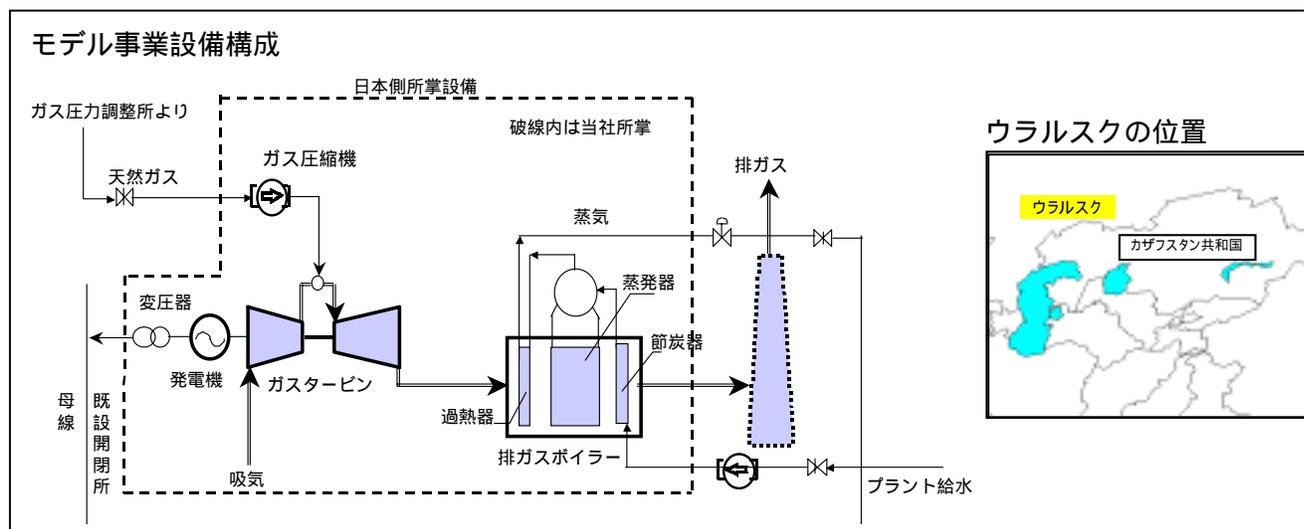
2.8 熱電併給所省エネルギー化モデル事業

2002年9月「熱電併給所省エネルギー化モデル事業（カザフスタン）」に関するNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）「平成14年度モデル事業実施契約ならびに協定附属書が締結された。

本事業は、カザフスタン国西カザフスタン州ウラルスク市の州営熱電併給所の季節蒸気タービンを、我が国の高効率ガスタービン技術を適用してコンバインドサイクル化することにより熱利用効率の向上を図る省エネルギー事業である。

本事業については、2000年よりNEDOによる事業実施可能性調査、事業実施具体化調査が実施され、2002年6月には、NEDOとカザフスタン国エネルギー・鉱物資源省大臣、天然資源環境保護省大臣、西カザフスタン州知事との間で「省エネルギー化モデル事業の実施とCO₂移転契約に関する基本協定書」が締結され、本事業は、カザフスタン国政府にとっても、我が国にとっても初のJI事業として承認された。

現在、本事業は建設工事の最盛期を迎えており、2005年の運転開始に向けて鋭意作業が進められている。なお、本事業において、東北電力は、NEDOとの契約に基づき事業実施管理業務を遂行中である。



図I-2-5 NEDO省エネルギー化モデル事業

第3章 カザフスタン国における廃棄物処理と下水処理

3.1 カザフスタン国における廃棄物処理・下水処理に関する法制度

調査の結果、カザフスタン国においては、廃棄物処理、下水処理について特定する「廃棄物処理法」や「下水道法」のような法律は存在しないことが判明した。

カザフスタン国における環境関係の基本法は、以下の法律が挙げられる。(Collection of Legislative Acts “Environmental Protection of Kazakhstan”: Information-Analytical Center of Geology and Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan, 2001)

- ・ 環境保護法 (カザフスタン共和国法第160, 1997年7月15日)
“Concerning the Protection of the Environment!”
- ・ 生態系専門家評価法 (カザフスタン共和国法第85, 1997年3月18日)
“Concerning Ecological Expert Evaluations”
- ・ 特別自然保護区法 (カザフスタン共和国法第162, 1997年7月15日)
“Concerning Specially-Protected Natural Territories”
- ・ 動物相の保護, 再生, 利用に関する法律 (カザフスタン共和国法第21, 1993年10月21日)
“Concerning the Protection, Reproduction, and Use of Fauna”
- ・ カザフスタン共和国森林法 (カザフスタン共和国法第23, 1993年1月23日)
“The Forestry Code of the Republic of Kazakhstan”
- ・ カザフスタン共和国水法 (カザフスタン共和国法第2061, 1993年3月31日)
“The Water Code of the Republic of Kazakhstan”
- ・ カザフスタン共和国公共ならびに生態系の安全の概念に関する大統領令 (カザフスタン共和国大統領令第2967, 1996年4月30日)
“Concerning the Concepts of the Public and Ecological Security in the Republic of Kazakhstan”
- ・ 原子力エネルギー利用法 (カザフスタン共和国法第93, 1997年4月14日)
“Concerning the Use of Atomic Energy”
- ・ 公衆の放射安全に関する法律 (カザフスタン共和国法第219, 1998年4月23日)
“Concerning the Radiation Safety of the Population”
- ・ 大気法 (カザフスタン共和国法第1323, 1981年7月12日)
“Concerning the Atmospheric Air”

このように、法・制度の整備はある程度されているものの、実際の規則・規制の適用及び施行は非常に複雑なものとなっている。

これらの基本法の目的に沿うように、多くの詳細な規制や標準が定められているが、これらの規制の多くは旧ソビエト方式のものとなっており、次のとおり分類されている。

- ・ GOST : 旧ソビエト方式国家基準
- ・ SniP : 旧ソビエト方式建設基準

・ SanPin : 旧ソビエト方式保健衛生基準，カザフスタン公衆衛生局基準

これらの規制や標準の中には，表流水に関する規制，飲料水供給や保健衛生に関する規制，産業廃水排出に関する規制等が含まれている。

しかし，旧ソビエト連邦は，衛生施設の設計施工に関して非常に高い基準を設定しており，実現性や地域条件に関する考慮がなく，現実性に乏しいとの指摘もあり，実際，現在ではあまり使用されていない。

また，環境保護省からの情報で明らかになったところによれば，カザフスタン国において固形廃棄物の埋立処分場から発生するメタンガスを燃焼する法律はなく，また，政府としてそうしたバイオガスを燃焼するという政策もないとのことであった。

廃棄物処分場に特化した排出基準はなく，設計値がある範囲の数値を超えないことをその都度確認することとなっている。但し，大気中への排出に関しては，保健省が決定する大気中の汚染濃度物質の許容値（開発地での大気圏内汚染物質最大許容濃度：GN.2.1.6. 696-98，開発地の大気圏内汚染物質の影響に係る基準安全値：GN 2.1.6 696-98）を遵守することが求められている。

固形廃棄物処分場に限らず，カザフスタン国では「環境への影響を与えてはならない」との大原則の下，事業主体が国家機関に対して事業計画を提出し，これを環境保護省を含め各種研究機関からの専門家も参加する”State Expert Examination Commission”において評価し，その都度許認可を与える形で，環境配慮が行われている。

これら一連の手続きは，2004年2月28日付環境保護省令 68-pにより承認された「プロジェクトの評価，設計，その他プロジェクト書類の準備における想定される環境影響評価作成の手引き（Instruction for making the assessment of the influence of expected or other activity for environment within the preparation of estimation and design and other project documentation）」に規定されるカザフスタン国における環境影響評価であり，OVOS と呼ばれている。

環境影響評価手続きは，首尾一貫した手順を踏む必要があり，最終的には上述した生態学専門家の評価により終了する。環境影響評価（OVOS）は，以下の段階を踏み，各段階で指針に従い，生態学的，科学的評価に加え，適宜現地調査を実施することが求められている。

環境条件の調査

予備環境影響評価（Preliminary OVOS）

環境影響評価（OVOS）

環境保護法上の書類作成

廃棄物から発生するバイオガスを利用した発電事業に対し，どのような基準が適用になるのかについては，事業実施時に確認が必要であるが，火力発電所からの排出ガス制限は存在する。

CIS独立国家共同体においては，火力発電所を含む環境に影響を与える可能性のあるあらゆる企業は，最大許容排出量（MAE）の基準策定が求められている。MAEでは，年間最大排出

量 (t/年), 一時最大排出量 (g/秒) を規定し, 5 年毎の更新・見直しを行うこととなっている。火力発電所からの排出ガス中の物質のうち, 汚染物質と見なされるのは, 石炭灰, 硫黄酸化物 (SO_x), 窒素酸化物 (NO_x), CO_x, 酸化バナジウム, 煤煙である。通常, MEA は 5 年間の中でも初年を高く徐々に低下するように設定されるが, これは, 徐々に環境活動の成果により排出レベルが減少することを考慮しているためである。

また, 人間の呼吸する高さ (約 1.5m) では, 汚染物質濃度は以下に示す最大許容濃度 (MAC) を超えてはならないことが規定されている。

- ・ 石炭灰 : 0.3mg/
- ・ SO_x : 0.5mg/
- ・ NO_x : 0.085mg/
- ・ CO_x : 3.0mg/
- ・ V₂O₅ : 0.002mg/
- ・ ベンゾピレン : 0.1mcg/

3.2 カザフスタン国ならびにアスタナ市における廃棄物処理体制と下水処理体制

カザフスタン国で廃棄物処理と下水処理を管轄する中央省庁は, 主に環境保護省と保健省である。環境保護省は, 環境の保全, 生態系の保護といった観点から, 廃棄物処理と下水処理事業全体を監督し, 保健省は, 法令や各種基準により衛生面での監督を行っている。

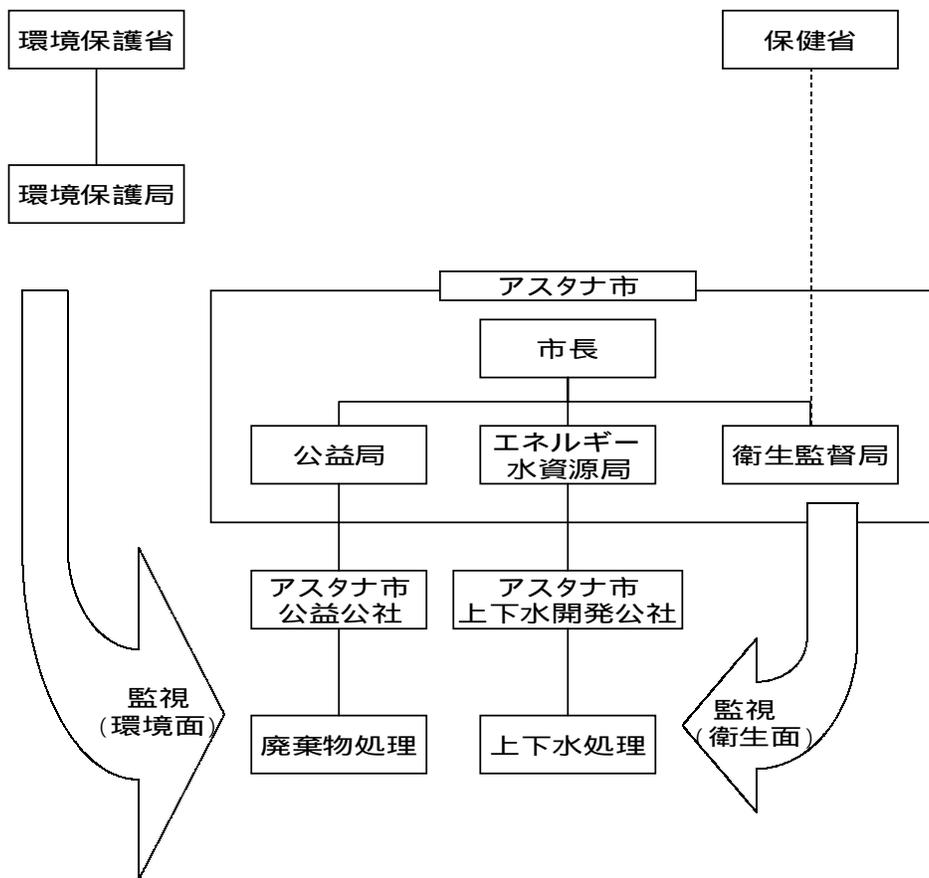
アスタナ市においては, 環境保護局と衛生監督局が監督機関として機能している。

環境保護局は, 市当局の機関ではなく, 環境保護省のアスタナ市支局であり, 環境保護の観点から下水処理や廃棄物処理を監督しているが, 2005 年以降は組織改正によりアスタナ市の一機関となる予定である。その主要な役割としては, 予防措置プログラム (Preventive Measures Program) により, 下水処理排出量, 処理方法, 処理の場所等を監督することである。

衛生監督局は, アスタナ市の組織であり, 衛生の観点から下水処理や廃棄物処理を監督している。衛生監督局は, 保健省 (Ministry of Health) が作成する法令や基準に従い任務を遂行するが, 報告等は市長に対して行う。

アスタナ市において下水処理を担当しているのは, アスタナ市上下水開発公社 (ASA: Astana Su Arnasy) である。ASA は, 以前は市の公益局 (Department of Utilities) の管轄下にあったが, 最近の組織改正によりエネルギー水資源局 (Department of Energy and Water Resources) の管轄下となった。ASA は民間企業ではなく, 市の管理の下, 市の予算によって運営される公社である。

一方, アスタナ市において固形廃棄物を扱っているのは, アスタナ市公益公社 (Gorkommunhoz) であり, 市の公益局が管轄している。



図I-3-1 アスタナ市の廃棄物処理・下水処理に関わる組織

3.3 アスタナ市における固形廃棄物処理

3.3.1 固形廃棄物処理の現状

アスタナ市の固形廃棄物には、非産業廃棄物・大型ゴミと家庭ゴミ（塵芥）の区分があり、これらは全てアスタナ市郊外の最終処分場において埋め立て処分されている。一般家庭を含め、アスタナ市内においては、固形廃棄物はコンテナに収集される。コンテナの容量は、0.75 と7のものがある。

アスタナ市の埋立処分場に集まる固形廃棄物は大部分が都市からの一般廃棄物であり、その種類はカザフスタン国の他の都市と同様に以下のとおりに分類され、それぞれ下表の量と割合となっている。

表I-3-1 アスタナ市廃棄物処分場の固形廃棄物

番号	固形廃棄物種別	2003年における廃棄物量	
		%	1000 m3
1	紙類(包装紙, 新聞, 雑誌, 吸殻等)	28.85	165.32
2	ポリマー廃棄物(ポリエチレン, その他プラスチック)	19.45	111.43
3	食品廃棄物(野菜, 芋皮, パン, 魚)	10.5	60.13
4	繊維(古着, 布靴, 綿, ロープ, 布切れ)	3.25	18.62
5	木材(ノコギリくず, 木っ端, 花)	4.95	28.36
6	ガラス(皿, 瓶, ガラスのかけら)	4.85	27.77
7	金属(鉄, 非鉄)	1.8	10.34
8	骨	-	-
9	灰・スラグ	26.35	150.97
10	皮, ゴム		
11	石, レンガ, 素焼きや陶製品のかけら	-	-
12	その他	-	-
	合計	100	572.96

(出典: アスタナ市)

また、固形廃棄物処分場に持ち込まれる産業廃棄物の量は、2003年での容積比で約5%程度となっており、その構成は下表のとおりとなっている。

表 I-3-2 アスタナ市廃棄物処分場の固形廃棄物の種別

番号	固形廃棄物の種別	2003年における廃棄物量	
		%	1000 m3
1	建設廃棄物	41.6	9.45
2	鉄類	20.5	6.45
3	非鉄金属	0.5	0.151
4	スラグ	15.3	4.81
5	鉄筋コンクリート類	5.6	1.76
6	皮・ゴム	6.7	2.108
7	ガラス, 陶器, 土	4.8	1.51
8	ノコギリくず, その他の木製廃棄物	5.0	5.22
	合計	100	31.46

(出典: アスタナ市)

3.3.2 アスタナ市固形廃棄物埋立処分場の状況

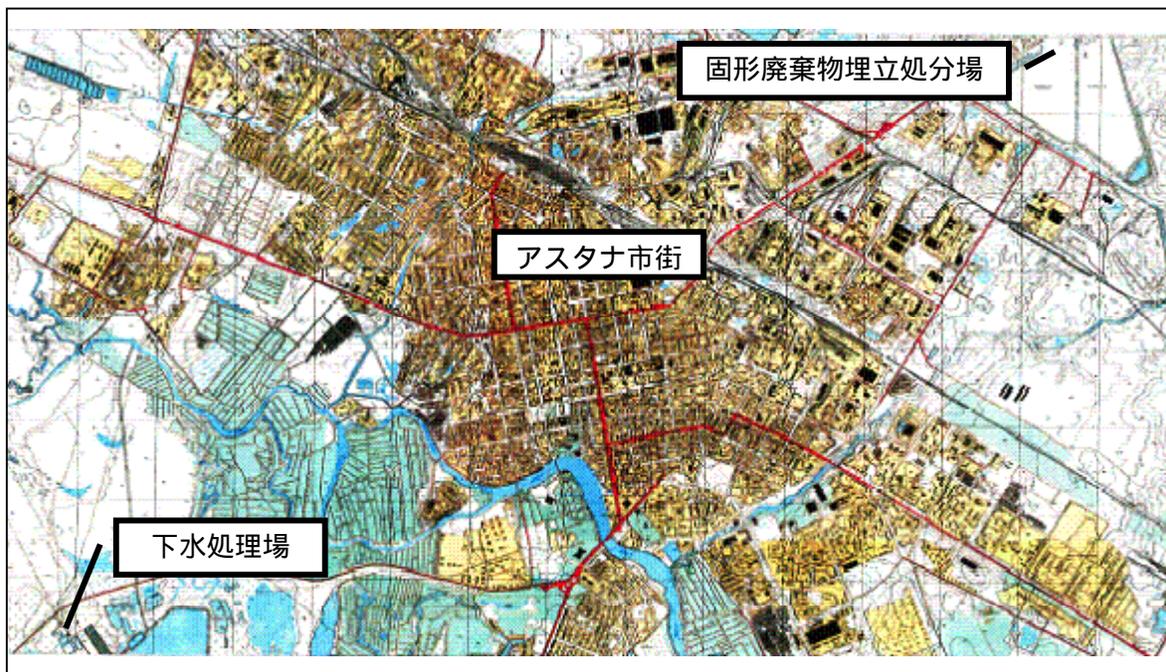


図 I-3-2 固形廃棄物処分場，下水処理場位置

アスタナ市の固形廃棄物埋立処分場は，アスタナ市街からペイロダールへ向かうハイウェイを6 kmほど北へ行ったアスタナ市国境にある。

固形廃棄物埋立処分場の北東と南東は若い森林に囲まれており，南側にはアスタナエネルギーサービスの第2熱電供給所（TETS 2号機）の灰捨場がある。

アスタナ市からの資料によれば，本固形廃棄物処分場は，1974年から運用されており，1999年9月20日からは，アスタナ市公益公社“Gorkommunhoz”の所有となっている。処分場の規模は，中央部のオープンピット部（深さ20m，面積6ha）を含めて65.6haである。1964～1978年の測量時点では上記オープンピット部の深さは35mであったが，現在は，地表から16～20mまで埋められているとのことである。処分場の周囲は，汚水の流出を避けるため，高さ1.0～1.5m，幅3.0～4.0mの堤に囲まれている。ピットの底部には，破碎ガラス，碎石，灰色石灰石が敷かれている。本施設の防護範囲は，“Sanitary Norms of Design for Industrial Facilities #1.01.001-94”に従い1000mと定められている。

処分する廃棄物の構成を定めた覚書によれば，本処分場に運び込まれる固形廃棄物の構成を廃棄物の毒性に応じ以下のとおりとしている。

- ・ 産業廃棄物（Production wastes）：12.7%（無害廃棄物11.7%を含む）
 - ・ 第4分類の有害廃棄物：88%
 - ・ 第3分類の有害廃棄物：0.05%
 - ・ 第1分類，第2分類の有害廃棄物は，本処分場にて処分しない。
- 英文標記は，アスタナ市提供資料に基づく

処分場は、9区画に分けられ、内6区画が常時運用されている。このうちの3区画は一般の固形廃棄物の保管のみに利用され風向や風力を考慮して夫々異なる時間帯に運用されている。別の3区画は、金属廃棄物、タイヤ、鉄筋コンクリート類の収集に用いられている。

廃棄物は軽いものがオープンピット部に飛んで留まるよう風上から投入される。気温が高い時期にはコンテナの洗浄も実施され、ゴミ運搬トラックの車輪洗浄を目的としたコンクリート舗装部分も設けられている。投入された固形廃棄物の移動には、ブルドーザが用いられている。

これまでのところ、処分場から500m、1000mの地点で採取された土壌の分析結果からは、本処分場において、土壌汚染の影響は見られていない。

本埋立処分場の使用は、2010年まで継続する予定となっている。

本調査において、後述する建設中の新埋立処分場の調査と合わせて、本処分場の現地調査を実施したので、以下に若干補足する。

アスタナ市ならびにアスタナ市公益公社からの公式回答や収集資料によれば、廃棄物埋立処分場の管理は十分行き届いているとしているが、実際には、十分な管理がなされていないのが実態である。しかし、事業者側は実態を外部に公表したくないらしく、現地調査に随行した関係者からは、現処分場の写真撮影等に対しても細かい注文が付けられた。

同様の理由から本処分場に対する近距離からの調査はできなかったが、処分場の各所で自然発火による廃棄物の燃焼が見られ、埋め立てによる嫌気状態から有機物が発酵し、可燃性ガスも発生していることが推察された。

なお、本処分場における廃棄物量の管理は、搬入するトラック台数×トラック1台の積載容量()による容量管理である。



写真 I-3-1 既設廃棄物処分場の現状

3.3.3 新埋立処分場建設プロジェクト

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いる。

「アスタナ市における固形廃棄物処理と生態学的状況の改善」"Modernization for termination of solid wastes and improvement of ecology situation in Astana"という固形廃棄物処分場に関する国家プロジェクトが、2002年8月16日付第124号で、国家生態系専門家から承認され、2002年10月7日付2-474/2002号により建設委員会プロジェクト評価委員会の国家専門家評価結果においても承認を受けている。本プロジェクトは、スペイン政府の開発援助基金による優遇借款を利用して実施されている。

本プロジェクトは、固形廃棄物処理近代化のコンセプトの下、新たな固形廃棄物埋立処分場の整備を行うほか、既設処分場区域の閉鎖と環境整備を行うこととしている。

新たな固形廃棄物処分場の整備に当っては、固形廃棄物処分場からの汚水収集・排水システム 特殊配管によるバイオガス収集・輸送システムを整備し、土壌汚染、地下水汚染、大気汚染の防止に努めるとともに、バイオガス収集・利用システムでは、収集したガスをバーナーによって燃焼処理することにしており、ガスセパレーターとバーナーを整備することとしている。バイオガスの成分は、メタン55%、二酸化炭素45%を見込んでいる。

なお、新たな処分場では、計量装置が導入され、固形廃棄物搬入時、搬出時のトラックの重量管理を行うことにより、廃棄物の重量管理が可能となる。

本プロジェクトの実施に対し、アスタナ市ならびにアスタナ市公益公社は極めて前向きであるが、整備コストが高いこと、設計が寒冷な気候を十分考慮していないことなどを懸案として捉えている様子であった。

新処分場の特徴は、以下のとおりである。

- ・ 面積 65ha。現在は、全体の 1/4 のエリアの建設が行われており、同エリアで 10～12 年、全てのエリアで 40 年程度の固形廃棄物処理が可能。
- ・ 運用開始予定は、2005 年 1 月。バイオガスの発生は 6 年後程度からを想定している。
- ・ 埋立方法は、底部の粘土層上部に排水管を敷設した上で、砂岩層、シート、廃棄物層（約 2m）、繊維質の透水性フィルム、被覆土（20cm）のパターンで 7 層を埋め立て、最上層はシート上に盛土をして植樹・緑化を行う。
- ・ バイオガス収集は、埋め立て時に水平に配管した収集管により行う。

また、本プロジェクトのスコープとして実施される既設処分場の閉鎖と保全の内容は以下のとおりである。

- ・ 既設処分場にもボーリングにより配管を施し、バイオガスを回収して新処分場の燃焼処理設備で燃焼する。
- ・ 排水についても、同様にボーリングによる配管とポンプアップにより回収を試みる。
- ・ 新処分場と同様に、表層の被覆と緑化による保全が実施される。

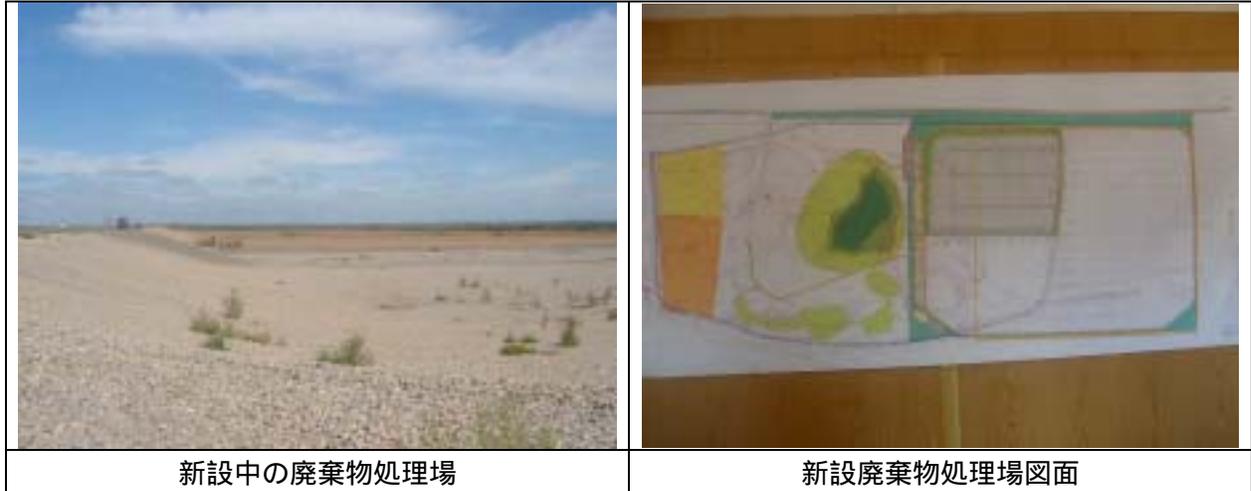


写真 I-3-2 スペイン援助による廃棄物処分場建設工事

3.3.4 固形廃棄物分別回収の動きについて

調査を通じ、環境保護省アスタナ市環境保護局をはじめ、複数の機関からゴミ分別回収に関する情報を得ることができた。

アスタナ市では、家庭や工場からのゴミ収集の方法を国際レベルにすることを目標として、様々な施策が検討されている。ゴミの分別回収もその一つであり、既に検討は開始されているが、その具体的なスケジュールは未定である。

現在検討されている案は、ごみの分別回収を2段階で実現しようとするものである。

第一段階：ゴミを回収後、分別施設で分別した後、リサイクル工場（Workshop）に回す。

第二段階：家庭や工場から出るゴミを分別回収とし、リサイクル工場に回す。

こうした、分別回収に関しては、既にイタリアやアメリカ合衆国等から、様々なプロポーザルがあるとのことであるが、費用負担の問題などの懸案を巡り現時点では議論は収束していない。

また、アスタナ市における現地調査中に、アルマティ市においてゴミの一部分別回収が開始されたとのテレビ報道もあり、その後の調査により実際に分別工場が稼働していることも判明した。

“REDUCE, REUSE, RECYCLE”が叫ばれているように、ゴミの分別回収とリサイクルは全世界的な潮流であり、アスタナ市が、国際レベルのごみ収集方法を目指す限り、避けては通れない道である。また、分別回収によるリサイクルの導入は、廃棄物埋立処分場の寿命を飛躍的に延ばす効果も有しており、人口増加の進むアスタナ市においては、自然な流れと考えることができる。

本調査においては、将来的なゴミの分別回収の実施を想定し、バイオガス発電事業の可能性を検討した。

3.4 アスタナ市における下水処理

3.4.1 アスタナ市における下水処理の状況

2003年の統計によれば、カザフスタン国では新設される住宅に対し、都市部では約50%、農村部では約10~20%に下水設備が設置されている。

「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）最終報告書：平成13年3月：国際協力事業団」では、2000年のアスタナ市の人口を約32万人、2005年には約40万人（実際には、2004年で約50万人に到達）と想定している。2000年時点の全世帯数に対する公共下水道接続率は、70%となっている。

アスタナ市の下水道システムは、1950年代に市の中心として栄えていた鉄道駅周辺地域において建設された。その背景には、バージンランド灌漑計画が提唱され、その輸送の中心都市としてツェリノグラード（現アスタナ市）が選定されたことがある。下水道システムは1959年に建設が開始され、下水処理場は1970年に完成した。

下水道システムの整備に合わせ、上下水道を管理・運営する公営企業としてゴルボドカナルが1964年に設立され、2000年に現在のASAに改称している。下水道は分流式であり、雨水排水システムは、固形廃棄物処理を手がけるアスタナ市公益公社が運営している。

上記調査によれば、1999年平均の流入下水量は、87,000 /日となっているが、今次現地調査時の聞き取りでは、通常時の流入量が92,000~100,000 /日、春の融雪時には162,000 /日の流入量になるとのことであるが、分流式の下水道システムで融雪出水に大きな影響を受ける原因については、未確認である。表I-3-3に下水処理場への流入下水量データ（1999）を、表I-3-4に同時点における汚濁負荷指標を、表I-3-5に既存下水道システムの概要を、表I-3-6に既存下水管の概要を示す。

同調査によるアスタナ市の下水道システムの特徴としては、汚水だめや浄化槽を使っている人口比率が高く、ポンプ場が非常に多いことが挙げられている。

また、既存の主要下水管渠については、調査当時の流量に対して十分な容量であるとしながらも、以下のような問題点を指摘している。

- ・ 老朽管の更新計画がない。
- ・ 圧送用鋼管は保護処理がされていない。（25~50損傷/100km/年）
- ・ マンホール蓋の品質が悪いため雨水が流入している。
- ・ マンホール蓋が損傷したり紛失しているため異物が投入されている。
- ・ 流路閉塞箇所が多い。（約1,500箇所/100km/年）
- ・ 中継ポンプが古く効率が悪い。（ポンプ効率30~50%）
- ・ ポンプの故障が頻繁に起きている。（1.5回/台/年）
- ・ 電気、機械設備が老朽化している。

表I-3-3 下水処理場への流入下水量

区分	1999年平均 (/日)
家庭下水	55,700
その他	23,400
小計	79,100
推定浸入水	7,900
合計	87,000

(出典：カザフスタン アスタナ新首都総合開発計画調査 事前調査団報告書：平成11年12月，国際協力事業団)

表I-3-4 汚濁負荷量(1999)

主要汚濁物質	汚濁量(kg/日)
BOD ₅	15,600
SS	17,600
COD	34,800

(出典：カザフスタン アスタナ新首都総合開発計画調査 事前調査団報告書：平成11年12月，国際協力事業団)

表I-3-5 既存下水道システムの概要

項目	2000年
対象面積	3,500ha
接続家屋数	61,000戸
公共下水接続率	70% (全世帯数)
汚水だめ/浄化槽比率	30% (全世帯数)
管渠延長	306km
マンホール	5,300箇所
ポンプ場	32箇所

(出典：カザフスタン アスタナ新首都総合開発計画調査 事前調査団報告書：平成11年12月，国際協力事業団)

表I-3-6 既存下水管の概要(2000) (単位：m)

材料 管径(mm)	陶製	アスベスト セメント	鉄筋 コンクリート	鋼管	鋳鉄管	ポリレン	計
<=150	15,935	15,294		3,490	32,092	2,240	69,051
200-300	13,170	27,158	296	2,392	37,573		80,589
325-600	3,597	3,232	1,840	24,431	15,317		48,417
700-900		52	10,732	1,942			12,736
1000-1500			15,062				15,062
小計	32,702	45,736	27,930	32,265	84,982	2,240	225,855
地域システム							80,000
合計							305,855

(出典：カザフスタン アスタナ新首都総合開発計画調査 事前調査団報告書：平成11年12月，国際協力事業団)

3.4.2 アスタナ市下水処理場の状況

アスタナ市下水処理場は、アスタナ市南西8kmに位置する。下水処理方法は、生物処理による活性汚泥法であり設計処理容量は136,000 /日である。好気性処理の余剰汚泥処理については、高温嫌気性消化を行っており、アスファルト乾燥床にて天日乾燥後投機処理している。

処理場の主な設備は以下のとおりである。

- ・ 機械式除塵機3台（スクリーン間隔16mm） 流入3系列
- ・ 下水流入ポンプ5台（定格吐出量750l/s/台（2700 /h/台），電動機出力400kW）
- ・ 除砂池10ユニット（長さ15m×幅2m）
- ・ 最初沈殿池6池（直径28m）
- ・ 曝気槽4列（長さ476m×幅8m） 現地調査時は、稼動中2系列，改修中2系列に加え，2系列を増設中（モスクワプロジェクト（後述））
- ・ 最終沈殿池10池（直径28m）SS除去率94～98%
- ・ 処理水排出ポンプ場5台（定格吐出量750l/s/台）
- ・ 濃縮槽2池（直径20m）
- ・ 高温嫌気性消化槽2槽（2,500 /槽）水封式
- ・ 蒸気ボイラ3基（4.5t/時/基，燃料石炭2，ガス1，所内暖房共用）
- ・ ガスタンク2基（1,000 /基）
- ・ 汚泥乾燥床（2床×7,000m²，11床×2,700m²）

処理水は、農業向けの再利用を目的としてタルデコル貯水池（延長10km，面積21km²，容量65.2百万 ）に放流されているが、灌漑計画は中断され、現在は基本的に表面からの蒸発散により処理されている。しかし、春の融雪出水時には、余剰水を貯水池西側の湿地帯ならびにイシム川へ放流している。

下水処理場は、概ね設計どおりに運転しているが、これまでの各種調査や今回の現地調査を通じ、以下のような欠陥があることが判明した。

- ・ 除砂池のコンクリートが老朽化している。
- ・ 流入及び吐出ポンプ場のポンプ効率が低い。
- ・ 電気，機械設備が老朽化して信頼性に乏しい。
- ・ 送風機が老朽化している。
- ・ 返送活性汚泥ポンプが老朽化している。
- ・ 汚泥の濃縮が不十分である。
- ・ 嫌気性消化槽2槽のうち1槽が屋根の破損により停止中。
- ・ 嫌気性消化槽での滞留時間が短い（6日）。
- ・ 嫌気性消化槽は高温発酵の設計（53～55 ）であるに拘わらず，加温用の蒸気配管が壊れるなど，実際は中温・低温発酵で運用されている。
- ・ 乾燥汚泥床の数が不足している。
- ・ 最初沈殿池と最終沈殿池の数が不足している。

- ・ ボイラが老朽化して信頼性に乏しい。

上記全ての機器は手動であり自動弁等は一切ない、また、トラブルも多いため運転員は24時間体制で勤務している。また、設備以外の問題として、ASAにおけるメンテナンス費用の予算が、電気代、水道代、人件費に限られ、機器の補修や部品交換の費用計上が法律により禁じられており、設備補修は作業員による切り貼り作業となっていることも大きな問題である。

処理場の所内電力消費は、通常51,000kWh～52,000kWh/日、最大時で60,000kWh/日程度である。電力は、下水処理場に近接しているアスタナ市への電力供給用変電所から受電している。

嫌気性消化槽におけるガス発生量は、最大で2500 /日程度であるが、設計値としては4000 /日まで可能となっている。嫌気性消化槽の加温や場内の熱供給を目的として石炭ボイラ2基とガスボイラ1基が設置されているが、現在、夏季には熱需要がないため使用しておらず、冬季にのみ石炭焼きボイラをベース用として用い、ガスの貯留量に応じてガスボイラを使用している。

写真I-3-3 アスタナ市下水処理場の状況



砂沈池への送水ポンプ



砂沈池への送水管



ボイラ室



ボイラ (奥:石炭ボイラ×2,手前:ガソボイラ×1)



沈砂池



最初沈殿池



エアレーションタンク



最終沈殿池



嫌気性消化タンク（2基）



嫌気性消化タンク上部



バイオガスタンク（2基）



嫌気性消化タンク加温用蒸気配管（修理中）

	
<p>下水処理場に隣接する変電施設</p>	

3.4.3 JBICプロジェクト

アスタナ市下水処理場においては、現在、国際協力銀行（JBIC：Japan Bank of International Cooperation）の援助による円借款事業が実施されている。

本事業は、カザフスタン国が国家プロジェクトと掲げる「アスタナ新首都総合開発計画」に鑑み、首都インフラのうち、とりわけ老朽化が深刻な上下水道の早急な改修に対する日本からの支援を希望し、1999年12月のナザルバエフ大統領来日時に円借款供与の正式要請がなされたものである。これを受け、国際協力事業団（JICA）の開発調査が実施され、アスタナ市総合開発マスタープランと共に上下水道整備事業のフィージビリティ・スタディ（前述）が作成された。

同事業での目的は、カザフスタンの新首都アスタナにおいて、老朽化した既存の上下水道設備の改修・拡充を行うことにより、安定的な上下水道サービスへのアクセスを可能とすること、同市の水道メーターの設置等により適正規模の水使用を促す環境を整えることに寄与することの2点であり、借款資金（213億6,100万円限度）は、上下水道設備の改修・拡張・水道メーターの設置に必要な資機材調達、土木工事及びコンサルティングサービスに充当されている。

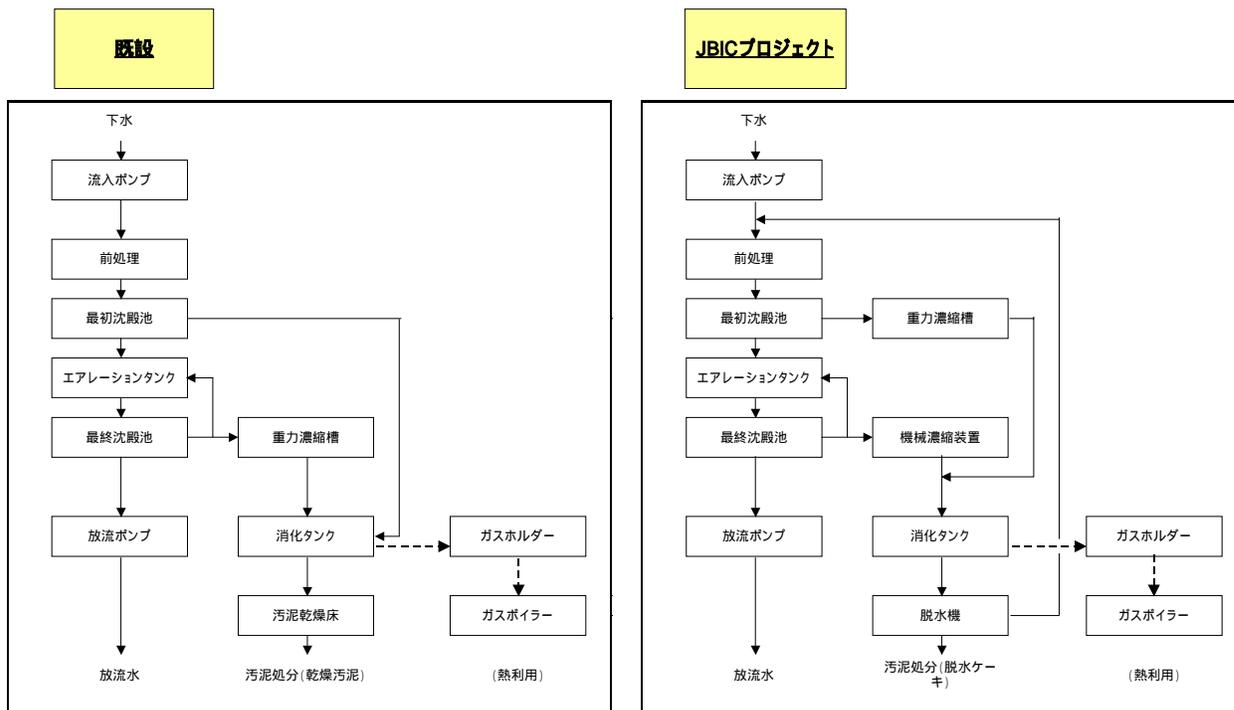
本円借款事業の一環として、アスタナ市下水処理場の改修が計画されており、現在、2005年5月の着工、2008年の運用開始を目指して、事業実施に向けた各種調達のための入札書類の作成、入札手続の準備等が最終段階を迎えているところである。

JBICプロジェクトにおける下水システムならびに下水処理場に関する主な事業項目は、以下のとおりである。下記のほか、生物処理による脱臭、脱硫装置の設置も予定されている。

表I-3-7 JBICプロジェクトによる下水道システム・下水処理場の事業内容

分類	項目	仕様	
下水処理場関係	下水処理設備 (136,000 /d)	取水口スクリーン	既設スクリーン設備の交換
		流入ポンプ	既設ポンプの交換と建屋の改修
		流入管	受水槽やポンプピット - 沈砂池間等の管路交換
		沈砂池	沈砂池(2槽)の建設
		最初沈殿池	機器を含む既設6沈殿池の改修ならびに2沈殿池の新設
		ブローワー設備	ブローワー設備(5基)の交換と建屋の改修
		エアレーションタンク	タンクの改修
		最終沈殿池	既設10沈殿池の改修と2沈殿池の新設
		汚泥返送ポンプ	ポンプ(5基)の交換とポンプ室の建設
		放流ポンプ	既設放流ポンプの交換
		プラント内管路/水路	3000m
	汚泥処理設備	重力式濃縮槽	機器, ポンプ, タンクカバーの交換
		余剰汚泥用機械式濃縮槽の導入	機械式濃縮槽の設置, ポリマー供給設備, 各種タンクの設置
		汚泥消化槽の改修	既設タンクへの攪拌装置の導入と加温装置の交換
		消化関係機器の改修	ボイラー, ガスホルダーの交換
		汚泥脱水装置	脱水装置, ポリマー供給装置, 汚泥ケーキ運搬装置の設置と脱水建屋の建設
	共通設備	測定/実験設備	実験装置
		電気設備	一式
		構内整備	一式
監視/制御システム		一式	
下水道システム	中間ポンプ場	17ポンプ場の回収と関連機器の交換	
	下水管	21kmに及ぶ管路の交換	
	マンホール蓋の改修	5,300のマンホールカバー交換	

(出典: アスタナ市上下水開発公社他による)



図I-3-3 既設下水処理場とJBICプロジェクト完了後のフロー図

以上のようにJBICによる整備事業が進行しつつあるアスタナ市下水処理場であるが、ASAからの聞き取りによれば、JBICプロジェクトでは、計画に当り2008年における人口を50万人と想定しているが、実際には、アスタナ市の人口は2004年時点で既に50万人に到達したとのデータがある。また、JBICプロジェクト実施後の設計処理能力は、136,000 /日で、現状の設計能力と変化はない、これは、人口増加による下水量の増加要因に対し、水使用効率の向上による下水量減少要因を考慮した結果であるとのことである。

現在、アスタナ下水処理場では、JBICプロジェクトに先行してモスクワプロジェクト(後述)が実施中であり、両プロジェクト完成時には、処理能力は254,000 /日に増強され、2010年までの処理能力は確保されるとしている。

なお、後述する本調査におけるプロジェクト立案に用いた各種諸元は、JBICプロジェクトの実施を前提としている。

3.4.4 モスクワプロジェクト

アスタナ市下水処理場では、JBICプロジェクトとは別に、もうひとつの投資プロジェクト「蒸発貯水池タルデコル湖の消滅と再農地化」が、モスクワを拠点とするロシア企業のコンソーシアム「Hydro Stroy Invest」により実施されている(通称「モスクワプロジェクト」と呼ばれている)。

本プロジェクトでは、下水処理システムの再建(拡張と技術機器の入替)とタルデコル貯水

池の消滅と再農地化を含んでいる。プロジェクトでは、タルデコル湖の低泥処理と利用のため、機械式汚泥脱水プラント（118.0 /日：ベルトプレス式6台）の導入も計画されている。

また、本プロジェクトは、第一期と第二期の2段階に分かれており、第一期では、単段のA20法を用いたエアレーションタンク2槽を増設するとともにタンク上部に担体が充填され、処理水中の燐、窒素の低減を図ることとしている。さらに、第二期では、急速砂ろ過による湖沼水の高度処理プラントを計画している。

本プロジェクトの対象は、タルデコル貯水池であり、計画では、貯水池の水を処理し、約40km先のカラビダイク貯水池へポンプ圧送することになっている。カラビダイク貯水池への途中には、建設中のプランテーションがあり、夏季には放流水を灌漑用水として利用し、冬季はカラビダイク貯水池へ貯留することとしている。カラビダイク貯水池では、魚の養殖も計画されており、急速砂ろ過装置は、養魚に対する水質規制をクリアするためのものである。

JBICプロジェクトとモスクワプロジェクトとは、それぞれ、下水処理場のリハビリ、タルデコル湖の消滅を目的としていることから、双方がミーティングを行い、棲み分けをしている。

モスクワプロジェクトの目的は、上述のとおり「タルデコル貯水池の消滅」であるが、ここでその背景について、若干補足する。

本プロジェクトは、アスタナ市下水処理場の処理水を貯留しているタルデコル貯水池の水質が悪化し、悪臭を発生しているとの噂を大統領が憂慮し、タルデコル貯水池の消滅を命じたことに端を発する。

しかしながら、現実には、タルデコル貯水池の水質は比較的良好であり、硝酸性窒素濃度が若干高い程度で、魚も多く棲息している。

実は、アスタナ市下水処理場付近の悪臭の原因は、処理場による汚泥の投棄にある。アスタナ市下水処理場では、現在、天日乾燥した汚泥を、乾燥床のそばの更地に投棄している。前述したように、現処理設備における消化槽における滞留時間は、6日間と短く、加温も充分でないことなどから、汚泥は未消化のまま天日乾燥に回され投棄される。これが悪臭を放ち、付近の住民は、タルデコルからの悪臭と勘違いしているのである。汚泥の投棄は、厳密には不法投棄であるが、行政側も黙認している形となっている。また、汚泥を農業用に再利用しようにも、農民は困窮しており輸送コストを負担できないでいることも、こうした現状の原因となっている。

モスクワプロジェクトの設備は、タルデコル貯水池の消滅後は、流入下水の高度処理用に転用されることになるが、今後の事業によって、根本原因が解決されることを期待したい。

モスクワプロジェクト第一期の完成は、2005年の予定である。



建設中のモスクワプロジェクト（写真奥）

写真I-3-4

第4章 カザフスタン国の電力事情

4.1 電力分野におけるカザフスタン国の法制度

20世紀末の管理統制経済から市場経済への移行を受け、カザフスタン国では法制度を改善し刷新する必要があった。カザフスタンの独立からおよそ15年間に亘り、電力分野の法制度においても大きな変更が実施され、現在では、カザフスタンはソビエト時代の法律や規制は一切適用していない。

カザフスタンにおける法制度の変更には長い道のりを要した。当初、エネルギーセクターの活動は1995年12月23日のカザフスタン共和国大統領令により統制されていた。しかしながら、急激なエネルギーセクターの開発に対応し、上記大統領令は、現実に即した継続的な修正を余儀なくされ、ついに、1999年7月16日、カザフスタン国は、「電力セクター法“Law of Electrical Energy Sector”」を制定し、2004年7月9日には、新たな「電力セクター法」が公布された。この新法は、発電、送電、配電の各市場の法的な関係を広くカバーしていると同時に、将来的な市場開発に対応するため、新たに競争の概念を導入するものである。

経済一般に対するエネルギーセクターの重要性に鑑み、新法では、権限機関に代表される国家の本分野における管理の基礎を固めている。本法によれば、国家の電力管理は、エネルギー需要に対し消費者を最大限満足させなければならず、熱・電力市場の参加者の権利を保護し、競争市場の安定的な運用を提供するものでなければならないとしている。

現在、カザフスタン国政府は、電力セクターの基本的方向付けを行っているところであると言える。基本的に、カザフスタン電力セクターは、電力分野の基本関係を規定する2004年7月9日付の電力セクターの法律よりも、カザフスタン共和国憲法の条文により規制されており、エネルギー生産者、エネルギー消費者、エネルギー輸送者を定義する2000年12月7日付「電力の使用上のルール」や、送電線に関する規定を定めた2001年12月24日付の「電力グリッドルール」も存在している。

また、国家、州、エネルギー会社等、全ての関係者の利害関係や調整に関する電力に関する法的基礎を見直す必要も叫ばれている。

4.2 電力事情の概要

カザフスタンには5ヶ所の水力発電所を含む71ヶ所の発電所があり、全体の発電量は約18GW、可能発電電力量は約800億kWhである。うち88%が火力、12%が大規模水力発電である。火力発電の燃料構成は、75%が石炭、23%がガス、2%が油となっており、北部の石炭産出地域の石炭焚発電所でほとんどが発電される。水力発電所は基本的に中国からカザフスタン北東部を流れるイルティシ川沿いに位置している。

カザフスタンの電力消費は1990年にそのピークを迎え、独立後、経済活動の冷え込みにより発電・電力消費ともに大きく落ち込んだ。しかし、2000年以降の好景気によって2001年には524億kWhまで発電量を持ち直し、電力消費も484億kWhとなった。この年、独立以降初めて発電量が消費量を上回ったものの、これも最盛期の半分でしかない。2003年の発電電力

量は約 610 億 kWh であり、年率 4.5%程度で増加している。2004 年の発電量の予測値は約 700 億 kWh である。

10 年間に及ぶ電力消費の減少は主に火力発電に影響を及ぼした。水力発電量はこの間一定である。そのため、水力発電の割合は 1992 年の約 2 倍である 20%をも占めており、中国のアルタイ山脈を水源とするイルティシ川がますます重要な水源となっている。

カザフスタンは数字の上から見れば需要に合うだけの発電量があり全体としては電力輸出もしているが、地域によってはアンバランスが生じている。その大きな理由は、旧ソ連時代に築き上げられた送電ネットワークである。同ネットワークは国内で大きく三分割されており、二つはロシアネットワーク、もう一つは中央アジアネットワークとなっている。これら各々のリンクがなされていないため、自給自足することができないのが現状である。例えば、北部の発電所が別の送電網に接続しているため、今後も南部で電力を輸入する必要がある。2004 年上半期で 32 億 kWh の電力を輸出しているが、一方で、17 億 kWh の電力を輸入している。

また、電力業界の老朽化したインフラのため、1992 年以降、頻繁に電力不足が起こっている。450,000km にも及ぶ電力網の送電配電中に多くのエネルギー損失が含まれるとともに、電力インフラが広範に老朽化しているため、消費者に届くまでに平均約 15%の損失がある、と言われている。

カザフスタンは発電所の民営化を進めているが、地域の送電会社の売却はそれほど早くは進んでおらず、配電網の半数以上は民営化されていない。国营電力網管理会社（KEGOC）は経営権を民間企業数社に移譲したが、まだ高圧送電線・変電所・中央給電設備の管理を保有している。

電気代の未払い、不適切な回収システム、市場ベースの交通料金の不備などが、カザフスタンの送電/配電部門へのより大きな投資を阻害している。旧ソ連時代には、発電コストや投資ニーズと関係なく設定された固定料金の制度を利用していた。国の独占禁止委員会は電力料金を他国に合わせ、市場が送電料金を決定するように働きかけている。2001 年 7 月 1 日に KEGOC は送電料金を全国的に平均約 23.7%値上げした。

一般に、カザフスタンの電力、熱供給価格は安価であるが、この原因には、豊富な国産燃料 - 石炭の存在が挙げられる。石炭の価格は、USD8/ton 以下である。カザフスタン国のエネルギーセクターの政策方針においては、発電は石炭を基礎としつつ、小水力、バイオマス、風力等の再生可能エネルギーも開発すべきとしている。また、経済面、環境面への配慮から、随伴ガスの発電利用、既設機器の近代化や拡張、ガス精製設備の導入による発電の開発を重要な技術項目と位置付けている。

表 I-4-1 カザフスタン国の発電電力量と消費電力量の推移

	1999	2000	2001	2002	2003
発電量(Billion kWh)	47.5	51.4	56.0	59.0	61.0
消費量(Billion kWh)	50.7	53.6	55.0	57.0	59.0

(出典：エネルギー天然資源省)

表 I-4-2 カザフスタン国の発電所の定格出力と発電量の増加

段階	期間	発電所の定格出力					発電量 Billion kWh
		計 (10%kW)	非火力発電所		火力発電所		
			10%kW	%	10%kW	%	
I	1920-1928	0,009	-	-	0,009	100	0,007
II	1928-1940	0,224	0,037	16,5	0,187	83,5	0,632
III	1940-1945	0,384	0,044	11,5	0,340	88,5	1,150
IV	1946-1962	4,340	0,910	21,0	3,430	79,0	13,380
V	1963-1968	7,220	1,220	16,9	6,000	83,1	27,400
VI	1969-1990	16,954	2,041	12,0	14,913	87,9	83,034
VII	1991-2000	18,132	2,227	12,3	15,545	85,7	51,423

注) 発電量は、各ステージ最終年の値

(出典：気候変動コーディネーター)

表 I-4-3 カザフスタン国における電力消費予測

項目	年			
	2005	2010	2020	2030
カザフスタン国計	62.20	72.10	98.20	114.30
- 産業	39.06	42.16	50.01	57.15
- 住宅その他(農業,小規模商業)	12.40	18.28	32.46	50.20
- 送配電損失	3.72	4.76	6.90	9.14
- 非産業損失	6.82	7.20	8.83	9.14

(出典：アスタナエネルギーサービス)

表 I-4-4 家庭用の熱ならびに電力料金 (除 VAT)

熱エネルギー	KZT/ 1 Gcal	電力	KZT/ 1 kWh
Pavlodar	817.3	Semipalatinsk	2.33
Ust-Kamenogorsk	1338.0	Ust-Kamenogorsk	2.51
Aktobe	1253.5	Atyrau region	2.72
Aktau	1479.1	Pavlodar	2.74
Atyrau	1446.7	Mangistau region	2.93
Astana	1400.0	Shymkent	3.62
Taraz	2843.0	Astana	3.69
Kokshetau	1583.9	North Kazakstan region	3.70
Petropavlovsk	1493.0	West Kazakstan region	3.83
Karaganda	1646.5	Almaty	4.17
Uralsk	1609.7	Aktobe	4.31
Akmolinsk region	1160.7	Karaganda	4.40
Almaty	1687.1	Kostanai region	4.83
Shymkent	2027.3		
Kyzyl-Orda	2966.9		

(出典：アスタナエネルギーサービス)

4.3 電力セクターの基本区分

現在、カザフスタン国の電力セクターは、以下の3つの基本区分から成り立っている。

- ・ 国家的に重要な大型発電所
電力のベースとなる部分を供給している大型の発電所で、エキバストス第一、第二発電所 (Ekibastuz GRES-1 and GRES-2)、アクス発電所 (Aksu GRES)、カラガンダ発電所 (Karaganda GRES-2)・イルティシュ発電所群 (Irtysh cascade GES – Bukhtarma GES)、ウストカメノゴロスク発電所 (Ust-Kamenogorsk GES)、シュルピンスク発電所 (Shulbinsk GES) がある。
- ・ JSC KEGOC の国家電力網
電力の送配電サービス、電圧調整、国際融通や他国の送電網との協力を行う。
- ・ 地域電力会社
熱電併給、エネルギー供給を行う。地域レベルの発電所、地域配電会社 (REK) で都市や住居地区への熱供給も行う。

この体制は、1996 1997 年の電力再構築のための国家プログラムの実施によりカザフスタンに形成されたものである。プログラムには「電力民営化と再構築」と「1997 2000 年の電力市場の更なる開発プログラム」の2つの基本プログラムがある。

4.4 国家的に重要な大型発電所の現状と課題

4.4.1 大型発電所の現状

- ・ エキバストス第一発電所 (Ekibastuz GRES 1) は、8基のうち4基が運転中である。各基の出力は500 MW。2002年のエキバストス第一発電所の発電電力量は5.1 billion KWhであった。
- ・ エキバストス第二発電所 (Ekibastuz GRES 2) では、500 MW 2基が運転中である。2002年の発電電力量は4.47 billion KWhである。
- ・ アクス発電所 (Aksu GRES) は、全7基のうち5基が運転中である。各基の出力は300MWで、2002年の発電電力量は8.25 billion KWhである。
- ・ カラガンダ第二発電所 (Karaganda GRES 2) は、全基が運転中である。7系列(6 x 100 MW + 1 x 60 MW)があり、2002年の発電電力量は3.12 billion KWh。
- ・ イルティシュ川発電所群は、カザフスタン統一エネルギーシステムの予備力と位置付けられている。
- ・ ブクトアルマ発電所 (Buktarma GES) は、公称出力675 MWで冬季の水利用が制限を受けない。貯水容量49.6 billion ,2002年の発電電力量は2.77 billion KWhである。
- ・ ウストカメノゴロスク発電所 (Ust-Kamenogorsk GES) は、公称出力331.2 MW。2002年の発電電力量は1.67 billion KWhである。
- ・ シュルピンクス発電所 (Shulbinsk GES) は、公称出力702 MW。2002年の発電電力量は、1.77 billion KWhである。

4.4.2 大型発電所の課題

エネルギー研究所と KEGOC が実施した予測によれば、日平均ベースのカザフスタン国の電力消費量は、2005 年に 62.5 – 67 billion KWh (min. – max.)、2010 年には 75 – 82 billion KWh、2015 年には 86 – 95 billion KWh になると想定されており、このエネルギー消費をカバーするためには、既存のあるいは新設の発電設備により、発電量を 2003 年レベルの 1.5 – 1.65 倍にする必要がある。

しかしながら、2015 年にはカザフスタンの既存発電所の出力の約 58%は老朽化が進行（約 10620MW）することが予測されており、その 72.5% が国家的に重要な大型発電所である。この対策として、蒸気タービンやボイラの最も老朽化する部分を交換することにより、大型発電所の寿命を 30%延命することが求められている。専門家の分析によれば、この事業には約\$ 770 million が必要である。何の措置もとらなければ、国家的重要発電所の出力減は、2015 年には 2912 MW になるとされている。

一方、複合型の地域発電所は、電力ばかりではなく熱エネルギーを供給している。この種の発電所の老朽化は、電力ばかりでなく熱供給不足をもたらすことになり、熱水や暖房サービスの停止は、社会的な軋轢を生み出すことになる。地域熱電併給所の刷新には約\$300 million が必要である。

都市や住宅地域へ熱供給を行っているネットワークは、概ね 30-40 年前に建設された。現時点では、その多くは老朽化が進んでいる。都市や村落への熱供給の信頼度は、発電や熱製造の暗影だけではなく、熱供給ネットワークにも依存している。検討によれば、交換を要する熱供給ネットワークの範囲（16~25 年経過程度）は、全体の 20~50%に上り、危機的な事態を避けるため、老朽化した熱供給ネットワーク交換への投資増加が望まれている。

4.5 送電・配電

カザフスタンの送電・配電網は 3 つのシステムに分割されている。北部に 2 システム、南部に 1 システムで、それぞれが外部の網と接続している。しかし、この送電システムはまだ十分に連結がされていない。北部の網は国のほとんどの電力を発電している石炭焼き発電所に連結しており、近年ロシアへ電力を輸出し始めた。2003 年 1 月からはエキバスツス 2 号発電所も北方への電力輸出を開始した。反対に、中央アジアネットワークに接続している南部系は、発電容量が不足しているため、近隣のキルギスタンとウズベキスタンから電力を輸入せざるをえなくなっている。

南部が値段の高い輸入電力に大きく依存していることから、KEGOC は既存の 600MW 容量の送電線を補強するため、2 本目の南北電力線を建設することを検討している。これが完成すれば、国内で発電した電力を南部にも十分に供給することができるようになる。この送電線の建設コストは約 3 億ドルと見積もられている。電力部門の近代化のために他の計画もある。KEGOC は 2003 年に 1 億 5000 万ドルの投資をし、高圧送電線の改修、自動変電所の改修、新配電設備の購入をする計画をしていた。2003 年の投資は更に大規模な 2 億 5840 万ドルのプロ

プロジェクトの1部であり、世界銀行と欧州復興開発銀行から資金援助をこのプロジェクトに提供する予定である。

KEGOC の送電業務と地域電力会社の配電業務の境界は電圧によって決まっており、1100kV、500kV、220kV の高圧線を KEGOC が、110kV 以下の低圧線を地域電力会社が運営している。

4.6 カザフスタン国における電力自由化

カザフスタン国では、2004年7月の新電力法の成立を機に電力自由化が進められてきている。

現在、各発電所は独立しており、全ての発電所が、民間もしくは市や州政府の所有となっている。また、電力卸売市場も存在し、エキバストス発電所等の大型発電所は、発電量の全てを卸売市場に供給しており、地域の電力会社（Energo）も、余剰電力を電力卸売市場に販売している。

大型の工場等は、直接卸売市場から電力を購入しており、地域電力会社も地域の熱電併給所からの供給で間に合わない場合には、卸売市場から電力を調達している。地域電力会社は、これまでは配電と販売活動を実施してきたが、新電力法の下では、配電業務に特化し、販売業務は分離されて競争が導入されることになっている。

卸売電力価格については、競争で定まるため一概には言えないものの、平均的に $1.2 + 0.45KZT/kWh$ ($0.9 \sim 1.0 \text{ ¢}/kWh + \text{託送料}$) 程度とのデータもある。送電線による電力輸送価格については、KEGOC の業務であり、一定のルール（600km までは距離に応じて増加し、それ以上は一律 $0.7kZT/kWh$ ）に従って価格が決められている。

新電力法下の KEGOC は、送電線の管理者であるとともにシステムオペレーター（給電指令システムの管理者）としての役割を担っている。卸売市場には中央市場とバランシング市場があり、中央市場のオペレーターは、独立会社（オーガナイザー）が指定され、バランシング市場のオペレーターは、システムオペレーターである KEGOC がその役割を果たすことになっている。カザフスタン国の電力取引の多くは、非中央市場で行われ、中央市場で日ベースの取引が行われ、バランシング市場が最終市場の役割を果たしている。

また、新電力法では、小売市場に競争を導入することも謳っている。

4.7 再生可能エネルギーの状況

カザフスタン国では、370MW が再生可能エネルギーによって発電され、そのうち 360MW が小水力によるものとされている。これら小水力は、環境に影響を与えない程度の小規模のものであり、最大でも 30MW 程度である。風力と太陽光発電に関しては、商業ベースのものはカザフスタン国には存在していない。（出典：Development program for the unified electric power system of the Republic of Kazakhstan for the period 2010-2030 and completion of elaboration of the strategy of the development of the fuel power complex till 2015. (2003)）

政策・制度面では、エネルギー効率法という法律が存在し、再生可能エネルギーの利用促進を推奨しているものの、優遇制度等は存在していない。これは、上述した電力自由化の観点か

ら、再生可能エネルギーに対するインセンティブ制度が市場メカニズムを歪めることになると考えられているためである。しかし、豊富で安価な石炭の存在もあり、カザフスタン国における再生可能エネルギー普及はあまり進んでいないのが実情である。

カザフスタン国では、150～200もの小水力発電所が存在し、20年以上前に停止したままのものも少なくない。これらに発電機器を再度設置するという計画もある。また、カナダの援助機関である CIDA は、アルマティ近郊で既設のダム水路を利用した小水力パイロットプロジェクトを開始している。

風力については、アスタナ市近郊で 4kW のテスト機が導入されたほか、カスピ海周辺や中国国境付近で 6m/s～10m/s の平均風速の地域があり、GEF の援助の下、中国国境のジュンガルゲートで、5MW 程度のパイロットプロジェクトが実施予定である。ジュンガルゲート周辺のポテンシャルは、 2×10^{12} kWh とのデータもある。カザフスタン国政府は、「2030 年までの風力開発プログラム」を策定している。

太陽光発電については、カザフスタン国は高緯度の割には気候条件に恵まれており、比較的日射量は多いが、経済的理由から砂漠地帯や半乾燥地域の人口非密集地域における電化等への活用が検討されてきている。

地熱については、南部を中心に 80～120 の中低温熱水資源が広く分布し、ポテンシャルは高いとの評価を受けているが、発電への利用はなく、今後の活用が期待されている。

バイオガスについては、農家における家畜糞尿や野菜屑等による小規模なガス利用（非発電）システムが細々と利用されている一方、24kW 程度の小規模な発電が可能なシステムの農家への導入実績も過去に 2 件程度報告されている。また、本プロジェクトの調査対象であるアスタナ市下水処理場においては、下水汚泥の嫌気性消化によるバイオガスを場内の熱供給に利用した実績もあるが、数 MW 級の比較的規模が大きなプラントの実績はない。

（出典：Renewable Energy Resource Assessment, #14.0 Kazakhstan : European Bank for Reconstruction and Development (2002)）

4.8 アスタナ市の電力事情

4.8.1 電力供給の現状

アスタナ市の電力供給は、アスタナエネルギーサービス（Astanaenergyservice：以下「アスタナエネルギー」）が行っている。アスタナエネルギーは、アスタナ市全域の配電に加え熱供給も実施している。これらの電力、熱を生産しているのが、アスタナエネルギーの一部門であるアスタナ熱電併給所（以下「アスタナTETS」）である。

アスタナ市のピーク需要（冬季）は毎年12月22日頃に発生し、およそ200～250MWであるが、人口の増加とともに毎年5～6%の伸びを示している。また、アスタナ市の電力消費量は、1.5BillionkWh/年である。これに対し、アスタナTETSの設備容量は260MWと余裕があるが、実際に稼動可能な設備出力は220MW程度であり、通常気には基本的にアスタナ市における電力消費量をカバーできるが、冬季には10%程度の不足が発生するため、電力卸売市場から調達している。調達先は、エキバストス石炭火力発電所である。

アスタナ市の電力料金は、家庭用では前出の表にとおり3.69KZT/kWh（VATを除く）とされているが、エネルギー天然鉱物資源省との面談では、4.6～4.8KZT/kWh（約3.5¢/kWh）とのデータが示された。

4.8.2 アスタナTETSの状況

アスタナ市は、もともとは小さな都市であったため、電力供給設備はそれほど開発されておらず、アスタナTETSも当初は産業用の蒸気と熱供給用に設計されたものであった。

アスタナTETSで使用している石炭は、エキバストスのバガタ炭鉱からのもので、発熱量は4050kcal/kgである。TETSにおける熱効率は、発電29%、熱供給35%、損失36%となっている。なお、アスタナTETSから供給している電力の価格は、1.77KZT/kWhに送電料金を加えた価格であり、現在、政府に対して2%の値上げ申請中である。

また、アスタナ市の急速な開発と2003～2008年までの熱・電力需要急増への対応のため、「アスタナ市のTETS-2火力発電所、熱供給ネットワーク、送電設備の拡張と再開発プロジェクト」が策定され、実施中である。本プロジェクトでは、TETS-2火力発電所の拡張と再開発、熱供給ネットワークの再建と新設、送電設備の再建と新設が実施される。

アスタナTETSには、第一発電所（TETS-1）、第二発電所（TETS-2）がある。

TETS-1は、1961年に完成し、その後現在まで改修を繰り返しながら運転を続けてきている。1999年からの改修が現在も継続しており、新たなボイラの導入、排ガス処理の設備などの工事が本年度の完成を目指して実施されている。



写真I-4-1 アスタナTETS第2発電所（遠景）

TETS-1の発電原価は、設備老朽化のためにエキバストス発電所の3倍となっている。TETS-2と比較して規模も小さく、現在、TETS-1の主たる役割は冬季のピーク需要に対応した熱供給であり、夏季は休止していることが多い。

TETS-2は、TETS-1より規模の大きな熱電併給所であり、冬季にはアスタナ市の熱需要の70%を、夏季には100%を供給している。通常は、ボイラ3×蒸気タービン3で運転する設計であるが、人口の増加に対応し、ボイラやヒーターを追加してきており、2007年にもボイラやタービンの増強が予定されている。また、熱供給配管の事業も進行中であり、今後4年間で15kmに及ぶ熱供給配管の設置が予定されている。

なお、これら熱電併給所も電力自由化に対応し、余剰電力を卸売市場に売電するための卸売部門の新設を予定している。

下表にアスタナTETSの設備構成を示す。

表I-4-5 アスタナTETSの設備構成

第一熱電併給所 (SP TETS 1)	第二熱電併給所 (SP TETS 2)
発電用ボイラ	発電用ボイラ
2 函 × E-65-39; 1 函 × BKZ-50-39F	5 函 × BKZ-420-140
熱供給用ボイラ	熱供給用ボイラ
1 函 × KV-TK-128-150; 3 函 × PTVP-100 3 函 × PTVP- 100	-
蒸気タービン	蒸気タービン
PR -4-35/5/1.2; P-12-35/5 KTZ	PT - 80/100 -130 /13 LMZ
定格出力	定格出力
16 MW + 630 Gcal/hour	240 MW + 926 Gcal / hour
利用可能出力	利用可能出力
14 MW + 305 Gcal/hour	220 MW + 557 Gcal/hour

機器の償却は 73-76% 。基本燃料は Bogatyr 鉱山からのエキバストス (ekibastuz) 炭。

(出典 : アスタナエネルギーサービス)

4.8.3 バイオガスプロジェクトへの興味

アスタナエネルギーとの打合せにおいて、本バイオガスプロジェクトが実現した場合の扱いについて尋ねたところ、独立した発電設備が電力を供給する方法は、卸売市場への提供エネルギーとの契約の2つの選択肢があるが、エネルギーとの契約を勧められた。また、バイオガスプラントは小規模ではあるが、今後の電力需給逼迫を考えると有意義であるとの意見が寄せられた。

第5章 バイオガス発電技術の概要

5.1 バイオマスエネルギーとバイオガス発電の位置付け

バイオガス発電は、バイオマスエネルギー利用の一形態であり、バイオマスエネルギー利用形態は、エネルギーへの変換方法によって下図のように分類されている。

- (1) 直接燃焼.....フィンランド，スウェーデンなど（熱電併給）
- (2) バイオ変換.....エタノール（アルケノール社），メタン発酵など
- (3) 熱化学変換.....高温，高压下の油化（汚泥油化も含む）
- (4) その他.....RDF など

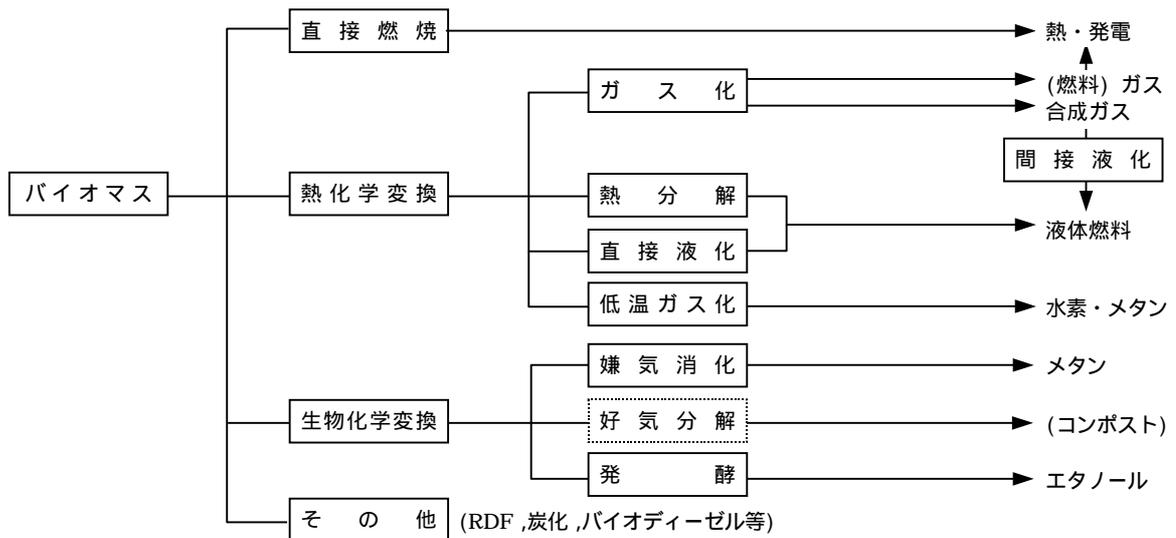


図 I-5-1 バイオマスエネルギーへの変換利用体系

バイオガスを生成するメタン発酵技術は、主に、家畜糞尿など高濃度の有機性廃水や生ごみの処理のための方法として好気性の堆肥化技術に対峙するものとして利用されてきた。好気性の堆肥化と異なる大きな点はバイオガスというエネルギー源を回収できる点である。しかし、水処理施設で発生する汚泥のメタン発酵では、バイオマスあたりのバイオガス発生量が厨芥ごみなどの10%程度しかないため、従来は、バイオガス発電までは行わず、ボイラで燃焼し温水などを回収してメタン発酵槽の保温などに利用するが多かった。また、従来のメタン発酵の目的も主としてバイオガスの回収でなく、汚泥の減容であった。

一方、欧州などにおいては、以前からバイオガスプラントや生ごみの埋立地においてガスエンジンを用いたバイオガス発電が広く行われていた。そのため、出力が10数kWから数100kWのバイオガス専焼ガスエンジンが商品化され、それらがわが国のバイオガスプラントにも導入されるようになった。現在、北海道などで普及しつつあるバイオガス発電プラントは欧州と同様、家畜糞尿をバイオマス源とするものであり、そのエネルギー収支例を図I-5-2に示す。

なお、わが国の場合、以前にし尿処理場の汚泥と生ごみとを混合してメタン発酵させる

という事業化構想が打出され、10基近いプラントが建設されたこともあった。

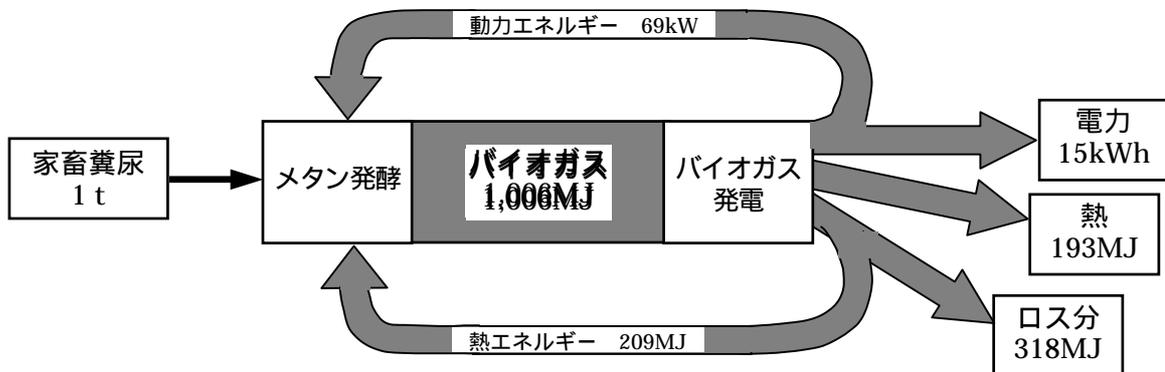


図 1-5-2 家畜糞尿のメタン発酵のエネルギー収支図例

5.2 嫌気性メタン発酵反応

メタン発酵過程は有機物を 破碎，摩耗，加水分解，酸発酵（酢酸化など），メタン化の4段階に分けることができる（表 1-5-1）。通常のバイオガスプラントでは前者2工程を受入槽あるいは前処理槽の部分で，また後者2工程をメタン発酵槽で処理しているものが多い。発酵槽の後段では，液側（消化液）は熱回収や有害物質を除去した後，液肥として散布し，一方，ガス側は脱硫後，ガスエンジンなどで発電（コージェネレーション）を行うことが行われる。消化液の散布は，時として土壤中の窒素量を過剰にしたり，地下水の硝酸汚染を起こすことがある。このような場合，消化液の散布は好ましくなく，他の処理方法が求められる。

メタン発酵は好気的な処理方法と比べて，有機物の分解量が多い（汚泥の発生量が少ない），通気のための動力が不要である，メタンガスが燃料として得られる，とくに高温発酵において病原菌を死滅できる，有害な重金属イオンを不溶性硫化物として固定できる，という長所がある。一方，短所としては，反応速度が非常に遅い，処理できる有機物濃度が限定される，アンモニアが蓄積する，バイオガス中に硫化水素が高濃度に共存する，という点が挙げられる。とくにメタン発酵の最終段階で，主に Methanosaeta 属によって酢酸からメタンを生成する段階の速度が極めて小さく，全体の律速段階となっている。この点を改良して速度を高めた新しいメタン発酵リアクターが検討され実用化している。これらはいずれも菌体を固定化し，槽内で菌の高密度化を実現している。しかし，メタン菌を担持して，その密度を上げる方法は液体（廃液）の処理には向いているが，スラリーの処理用として，最適とは言い難いところがある。

通常のバイオガスプラントにおいて有機物処理能力は中温（約 37℃）で 2~3kg/m³日，高温（約 55℃）で 5~7kg/m³日である。（メタン発酵槽の単位体積あたり，嫌気性処理可能な有機物（ドライベース）を中温発酵では 1日に 2~3kg，高温発酵では 1日に 5~7kg 投入できる。）また，汚濁度の指標である投入バイオマスの生物学的酸素要求量（BOD）除去率は共に 80~90%，バイオガス生成量は 300~700L/kg・有機物（メタン濃度 40~60%）である。しかし，バイオガス生成量は，バイオマスの種類によって著しく変化する。有機

物濃度 10%で発酵日数 37 日の中温発酵と発酵日数 15 日の高温発酵の有機物処理能力は例えば次のように計算される。

【中温発酵】

投入量 : 2 t/日, 有機物濃度 10% (200kg/日-有機物)

発酵槽容量 : 2 t/日 × 37 日 = 74t (74m³)

有機物処理能力 : 200kg/日 ÷ 74m³ = 2.7kg/m³日

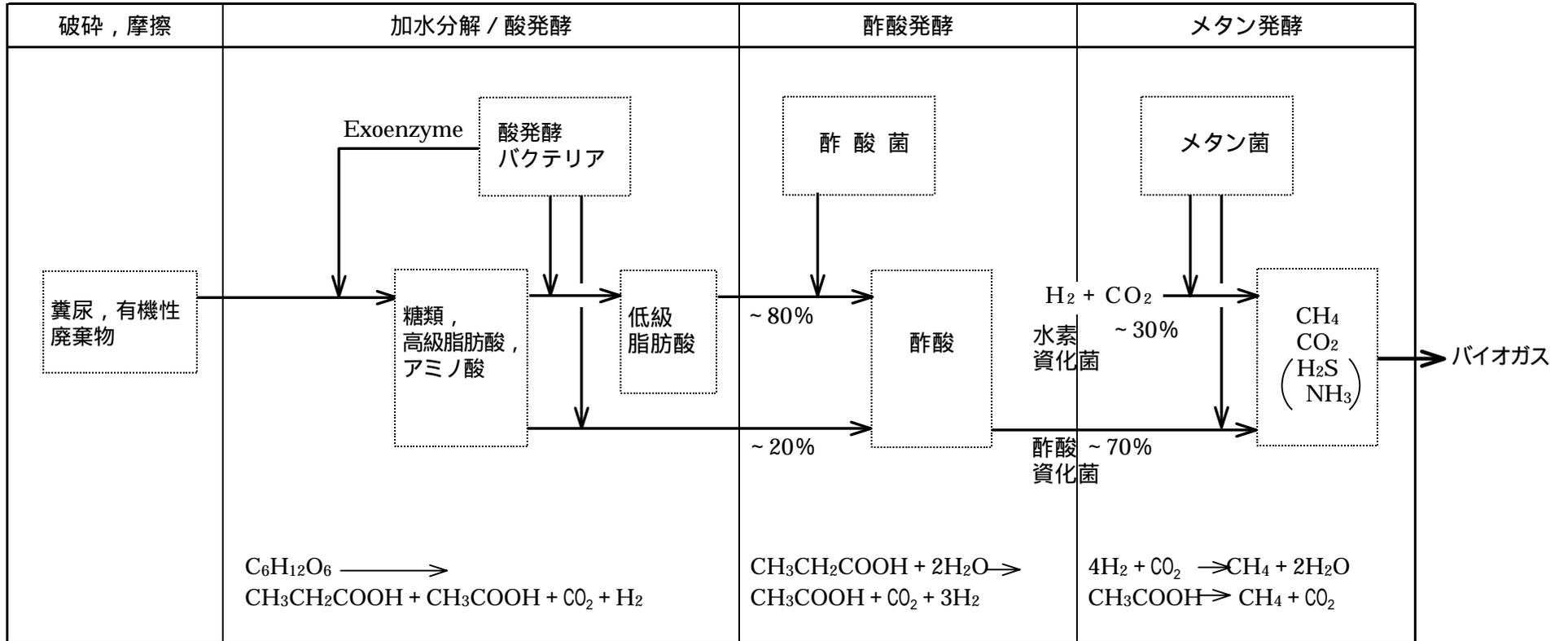
【高温発酵】

投入量 : 4 t/日, 有機物濃度 10% (400kg/日-有機物)

発酵槽容量 : 4 t/日 × 15 日 = 60t (60m³)

有機物処理能力 : 400kg/日 ÷ 60m³ = 6.7kg/m³日

表 1-5-1 メタン発酵におけるバイオガス生成プロセス



(出典 : Langhans, G.,1995. Know-how for plant stability and operational efficiency. , Linde Technical Report, Germany)

5.3 バイオガス技術の開発動向

メタンガスは天然ガスの主成分であり、燃焼による二酸化炭素発生量も石油や石炭に比べて少ないなどクリーンエネルギーとして取り扱われている。バイオガスも通常 45～65%のメタンを含有するが、残りの大部分を二酸化炭素が占めるため、発熱量はメタンの 8,550kcal/m³（低位発熱量）より大きく下回り 5,000～5,500kcal/m³ 程度しかない。しかも、バイオガスは不純物として硫化水素を数 100ppm から数 1,000ppm 含有し、そのまま燃焼させるには、大気汚染および腐食の点で問題がある。そのため、最近では低コストで脱硫を行い、かつ、可能ならば、二酸化炭素を少しでも除去して、バイオガスの高カロリー化を図るプロセスを採用するケースが出てきている。まず脱硫については薬剤を使用しない生物脱硫法が主流となりつつある。これは、消化液そのものを脱硫塔に循環し、さらにバイオガスに微量の空気を混合して脱硫塔に導いて硫酸化細菌の力によって、硫化水素を硫酸にして、ガス側から除去する脱硫法がある。循環する液はアンモニアを含有しており、ある程度、硫酸が生成しても、適正な pH 値（6～8）に維持することが可能である。pH 緩衝能がなくなった時点（例えば 1 週間）で循環液を新しい消化液に交換することによって、脱硫性能を維持することができる。

一方、バイオガスの高カロリー化を図ることについて、次の方法が提案されており、一部は実施されている。

- (1) メタン発酵槽内の酸化還元電位、pH 等を調節して、あるいは二酸化炭素の循環（注入）を行って生成するメタンガス濃度を上げる。
- (2) 生物脱硫塔を循環させる消化液に、バイオガス中の二酸化炭素を再吸収させてメタンガス濃度を上げる。
- (3) ガス洗浄塔を設けて、バイオガス中の二酸化炭素を吸収する。多量の洗浄水を供給できる場合は最も安値な方法である。
- (4) ハイドレート化などの処置によって、バイオガスをメタン、二酸化炭素、硫化水素などに分離する。
- (5) 熱化学反応によって、例えば二酸化炭素と水素からメタンを合成する。水素ガスなどの還元性ガスの入手が課題となっている。
- (6) 高濃度のメタンガス（例えば 85%）を生成するメタン菌による発酵。

水処理施設において、バイオガスの高カロリー化、すなわち、二酸化炭素の除去を安価に行う方法は、上項(3)で述べたバイオガスの水洗法である。洗浄水は水処理施設の処理水を使用することができると共に、二酸化炭素を吸収した水の放流もとくに問題にはならないと考えられる。但し、このような洗浄塔によって、バイオガス中の硫化水素まで除去したい場合は、洗浄水の pH 調整手段を設けて、pH を 7～8 に維持する処置が必要である。同様に生物脱硫塔においても、上項(2)のように、バイオガス中の二酸化炭素を吸収することができる。

経済性に配慮した消化ガス発電を行うには十分なバイオガス発生量と、それがあつた程度のメタン濃度（例えば 60～65%）を有していることが重要であり、水処理施設で発生した汚泥

のみのメタン発酵ではバイオガス発生量，メタン濃度ともに満足の行くものには成り得にくい。近年は汚泥のほかに生ごみなどを加えた共発酵によって，この改善を図っている。ヨーロッパで広く行われている集約型のバイオガスプラントは共発酵系にしているところが多い。表 1-5-2 に集約型バイオガスプラントにおける共発酵の例を，また，下水汚泥 - 生ごみ共発酵プラントの例を図 1-5-3 に示す。

下水汚泥のメタン発酵の場合，バイオガス中にシリコン系化合物（シロキサン）が微量ながら共存し，そのようなガスをガスエンジンに導くと，シリンダー内などにシリカの結晶が析出し，場合によっては一年もしないうちにガスエンジンが使えなくなる場合もある。そのため，バイオガス中からシリコン系化合物を除去する工程が必要であり，現在，活性炭吸着塔などが一般に用いられている。この他，薬剤をほとんど用いない方法として若干の圧力下で稀薄な溶液に吸収する方法などが検討されている。

表 1-5-2 共発酵実績例（デンマークプラント）

		例 - 1	例 - 2	例 - 3
稼働開始年	(西暦年)	1990	1994	1996
発酵槽容量	(m^3)	7,000	4,600	5,000
発酵方式		高温完全混合	高温完全混合	高温完全混合
投入バイオマス	(t/日)	429	316	312
(内訳)	下水汚泥	(t/日) 14	14	12
	牛糞尿	(t/日) 140	81	161
	豚糞尿	(t/日) 185	124	65
	他家畜糞尿	(t/日) 3	47	20
	他有機性廃棄物	(t/日) 87	50	58
		屠体残渣，食品工場残渣，水産加工残渣	屠体残渣，食品工場残渣，水産加工残渣	屠体残渣，野菜果樹廃棄物，水産加工残渣
バイオガス発生量	(m^3 /日)	14,500	8,990	9,040

共発酵によるバイオガス発電により周辺地域へ給電するためには，ある程度まとまった量の生ごみが必要であるが，下水汚泥発生量に比べると，その量はかなり少なくて済む。食品工場などの事業系生ごみが入手できる場所は，共発酵によって，周辺地域への給電が十分可能と考えられる。単位有機物量あたりの消化ガス発生量は生ごみも，下水汚泥も大きな差はない（共に $0.8 \sim 1.0 m^3$ 消化ガス/kg-有機物量(VS)）が，原料となるバイオマスの含水率は生ごみが通常 90%程度に対して，濃縮汚泥では数%しかないため，生ごみ混合率は少なくて済むという結果になる。

図 1-5-3 の生ごみ共発酵システム案では，消化タンクについても従来の消化タンク構造から，より高濃度の固形物を受け入れることのできる構造にする配慮が必要となる可能性もある。

わが国でバイオガスを発電に利用している下水処理場は、横浜市や大阪市など 19 ヶ所（2003 年 8 月時点）である。下水処理場におけるバイオガス発電が普及していない理由は、一つの処理場だけではバイオガスの発生量が少なく、コスト的に成立しないためである。

そのため、各処理場で発生する汚泥を一つの処理場に集め、そこでバイオガス発電を行う方式が検討されている。しかし、各種の有機性廃棄物を集めて、いわゆる共発酵が行える場合は、下水汚泥だけを集めてくる必要がなく、かつ、バイオガスの質、量ともに下水汚泥だけのときよりも上回るものが得られる。

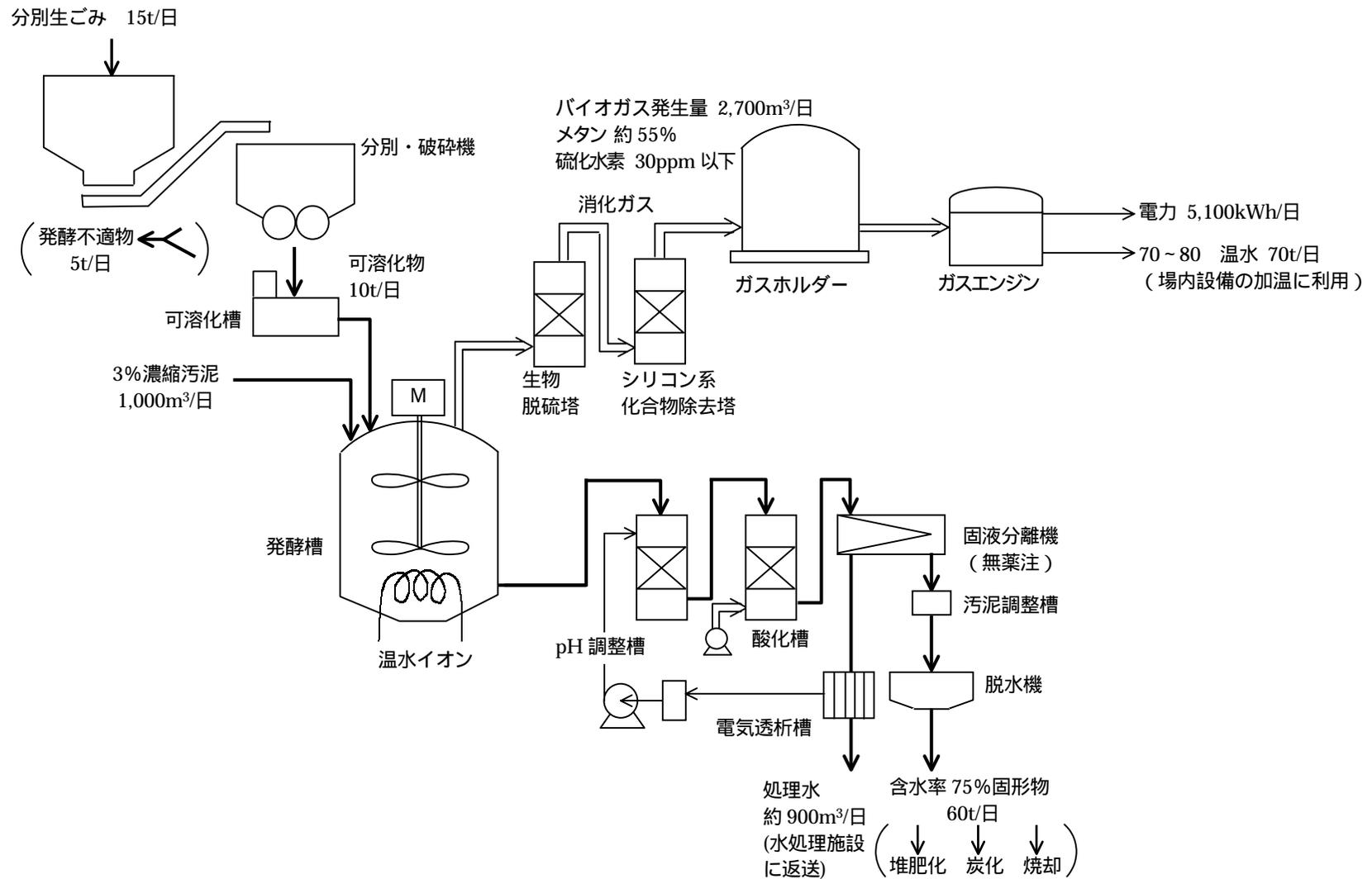


図 1-5-3 下水汚泥 - 生ごみ共発酵システムの例

5.4 バイオガスによる発電

メタン発酵槽から発生するガスはメタン約 60% , その他の大部分は二酸化炭素である。発生ガスに含まれる硫化水素を脱硫器で除けば, 消化ガスはクリーンなエネルギー源として利用できる。日本の下水処理場においては, 消化ガスの大半は消化槽の加温や余剰汚泥の焼却の熱源に使い, 10 数% を発電に利用しているだけである。地球温暖化を防止するためにも消化ガスによるコージェネレーションの普及が望まれる。

バイオガス発電では従来から, もっぱら空冷あるいは水冷のガスエンジンが使用されてきた。また, バイオガスのもつ熱量はメタンの 50 ~ 60% しかないため, バイオガス専焼エンジンだけでなく, 重油や軽油とバイオガスとの混焼ガスエンジンも一部で使用されてきた。しかし, 再生可能エネルギーとしてのバイオマス発電設備という観点から, さらにコージェネレーションによってエネルギー効率を上げるという意向から, 水冷のバイオガス専焼エンジンが欧州などでは広く用いられている。欧州における出力約 15kW から約 2MW までのバイオガス専焼エンジン取扱いメーカー例を表 1-5-3 に示す。

表 1-5-3 欧州におけるバイオガス専焼エンジン取扱いメーカー

出力 (kW)	メーカー	出力 (kW)	メーカー	出力 (kW)	メーカー
15	Fiat/Totem	118	MANrollo	511	Jenbacher
22	Fritch	130	MANrollo	625	Jenbacher
45	MANrollo	143	Oberdorfer	836	Jenbacher
30	Fritch	177	MANrollo	1065	Jenbacher
60	Fritch	222	MANrollo	1413	Jenbacher
70	MANrollo	330	Jenbacher	1451	Jenbacher
95	MANrollo	336	MANrollo	1938	Jenbacher

国内における小型 (マイクロ) ガスエンジン (コージェネレーション用) のラインナップを表 1-5-4 に示す。

表 1-5-4 マイクロガスエンジンの製品ラインナップ (1)

企業名	ヤンマー	ヤンマー	ヤンマー	アイシン精機	三洋電機空調	神鋼造機
製品名	CP5V	CP10V	CP22V	GECC60	SGS08	MGS610
定格出力 kW	5	9.8	22	6	8	60
エンジンメーカー	ヤンマー	ヤンマー	ヤンマー	アイシン精機	三洋電機	MAN
NOx 低減方法	リーンバーン	リーンバーン	リーンバーン	リーンバーン	酸化触媒	三元触媒
排熱回収率 %	60	57	57	59.5	60.8	49.9
発電効率 %	27	24.5	28	26.5	24.3	31.1
総合効率 %	27	81.5	85	86	85.1	81

(出典: 矢野経済研究所)

表 1-5-4 マイクロガスエンジンの製品ラインナップ (2)

企業名	神鋼造機	大洋電機	金門製作所	エコウイル
製品名	MGS612	CP110E	GP30E	0001 型
定格出力 kW	110	110	32	1
エンジンメーカー	MAN	日産 D	日産自動車	本田技研
NOx 低減方法	三元触媒	三元触媒	三元触媒	4サイクルOHV
排熱回収率 %	50.7	55	55.9	65
発電効率 %	33.6	30.5	28	20
総合効率 %	84.3	85.5	83.9	85

(出典 : 矢野経済研究所)

また、比較的規模の大きいコージェネレーション用ガスエンジンの仕様例は次の通りである。

定格発電出力	500kW
温水回収熱量	232.1Mcal/時 (max . 90)
蒸気回収熱量	227.6Mcal/時 (8kgf/cm ² G)
燃料消費量	122.3Nm ³ /時 (メタンガス)
メーカー , 型式	三菱重工業(株) SGP - 500

このほか、バイオガスを発電利用する手段としては、マイクロガスタービン、燃料電池等があるが、何れも経済的に発展途上国におけるバイオガス発電手段として利用する段階にはないため、本調査では比較対象としていない。

・ JIプロジェクトの検討

第1章 プロジェクト立案

1.1 想定システムの概要

1.1.1 プロジェクトの背景

東北電力は、2002年 NEDO よりわが国の第1号 JI 事業である「熱電併給所省エネルギー化モデル事業(カザフスタン)」を受託しており、同事業推進のため、カザフスタン国の気候変動枠組コーディネートセンターと協議を実施している。その協議を通じ、首都アスタナ市において、人口の増加に伴う都市化が進行し既設下水処理場周辺において臭気や景観を含めた環境問題が深刻化していることが問題として、認識されていることが分かった。また、この協議の結果を受け、事前調査を行ったところ、アスタナ市下水処理場については、嫌気性発酵槽があること、臭気の問題があることが情報として確認できた。同時に、アスタナ市の廃棄物は一括で収集され、ごみ埋立て場にそのまま捨てられている状況であり、臭気あるいはメタンガスの自然発火による煤煙などが発生しているとの情報を収集することができた。

東北電力は、廃棄物利用バイオマス発電がこれらの問題への寄与が大きいと認識し、再生可能エネルギーによるプロジェクトについて気候変動枠組コーディネートセンターとも協議した結果、下水汚泥と有機性廃棄物を活用したバイオガス発電プロジェクトが、アスタナ市の環境問題を解決し、JI 事業としての成立の可能性が高いと判断し、同システムの検討を実施した。

1.1.2 バイオガス発電システム選択理由

日本における一般的な有機性廃棄物と下水汚泥の処理方法を参考に、アスタナ市において有機性廃棄物の臭気等の問題、LFG 削減が可能となるシステムを検討すると、以下の選択肢が考えられる。

- ・ 可燃性のごみと一緒に有機性廃棄物は焼却処分場で焼却され、燃え殻は埋立て処分場に送られる。
- ・ 可燃性のごみの中から有機物を分別し、堆肥化を行う。
- ・ 有機性廃棄物を嫌気性発酵槽で発酵させ、発生したメタンガスを利用しエネルギーを取り出す。
- ・ 下水汚泥については下水処理場にて嫌気性発酵を行い、下水汚泥の減量化を図る。その後、脱水処理が行われた下水汚泥は焼却処分、埋立て処分、あるいは堆肥化される。なお、嫌気性発酵により臭気も減少する。

現在、アスタナ市にはごみの焼却場がないこと、堆肥化を行っても農業セクターの購買力が低下している状況であり、堆肥を製造しても販売ができずに処分に困る恐れがあることから、これらの選択肢の中で焼却処分ならびに堆肥化はプロジェクトとしては適用が難しい状況である。

そのため、埋立て処分場に処理されている有機性廃棄物と、下水処理場から発生する下水汚泥を下水処理場の嫌気性発酵槽に投入し、共発酵させてそのバイオガスを用いた発電システムを用いることで、アスタナ市における問題を解決できるものと考えた。

有機性廃棄物と下水汚泥による共発酵バイオガスシステムを適用することにより、以下の

メリットがある。

- ・ アスタナ市において発生する有機性廃棄物の埋立を回避することができ、廃棄物処分場の使用期間を延ばすことができる。
- ・ 廃棄物処分場におけるメタンガス発生量ならびに大気への放出を削減し、臭気、あるいはメタンガスの自然発火を防止できる。
- ・ 生産物であるメタンガスは、エネルギーとして化石燃料等を代替することが可能である。
- ・ 廃棄物の前処理の過程で必要とする用水の供給や、消化液処理時に発生する排水の処理において、既存のアスタナ市下水処理場を有効活用することが可能であり、嫌気性発酵槽を十分に利用することで臭気が発生することを防止することができる。
- ・ 埋立て処分場の有機性廃棄物を下水処理場の嫌気性消化槽に投入することで、下水汚泥単体よりもメタンガスの発生量を増加させ、発電量を増やし、系統の電力も削減できる。

以上のことから、有機性廃棄物と下水汚泥を用いたバイオガス発電システムを選択した。

1.1.3 現地調査前のプロジェクト立案条件

現地調査を行う前の情報収集から想定されたプロジェクトの立案条件は次のとおりとなる。なお、本プロジェクトでは、現在実施中の JBIC プロジェクトとの整合性を図りつつ、有機性廃棄物と下水汚泥を用いた共発酵ができる施設構成を想定している。

- ・ 下水処理場には、下水汚泥を発酵させる嫌気性発酵槽がある。
- ・ アスタナ市周辺には、大規模な食品工場ならびに畜産加工場等があり、有機性廃棄物の供給源となる。
- ・ 廃棄物処分場では、土による被覆等の処理はされずに廃棄物は野積み状態であり、LFGの回収、利用は行われていない。
- ・ アスタナ市への電力供給は、石炭を中心とした系統電力による。

以上の条件において削減できる GHG ガスは次のものを想定した。

- ・ 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、現地調査前の GHG 削減量推定に当たっては、文献等による調査に基づき、下水処理場の処理水量は、13.5 万 m³/日、有機性廃棄物は日量 300[t/日]と想定した。

1.2 現地調査の実施

プロジェクトの詳細な設計のために、有機廃棄物の量や収集方法などさまざまなデータを現地にて収集する目的で現地調査を 2 回実施した。

その結果、以下の点が当初想定と異なることが判明した。

- ・ 廃棄物処分場については、今まで使用してきた廃棄物処分場の閉鎖処理と新規廃棄物処分場の建設を行うスペインの援助による事業が進行中である。同事業では、新規廃棄物

処分場だけでなく、古い廃棄物処分施設においても LFG の回収を行う計画である。

- ・ アスタナ市下水処分場には嫌気性発酵槽が2つある。一つは故障しており、もう一つは温度管理等の問題で設計値レベルの性能がでていない。
- ・ 嫌気性消化槽で発生したバイオガスは、ボイラに使用されている。(冬季間のみ)
- ・ アスタナ市は遷都から日が浅いため、大きな食品工場や農場は存在せず、食品工場などからの廃棄物の収集は、現在のところ見込めない。
- ・ アスタナ市においては、「首都アスタナ市開発マスタープラン」にしたがい廃棄物の分別回収に関する検討が開始されており、近い将来、分別回収が開始される可能性が高い。

1.3 現地調査後の想定システム

1.3.1 現地調査後のプロジェクトの立案条件

現地調査の結果、上述のとおり、当初想定と比べ条件が異なっていることが判明した。現地調査後のプロジェクト立案条件は以下のとおりである。

- ・ 下水処理場には、下水汚泥を発酵させる嫌気性発酵槽がある。(JBIC プロジェクトへの影響を避け、共発酵に必要な部分は新設とする)
- ・ 当初想定していた大規模な食品工場や農場からではなく、検討されている分別回収の開始により、有機性廃棄物が収集・利用できる。
- ・ スペイン政府援助プロジェクトによる新旧廃棄物処分場での LFG 回収が実施されるが、回収率は 100%ではなく、分別回収により有機性廃棄物を直接利用することにより、廃棄物処分場における未回収分の大気放出を抑制することが可能である。
- ・ アスタナ市への電力供給は、石炭を中心とした系統電力による。

以上のシステムの立案条件の変更により、削減される GHG についても変更が必要となる。現地調査後の立案条件下で削減できる GHG ガスとして、以下を想定した。

- ・ 廃棄物処分場において回収しきれない LFG の大気放散を、廃棄物を分別回収し直接嫌気性発酵槽に投入することにより削減できるメタンガスの削減量。
- ・ 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。

また、現地調査結果を反映し、プロジェクトに使用する条件は次のとおりとなる。

- ・ 下水処理場の処理水量は、13.6 万 m³/日とした。
- ・ 分別回収による有機性廃棄物は日量 132[t/日]とした。

1.3.2 既存システムと JBIC のシステム

既存のシステムおよび JBIC のシステムは、3.4.3 JBIC プロジェクトに詳細が記載されている。本プロジェクトは、JBIC プロジェクトとの整合を図りながら実施していくこととしている。以下に JBIC プロジェクトのシステムフロー図を示す。

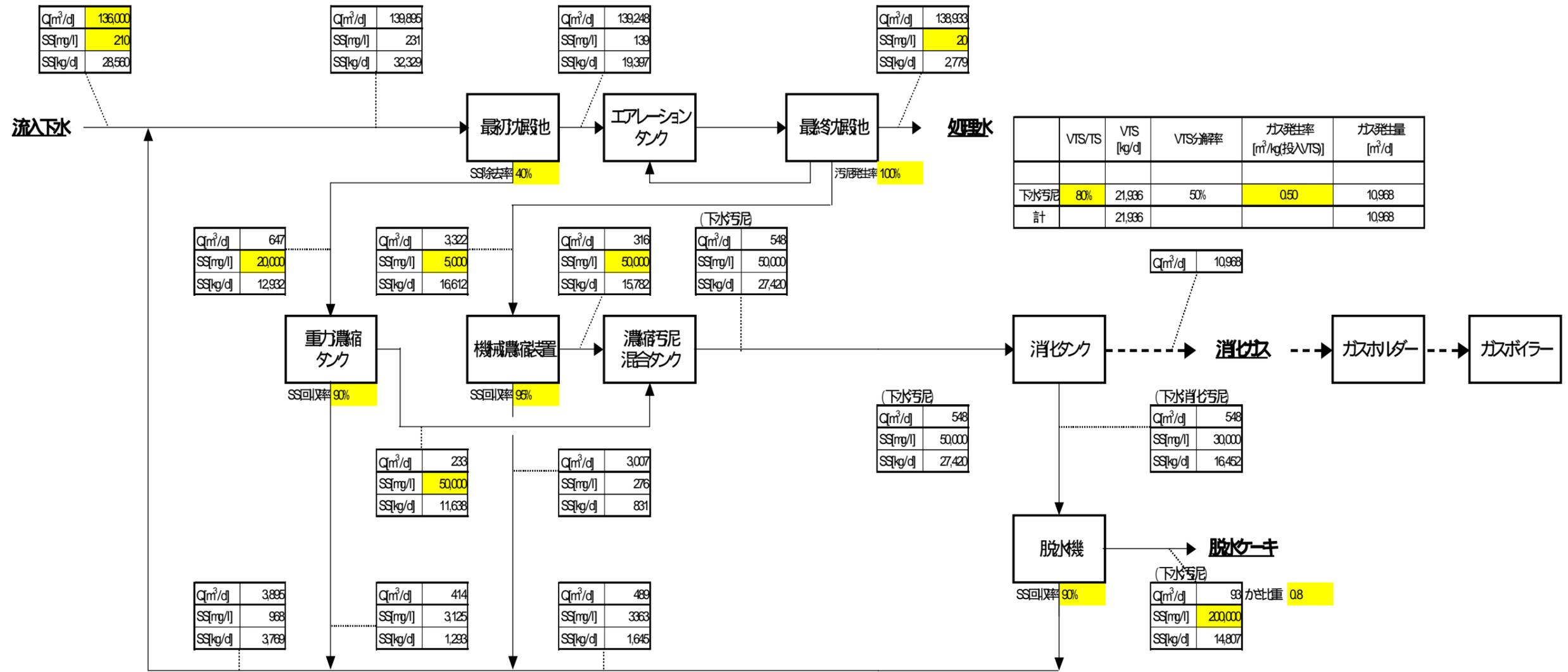


図 -1-1 JBIC システムフロー図

1.3.3 プロジェクトシステム

現地調査結果を元に、想定したプロジェクトシステムの概略を以下に記載する。

JBIC プロジェクトによって、大規模な修繕が行われる既設の下水処理場に対して、本プロジェクトは追加設備という位置づけで設計を行い、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。

次に本プロジェクトのフローについて説明する。

本プロジェクトにおいて下水処理場に搬入される有機性廃棄物は“受入ホッパー”にて受入れられ、嫌気性発酵に適したサイズに“破碎装置”で破碎される。その後、不純物を取り除く役目をする“分別装置”を通過させた後、本プロジェクトの主要設備の一つである、“嫌気性共発酵槽”にてメタンガスを発生させ、そのメタンガスを利用し“発電機”にて発電を行う。発酵後の下水汚泥は“脱水設備”により脱水される。

これを以下に詳細に記述する。

・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

固形廃棄物の搬入重量をトラックスケールで計測した後、生ごみ受入ホッパに生ごみを受け入れる。ホッパに投入した生ごみは、生ごみ搬送コンベアによって湿式破碎分別機に移送され、そこで発酵不適物が除去される。分別後の不適物は場外に搬出され、生ごみは可溶化槽に貯留される。

・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

可溶化槽で酸発酵まで進んだ可溶化液は、発酵槽投入ポンプによって発酵槽に投入される。発酵槽では消化液循環ポンプと熱交換器によって加温され、37 程度で 14 日以上保持される。消化液は、消化汚泥貯留槽に貯留する。メタンを 60%程度含むバイオガスは、生物脱硫塔で硫化水素を除去した後、ガスホルダに貯留する。なお、下水処理場で生成した下水汚泥由来のバイオガスは、廃棄物由来のバイオガスと同様に、今回のプロジェクトで設置する生物脱硫塔で処理した後、ガスホルダに貯留する。

・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

消化液は、脱水助剤により調質され、汚泥脱水機にて脱水される。脱水ケーキは処分先へ持ち込まれ、脱水分離液は下水処理場へ移送され処理を行う。

・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

ガスホルダに貯留したバイオガスは、プロワによって発電機に送られ、電力としてエネルギー回収される。また、発電機の廃熱は蓄熱槽を介して温水として利用される。

以上の設備により、プロジェクトシステムは構成されている。

次頁に今回のプロジェクトのブロックフローを示す。

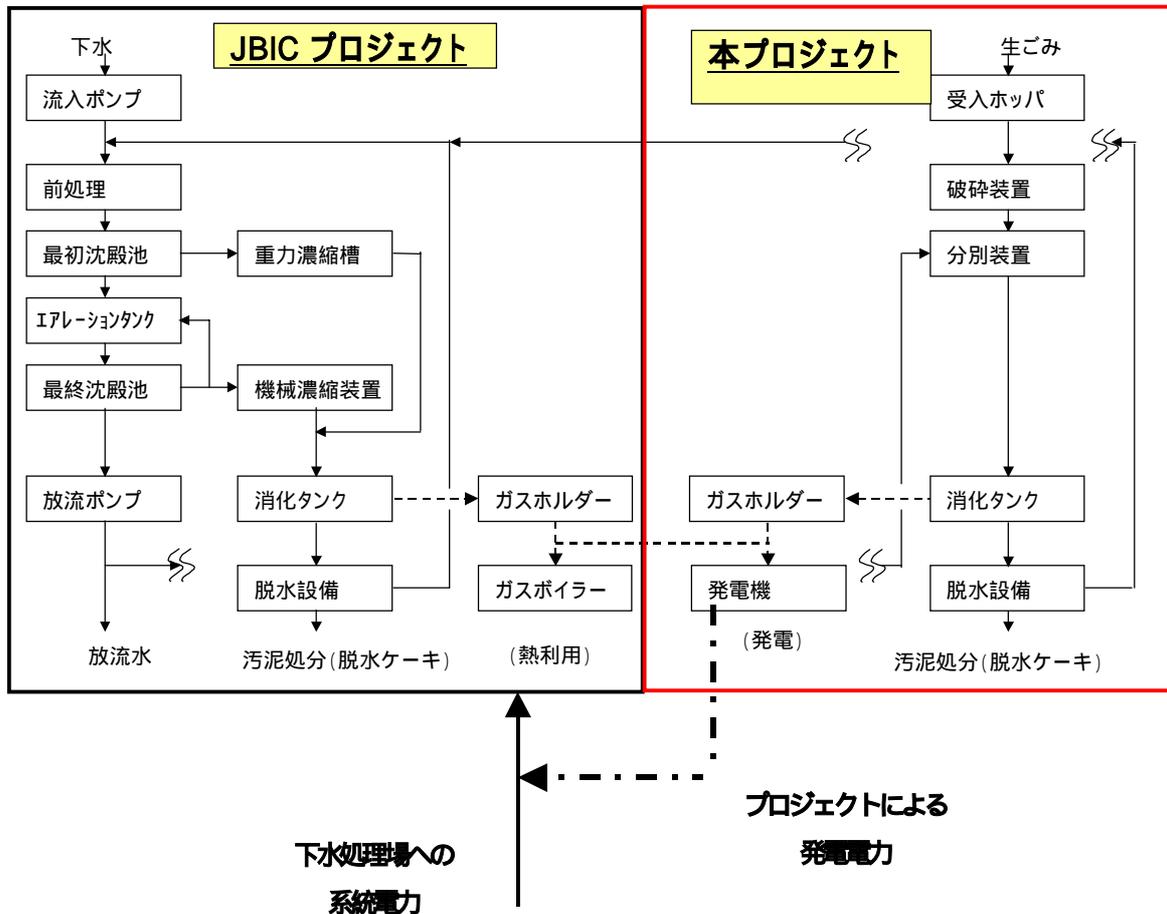


図 -1-2 ブロックフロー図

1.4 設備詳細

1.4.1 設備概要

本設備は、アスタナ市における有機廃棄物および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施設である。機器の主要設備について、設備の概要を説明する。

まず、本設備の主要設備である嫌気性発酵槽について述べる。

アスタナ市下水処理場の汚泥消化タンクは、JBICプロジェクトによって改修され、現行と同じ高温発酵方式を採用することとなっている。そこで、下水汚泥用の消化タンクは、改修される消化タンクをそのまま利用することとした。

一方、今回のプロジェクトで回収する有機性廃棄物（生ごみ）は、新たに設置する中温発酵用消化タンクに投入、発酵させ、バイオガスを回収することとした。下水汚泥は高温発酵、生ごみは中温発酵と発酵方式が異なるが、これは、設備のコンパクト化や投入有機物当たりガス発生量が多い特長を持つ高温発酵方式を下水汚泥に適用し、生ごみではアンモニアの発生による発酵阻害を考慮して中温発酵を適用するものであり、原料の特性を念頭に置いたことによる。タンク数については、メンテナンスあるいはサイズの最適性を検討した結果、2タンクを追加設置することとした。

次に破碎機や分別装置について述べる。破碎機の役割は有機性廃棄物を適度な大きさに

し、より発酵に適した状態にすることである。また、分別装置については、有機性廃棄物を搬入した際に、異物や発酵に不適合なものを選別するために設置される。受入れ系統はメンテナンスなどを考慮し3系統とした。

メタンガスを利用した発電機は4機設置した。これは、負荷追従性を向上させ、発電機の効率を最大限に使用できるように採用した。また、4機設置したことによりメンテナンスを隔年で行うことができるようになり運用コストの平準化に寄与することができると考えられる。なお、既存のガスホルダの信頼性が低いことから、ガスホルダを設置し、ガスを貯留し、安定的にガスを供給して発電に供することとした。また、発電機の廃熱を利用することとした。

共発酵後の有機廃棄物の残渣は脱水設備により脱水される。これは、JBICプロジェクトにおいて、最終的な処分方法を一緒にしたものである。

脱臭装置は、有機廃棄物搬入時などの悪臭をファンにより吸引し、生物脱臭するものである。本システムにおいては悪臭が発生するのは受入時のみであり、この悪臭を削減することで作業員に快適な作業空間を提供できることから、コスト的に上昇するが設置することとした。

以下に主な機器の主要仕様リスト、機器配置図、および建屋立体図を示す。

表 -1-1 主要仕様リスト

機器名	個数・系統数	形式	材質	主要仕様
破碎機	3	三軸剪断破碎式	FC+SUS製	
分別機	3			
メタン発酵槽	2	円筒水密密閉攪拌式	RC	1,884[m ³]
発電機	4	デュアル燃料式発電機		390[kW]
汚泥脱水機	1	スクリュープレス脱水機	SUS304	11.2[m ³ /hr] ,
脱臭ファン	1	タ-ボファン	FRP	

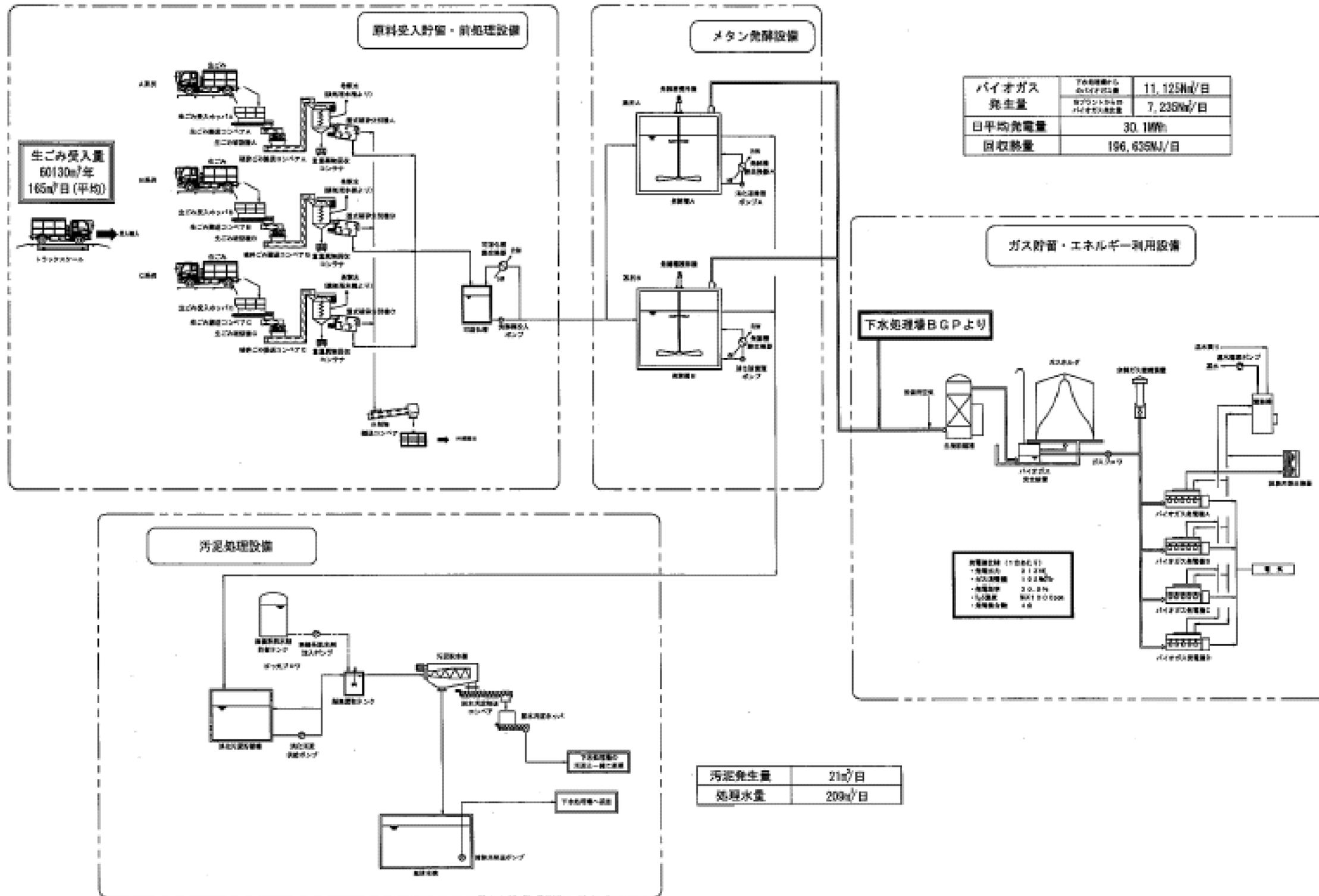


図 -1-3 機器配置図(1)

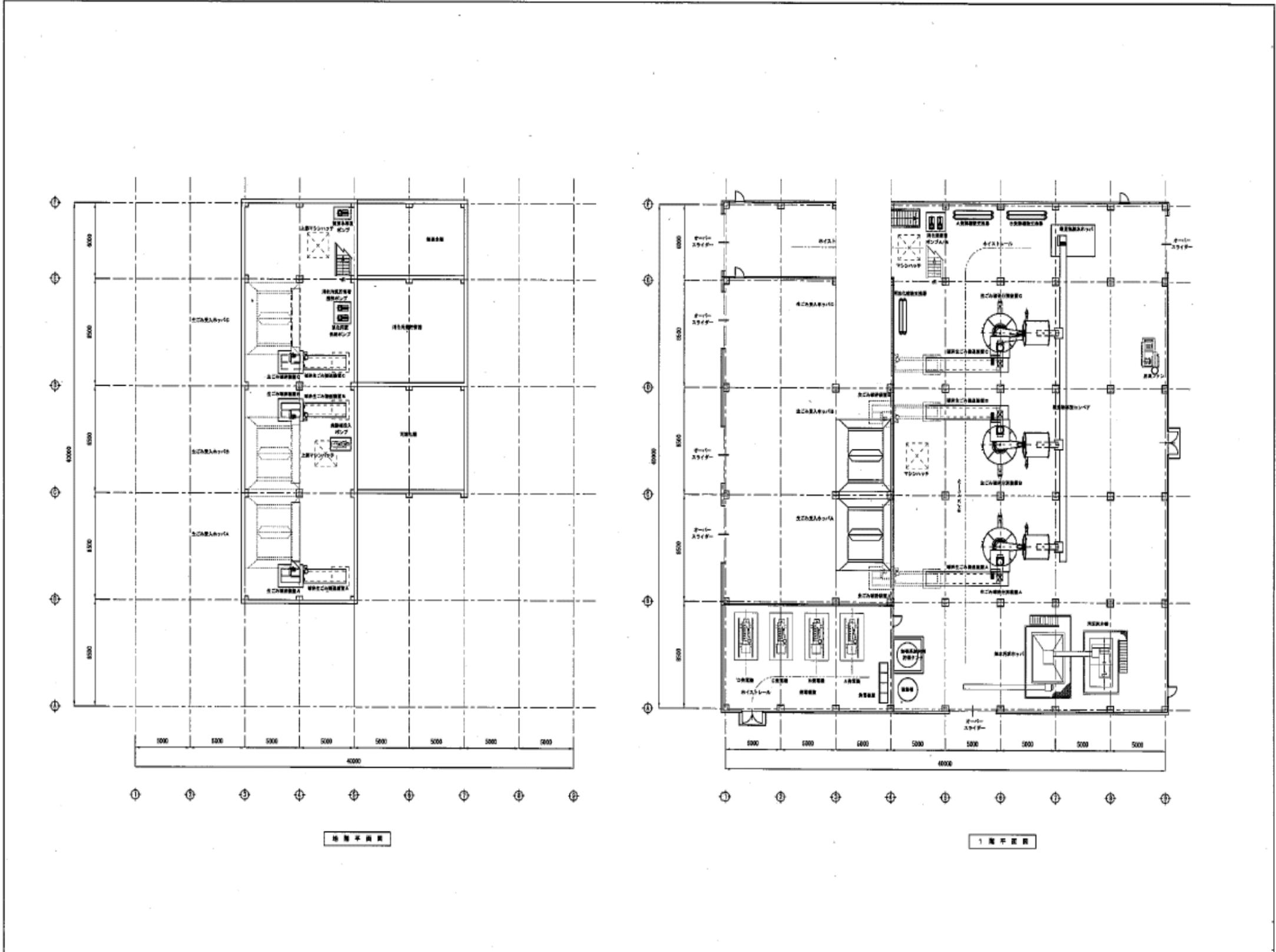


図 -1-3 機器配置図(2)

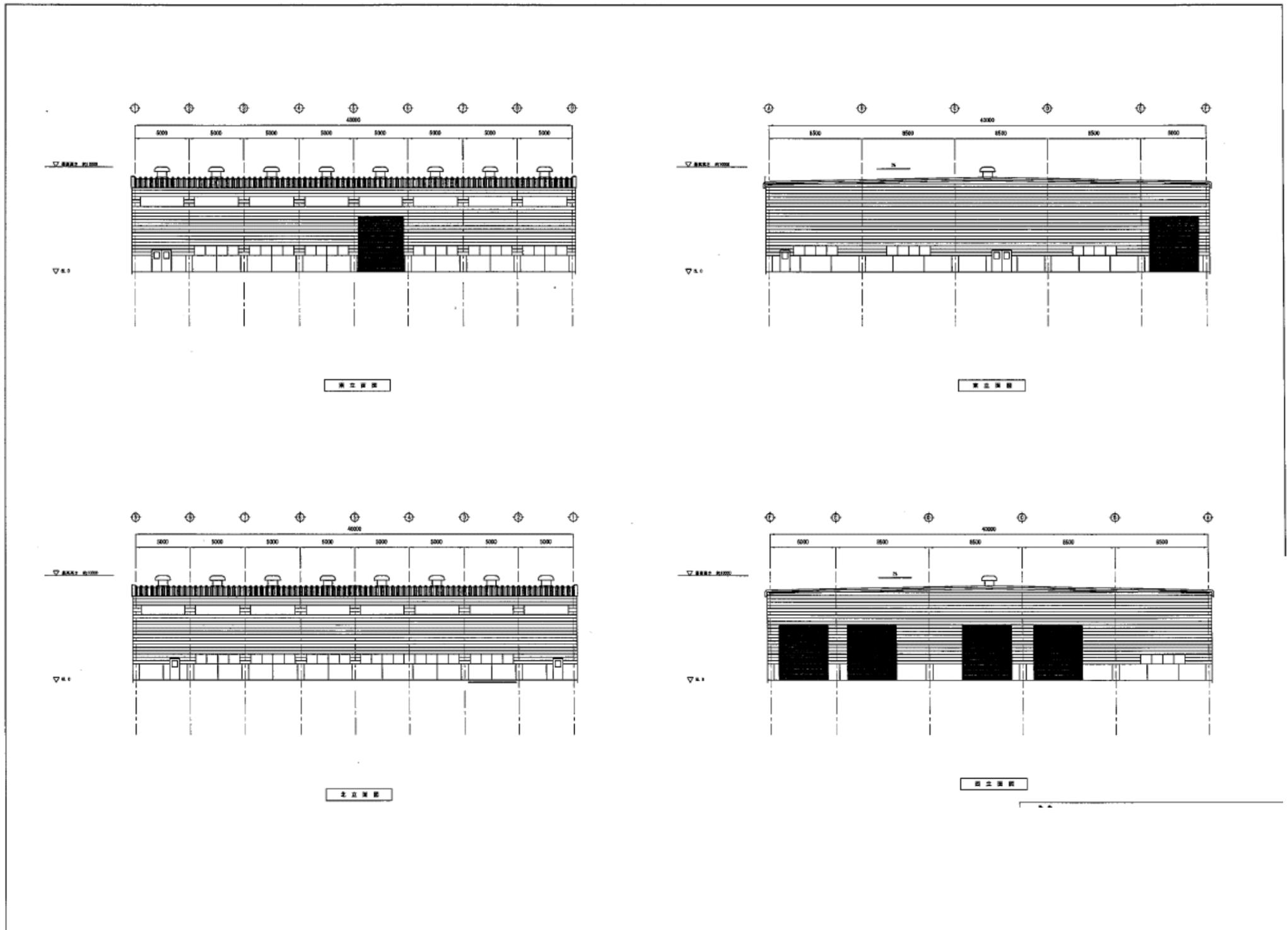


图 -1-4 建屋立体图

1.4.2 システムフローおよび物質収支

本項目では、システムフローおよび物質収支について述べるが、先ずシステムに投入する固形廃棄物、下水処理場の設計諸元を述べ、その後、物質収支について記述する。

発酵システムに投入する固形廃棄物

発酵システムに投入する固形廃棄物については、『概要 3.3.1 固形廃棄物処理の現状』で示すとおり、現地調査で収集した固形廃棄物の発生量と組成に関するデータから想定した。

アスタナ市の埋立処分場に集まる固形廃棄物は大部分が都市からの一般廃棄物であり、野菜や芋皮、パン、魚などの食品廃棄物（生ごみ）は年間 60,130m³に達する。本調査においては、将来的なゴミの分別回収の実施を想定し、野菜や芋皮、パン、魚などの食品廃棄物（生ごみ）が分別され、メタン発酵の原料として回収されるものとする。対象とする固形廃棄物を以下のように設定した。

表 -1-2 アスタナ市固形廃棄物における有機廃棄物の処理量

対象とする固形廃棄物	野菜や芋皮、パン、魚などの食品廃棄物（生ごみ）
処理量	年間 60,130m ³
見掛け比重	0.8t/m ³

（出典：アスタナ市）

対象とする固形廃棄物に含まれる発酵不適物を以下のように設定した。

表 -1-3 発酵不適物

発酵不適	軽量物の割合（湿潤重量）	16%
"	重量物の割合（"）	3%

（出典：北海道中空知年報）

発酵不適物を除去した後の生ごみの VTS/TS 比、VTS 消化率、ガス発生率を日本のプラントを参考にし以下のように設定した。

表 -1-4 発酵不適物除去後のゴミ捨て場。

VTS/TS 比	90%
VTS 消化率	78%
ガス発生率	640Nm ³ /t-VTS

（出典：汚泥再生処理センター等の施設整備の計画・設計要領；(社)全国都市清掃会議）

1.4.3 下水処理場の設計諸元

アスタナ市下水処理場において実施されている「JBIC プロジェクト」の内容をもとに、下水処理場の設計諸元を表 -1-5 のとおりに設定した。

1.4.4 物質収支

対象とする固形廃棄物と、アスタナ市下水処理場の設計諸元より算出される物質収支図を次頁に示す。物質収支図より、次のことが確認された。

- ・固形廃棄物（生ごみ）由来のガス発生量は 7,235Nm³/日（下水汚泥由来のガス発生量は 11,125m³/日）。

- ・消化ガス発生量から算出される日平均発電電力量 30.1MWh, 平均発電出力 1.25MW。(消化ガス中のメタンガス濃度 60[%], 発電効率: 30.5[%]として)
- ・生ごみ由来の消化液を脱水すると, 21m³/日の脱水ケーキと 209m³/日の脱水分離液が発生する。
- ・生ごみ由来の脱水分離液が下水処理場に戻ることによって, 水量の増加や SS 等の負荷上昇による処理への悪影響が懸念されたが, それらの影響はわずかであり, JBIC プロジェクトの設計条件の範囲内に収まっていることが確認された。このことから, 生ごみ由来の脱水分離液を下水処理場へ戻すことは問題ないと判断された。(今回プロジェクトを実施しない場合と比べて, 水量で 0.2%程度の増加, SS 負荷量で 1.3%程度の増加であった。これらは, エアレーションタンクの BOD-SS 負荷及び水理学的滞留時間 (HRT), 最終沈殿池の水面積負荷及び沈殿時間, 越流堰負荷など各設計条件の範囲内にあった。)

図 -1-5 に物質収支を示す。

表 -1-5 下水処理場の設計諸元

処理能力 (日最大流入量)	136,000m ³ /日
流入水 SS 濃度	210mg/L
処理水 SS 濃度	20mg/L
最初沈殿池における SS 除去率	40%
エアレーションタンクにおける汚泥発生率	除去 SS 量に対し 100%
重力濃縮タンクにおける SS 回収率	90%
機械濃縮装置における SS 回収率	95%
重力濃縮タンクによって濃縮された生汚泥の含水率	95.0%
機械濃縮装置によって濃縮された余剰汚泥の含水率	95.0%
下水汚泥 VTS/TS 比	80%
下水汚泥 VTS 消化率	50%
ガス発生率	500Nm ³ /t-VTS

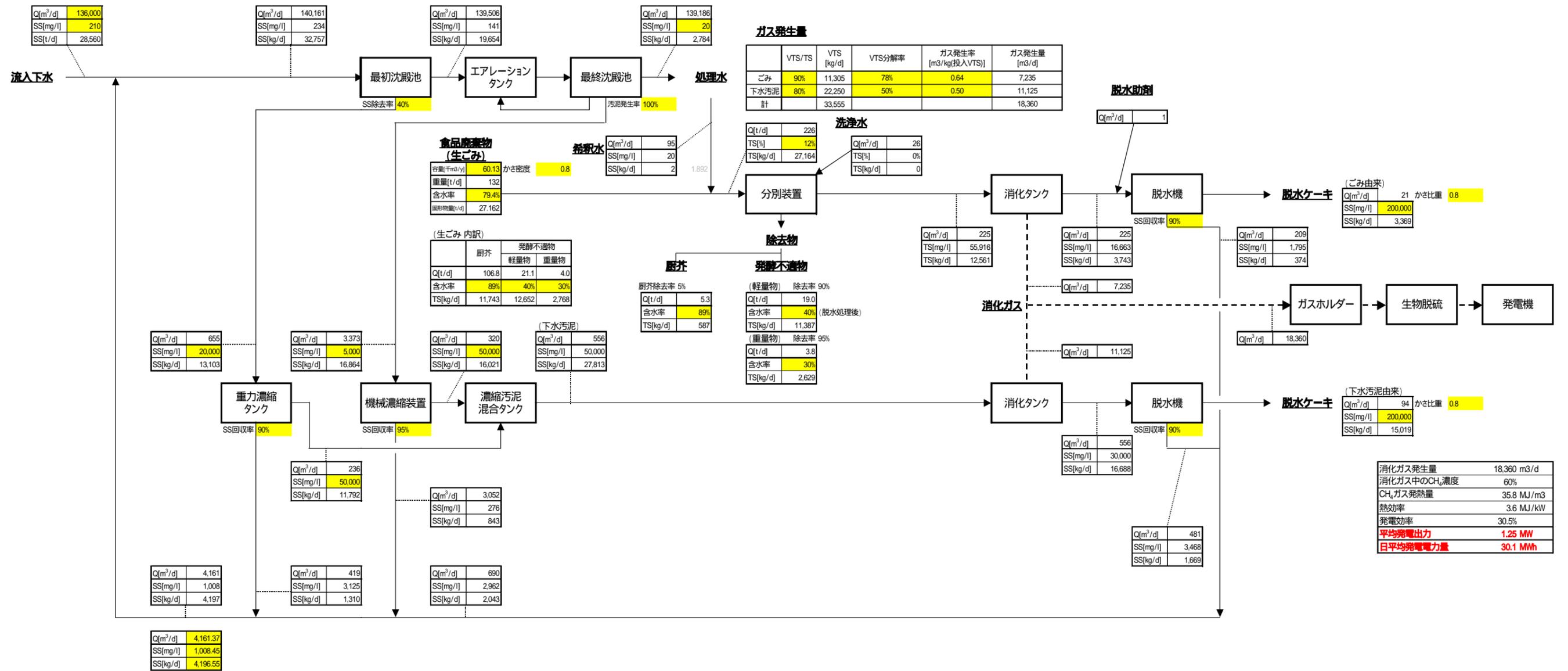


図 -1-5 物質収支

1.5 機器詳細

設備概要において、主要な機器の概要について記述したが、本項目では機器の詳細について、受入供給設備、メタン発酵設備、エネルギー回収設備、脱水設備、脱臭設備に分けて記載する。また、単線結線図を示す。

表 -1-6 受入れ供給設備

施設名： 設備名：受入供給設備		機 器 表						
種別	機番 M/#	機器名称	数 量		型 式	主 材 質	主 要 仕 様	電動機 [kW]
			(計)	(予備)				
	A01	生ごみ受入ホッパ 下部スクルー	3		角型密閉下部スクルー切出式	SS製	有効容量： 66 [m ³] 150 x 4連	- 3.7
	A02	生ごみ破碎装置	3		三軸剪断破碎式	FC+SUS製	3.4 [m ³ /hr]	11+2.2
	A03	破碎生ごみ搬送装置	3		角型密閉昇降反転排出式	SS製	45 [m ³ /hr] 機長 11 [m]	3.7
	A04	生ごみ破碎選別装置 (パルバー)	3		湿式破碎選別式	要部SUS製	有効容量： 10.4 [m ³]	90
	A041	(マルチソータ)	3		回転選別式	要部SUS製	10.4 [m ³ /回]	11
	A042	重量物取出コンベア	3		スクルーコンベア	SS製	1.0 [m ³ /hr] 機長 3 [m]	1.5
	A043	砂取出コンベア	3		スクルーコンベア	SS製	1.0 [m ³ /hr] 機長 3 [m]	1.5
	A05	軽量物移送コンベア	1		フライトコンベア	SS製	11 [m ³ /hr] 機長 34 [m]	3.7
	A06	軽量物脱水機用中継ホッパ	1		角型密閉下部スクルー切出式	SS製	33 [m ³]	2.2
	A07	軽量物脱水機	1		スクループレス脱水機	SUS製	11 [m ³ /hr]	15
	A08	脱水軽量物搬送コンベア	1		フライトコンベア	SS製	3.7 [m ³ /hr]	2.2
	A09	軽量物貯留ホッパ	1		角型密閉下部スクルー切出式	SS製	有効容量： 65 [m ³]	3.7
	A10	可溶化槽	1		角型水密密閉	RC	有効容量 249 [m ³] 寸法 7.6[m] x 8.2[m] x 4[mH]	-
	A11	可溶化槽攪拌ポンプ	2	0	槽外スラリーポンプ	FC+SUS製	1.6 [m ³ /min] x 78 [kPa] (= 8.0 [mH])	3.7
	A12	発酵槽投入ポンプ	2	0	一軸ネジポンプ (インバータ制御)	FC+SUS+NBR製	18 ~ 45 [m ³ /hr] x 196 [kPa] (= 20.0 [mH])	11

表 -1-7 メタン発酵設備

設 名： 備 名：メタン発酵設備		機 器 表					
機番 M/#	機器名称	数 量		型 式	主 材 質	主 要 仕 様	電動機 [kW]
		(計)	(予備)				
B011	メタン発酵槽	2		円筒水密密閉攪拌式	RC	有効容量 1,884 [m ³] 寸法 13.8 [m] x 12.4 [m]	-
B012	メタン発酵攪拌機	2					5.5
B02	消化槽循環ポンプ	2	0	槽外スラリーポンプ	FC+SUS製	1.3 [m ³ /min] x 98 [kPa] (= 10 [mH])	5.5
B03	消化槽用熱交換器	2		スパイラル式熱交換器	SUS製	伝熱面積 46 [m ²]	-

表 -1-8 エネルギー回収設備

施設名： 設備名：エネルギー回収設備		機器表					
種別	機番 M/#	機器名称	数量 (計)(予備)	型式	主材質	主要仕様	電動機 [kW]
	C01	脱硫塔	1	生物脱硫方式	SS製	有効容量 40.6 [m3] 寸法 5[m] × 7[mH]	-
	C02	脱硫塔散水ポンプ	2	0 横軸渦巻ポンプ	SS製	0.38 [m3/分] × 78 [kPa] (= 8.0 [mH])	1.5
	C03	ミストセパレ-タ	1		SUS製	13 [Nm3/min]	-
	C04	ガスホルダ-	1	乾式無加圧吊り下げ式	PVC製	有効容量 1,700 [m3]	-
	C05	安全装置	1	水封式	SUS316L		-
	C06	ガス供給ファン	2	0 ファン	アルミ合金製	7.1 [m3/分] × 3.24 [kPa] (= 0.33 [mH])	2.2
	C07	発電機	4	デュアル燃料式発電機		390 [kW]	
	C08	余剰ガス供給ファン	1	ファン	アルミ合金製	18 [Nm3/hr] × 4.12 [kPa] (= 0.42 [mH])	1.5
	C09	余剰ガス燃焼装置	1	0 自然通風式	SUS製	1,100 [Nm3/hr]	1.0

表 -1-9 脱水設備

施設名： 設備名：脱水設備		機器表					
種別	機番 M/#	機器名称	数量 (計)(予備)	型式	主材質	主要仕様	電動機 [kW]
	D01	消化汚泥貯留槽	1	角型水密閉	RC	有効容量： 318 [m3] 寸法 9.7[m] × 8.2[m] × 4[mH]	-
	D02	消化汚泥貯留槽攪拌ポンプ	1	0 槽外スラリ-ポンプ	FC+SUS製	2.7 [m3/min] × 78 [kPa] (= 8.0 [mH])	5.5
	D03	消化汚泥供給ポンプ	1	0 一軸ネジポンプ(インバ-タ制御)	FC+SUS+NBR製	4.7 ~ 11.2 [m3/hr] × 147 [kPa] (= 15 [mH])	3.7
	D04	汚泥脱水機	1	スクリーブレス脱水機	SUS304	11.2 [m3/hr]、187 [kg-ds/hr]	4.1
	D05	無機系脱水剤注入ポンプ	1	0 ダイアフラムポンプ	PVC製	260 ~ 650 [ml/min] × 1.0 [MPa]	0.2
	D06	無機系脱水剤貯留タンク	1	縦型円筒形	PE	3 [m3]	-
	D09	脱水汚泥移送コンベア	1	スクリュ-コンベア	SS製	1.1 [m3/hr] 機長 5 [m]	1.5
	D10	脱水汚泥ホッパ	1	角型密閉下部スクリュ-切出式	SS製	有効容量 22 [m3] 300 × 4連、切出量可変速	2.2
	D11	雑排水槽	1	角型水密閉	RC	有効容量： 202 [m3] 寸法 5.2[m] × 9.7[m] × 4[mH]	-
	D12	雑排水移送ポンプ	1	0 水中渦巻ポンプ		0.14 [m3/min] × 196 [kPa] (= 20 [mH])	1.5

表 -1-10 脱臭設備

施設名： 設備名：脱臭設備		機器表					
種別	機番 M/#	機器名称	数量 (計)(予備)	型式	主材質	主要仕様	電動機 [kW]
	E01	脱臭ファン	1	0 タ-ボファン	FRP	324 [m3/min] × 2.94 [kPa] (= 0.30 [mH])	30
	E021	洗浄塔	1	縦型洗浄塔	FRP	計画風量 324 [Nm3/min] 寸法 2.4 [m] × 1.50[mH]	-
	E022	循環ポンプ	1	0 耐食性渦巻ポンプ	PVC	1.0 [m3/min] × 49 [kPa] (= 5.0 [mH])	2.2

1.6 実際の工事について

1.6.1 工事行程，工事の留意点

本節では，工事実施上の留意点，工事工程について記述する。

基礎工事においては厳冬期や雨期は避けることが好ましく，また，工材の確実な現地調達の可否などの調査も必要である。確保した工材は盗難などによる損失がないよう注意することも重要である。本プロジェクトを実施する場合の課題となる。

比較的大型のガスエンジンなどで，パッケージ化しにくく，かつ，分割もしにくいもの場合は，より小型のガスエンジンを複数台使用する方式に変更する検討も必要であることから，本プロジェクトは4機のガスエンジンとした。

試運転，立上げの段階に至って，運転員教育は特に時間をかけて行わねばならない。どんなに立派な設備であっても運転員教育が不十分ならば，その施設は不十分な保守管理あるいは予備品不足などのためにやがて機能しなくなり，JI プロジェクトしての実効性がなくなる。

第2章 事業スキーム、体制、スケジュール

2.1 想定事業スキームと役割

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おり、各事業関係者の役割は、以下のとおりである。

- ・ バイオガス発電事業会社（特別目的会社）
アスタナ市における本バイオガス発電事業の経営を目的として設立される特別目的会社。現地の法人設立制度や関係者の意向等によっては、パートナーシップや合併会社等の形態をとることも考えられる。
発電事業に関する全ての許認可権、資産を所有するとともに、土地・建物リース、EPC、O&M、熱・電力供給等の契約当事者となる。
- ・ 出資者（株主）
東北電力㈱をはじめ、商社等の日本企業や、現地有力企業等で、バイオガス発電事業会社への出資による配当収益やCO₂クレジットを期待する。
- ・ 銀行団
バイオガス発電事業会社の設立に当り、プラント建設費等、事業実施に関わる費用の一部を融資する。JBIC等の輸出信用機関のほか、日本ならびにカザフスタンの市中銀行の参加も考えられる。
- ・ カザフスタン国政府、アスタナ市当局
カザフスタン国における発電事業、開発行為、投資行為等に関して必要となる全ての許認可を取得する必要がある。

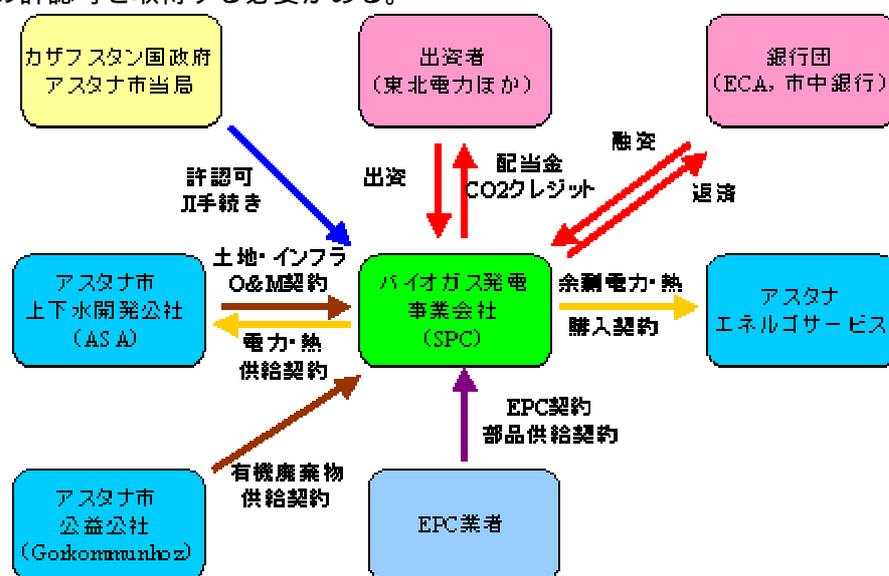


図 II-2-1 バイオガス発電事業の想定スキーム

- ・ アスタナ市上下水開発公社（ASA）
本事業において、プラント設置箇所となるアスタナ市下水処理場の所有者であると同時に、発生する電力や熱の主たる供給先でもある。
土地や各種インフラのリース、使用契約、電力・熱供給契約の当事者であることに加え、下水処理プロセスに組み込まれるプラントの有力なO&M業者候補でもある。

- ・ アスタナ市公益公社（Gorkommunhoz）
本事業では、下水汚泥と有機廃棄物の共発酵プラントを導入するが、有機廃棄物の供給元として、分別回収の開始されたアスタナ市におけるアスタナ市公益公社を想定している。
- ・ アスタナエネルギーサービス
本事業で発生する電力や熱に余剰が生じた場合、供給先となる。
- ・ EPC業者
プラントの建設を担当するとともに、メンテナンスに当たっての各種技術サービスやスペアパーツ供給等を行う。

2.2 事業実施スケジュール

本事業は、アスタナ下水処理場におけるJBICプロジェクトの実施を前提としている。現在、JBICプロジェクトは、2008年の運用開始を目指して建設工事実施に向けた準備が進められており、本プロジェクトでは、JBICプロジェクトの完成直後に建設工事を開始して、早期の事業開始を目指す。

有機廃棄物の分別回収については、現在はまだ検討段階であるが、プロジェクト開始時には段階的な分別回収が開始されているものと想定する。

本事業の工事行程については、海外における約10MWディーゼル発電プラントの建設事例などを参考にした工程表を表 -1-5に示す。

表 -2-1 工 程 表 (例)

項 目	期 間 (月)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1 基本設計	→																		
	要求仕様,調査・F/Sデータの確																		
2 各機器等の詳細設計	●	→																	
3 発注仕様作成	●	→																	
4 国内(日本)調達,集積,出荷	●	→																	
5 現地調達,機材集積					→														
					現場事務所開設														
													現場事務所閉						
6 基礎・土建工事					●	→													
7 機器据付						●	→												
8 配管・電気・計装									●	→									
9 試運転・調整												●	→						
												部分稼動 全系統 完成引渡							
10 運転員教育												●	→						

第3章 本プロジェクトのJ1プロジェクトへの適用

3.1 システムバウンダリー

本プロジェクトにおいて、システムバウンダリーは下水処理場の中にプロジェクトを設置することから、設置した追加設備がシステムバウンダリー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。

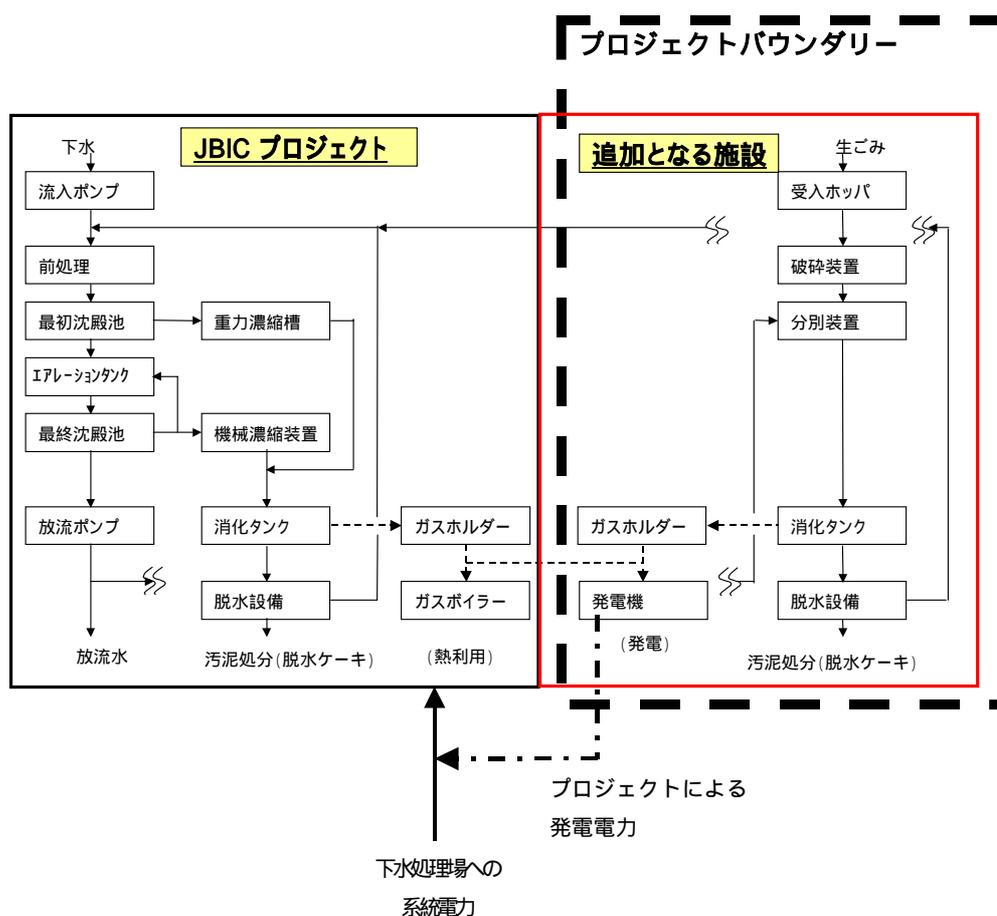


図 -3-1 システムバウンダリー

3.2 ベースラインの設定・追加性の立証

3.2.1 ベースラインの設定

ベースラインとは、何らかのプロジェクトが実施されない場合に想定されるその地域の状況を表したものである。

現在アスタナ市は、廃棄物は一括収集され、有機廃棄物も無機廃棄物も一緒に埋立地に搬入され、衛生理立後に 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、そのバイオガスはボイラの燃料として冬の期間に利用されている。

この状況をふまえ、シナリオとして考えられるのは、次の12のシナリオである。

表 -3-1 想定シナリオ一覧

ケース	収集されたごみ	下水処理場				
1	一括収集後埋立処分 埋立て処分を行い、発生した LFG をフレア処理	下水汚泥によるメタン発酵	ボイラによる燃焼 発電機による発電			
2						
3				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。	下水汚泥によるメタン発酵	ボイラによる燃焼 発電機による発電
4						
5						
6						
7	埋立処分以外の処 理 廃棄物のうち、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	下水汚泥によるメタン発酵	ボイラによる燃焼 発電機による発電			
8						
9				可燃物の焼却処分	下水汚泥によるメタン発酵	ボイラによる燃焼 発電機による発電
10						
11				廃棄物のうち、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	下水汚泥 + 有機廃棄物によるメタン発酵	ボイラによる燃焼 発電機による発電
12						

想定されるシナリオの概略図を以下に示す。

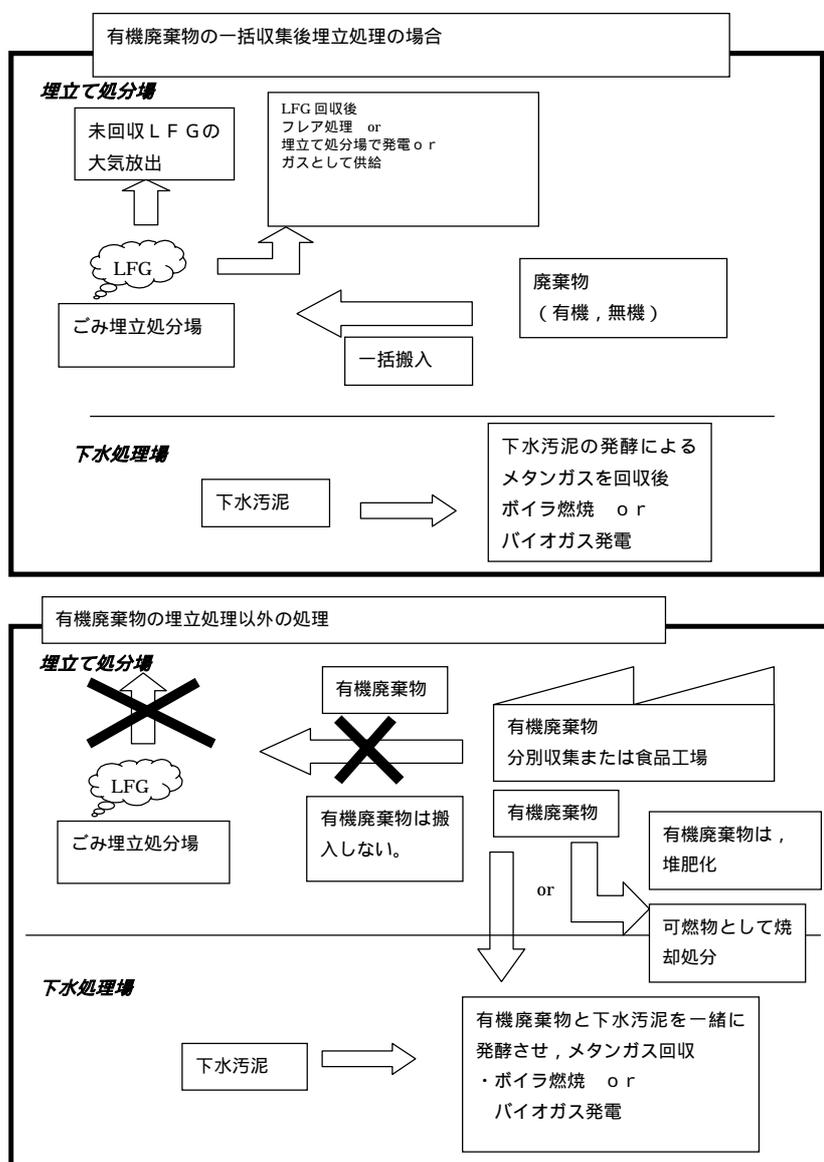


図 -3-2 想定シナリオ概要図

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。

(各項目の詳細な検討ならびに追加性の立証は，PDD 参照のこと。)

ベースラインとなった案 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。以下に概略図を記載する。



図 -3-3 ベースラインシナリオ概念図

3.2.2 追加性の立証

プロジェクトシナリオについては，総合評価にて，次点となった案 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ため，追加性があると考えられる。

なお，CO₂ クレジットを考慮する場合としない場合の経済的効果については，CO₂ クレジットがあることでプロジェクトの NPV を 2,700 千 USD 程度改善する効果がある。

3.3 プロジェクト実施による GHG 削減量及びリーケージ

3.3.1 プロジェクト実施による GHG 削減量

プロジェクトシナリオは，有機廃棄物を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，発生したバイオガスによって発電を行うものである。

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。

プロジェクトシナリオでの CO₂ 排出量

$$PEy = (BE_SW_EL_GRIDy - P_EL_GENy) \times EF_GRID + PE_METH_NWy \times _METH$$

PEy : プロジェクト CO₂ 削減量(t- CO₂/year)

BE_SW_EL_GRIDy : 下水処理場で使用する電力量(KWh)

P_EL_GENy : バイオガス発電電力量 (kWh)

EF_GRID : グリッドにおける CO₂ 排出係数 (t- CO₂/kWh)

PE_METH_NWy : 発酵槽に投入された有機物と下水汚泥の共発酵により発生したメタンガス量(t- CH₄/year)

_METH : メタンの地球温暖化係数(=21 IPCC Guideline

ここで, PE_METH_NWy は全量バイオガス発電に使用されるため GHG として大気放出されない。

よって, プロジェクトシナリオでの CO₂ 排出量は

$$PEy = (BE_SW_EL_GRIDy - P_EL_GENy) \times EF_GRID + PE_METH_NWy \times _METH$$
$$= (BE_SW_EL_GRIDy - P_EL_GENy) \times EF_GRID$$

メタン発酵槽に投入する下水汚泥と有機廃棄物の発生量は, 以下のとおりである。

下水汚泥 : 下水処理量 136,000 / 日から下水汚泥は 562 / day 発生。

有機廃棄物: 廃棄物 60,130 / 年から内容物を精査し, 279 / day 発生

この下水汚泥と有機廃棄物を嫌気性発酵槽に投入すると, 設置するプロジェクト機器から発生する有機性廃棄物由来のバイオガスは, 18,360 /day となる。

この機器から発生するメタンガス濃度は「下水道施設計画・設計指針と解説」((社)日本下水道協会) によると 60~65%であることから, 保守的な値を選択し 60%とした。

このことから, 発生するメタンガス量は, 11,016 /day となる。

以上のことから, メタンガスを利用した発電量は, メタンガス発電機の効率を 27.45%, メタンガス発熱量 35.8MJ/m³ kWh と MJ の換算係数を 3.6kWh/MJ とし発電量を計算すると, 一日あたりの発電量 = メタンガス量 × メタンガス発熱量 × 発電効率 / 3.6

$$= 11016 \times 35.8 \times 0.2745 / 3.6$$

= 30.07MWh/day である。

メタンガス発電所の発電電力量は, メンテナンス期間(年 10 日間)において, ガス発生量が 40%となることから年間稼働率を 97.28%, メタンガス発電所の所内電力が 4,540 kWh/日であることから, 発電電力量は, 年間供給電力量は, (30.07-4,540/1000) MWh × 365 × 0.9728 = 9,064MWh となる。

次にグリッドにおける CO₂ 排出係数を求める。

アスタナ市は, 大型の石炭火力発電所があるため, 同市の電力はその石炭火力から供給さ

れていると言ってよい。しかしながら，アスタナ市の系統は単独の系統ではなく，他地域とも連携されていることから，保守的に考え，カザフスタンの全電源の加重平均をとったCO₂排出係数を用いることとした。

カザフスタンの発電電力量は，年間 61,000GWh であり，各電源の構成は，88%が火力，12%が水力発電である。火力発電の燃料構成は，75%が石炭，23%がガス，2%が油である。上記に加え，次の条件で加重平均排出係数を求めた。

- ・ガス，油火力発電所の発電効率は保守的に日本の 1990 年代の平均を用いた。
- ・ガスの発熱量はカザフスタンのウラルスク TETS の値を用いた。
- ・油の発熱量は，保守的に日本における平均的な油の発熱量を用いた。

表 -3-2 カザフスタンにおける燃料別 発電量

		発電電力量	CO ₂ 排出量
		GWh	× 10 ³ t-CO ₂ /年
火力	石炭	40,260.0	38,947.03
	ガス	12,346.4	6,391.07
	油	1,073.6	730.72
水力		7,320.0	0.00
合計		61,000.0	46,068.82

(出典：カザフスタン共和国エネルギー天然鉱物資源省)

以上の値を用いて，計算した結果，加重平均排出係数は，0.75t- CO₂/MWh

メタンガスによる発電量が 8,617MWh/year であることから，

$$\begin{aligned}
 P_{EL_GENy} \times EF_{GRID} \\
 &= 9,064MWh \times 0.75 [t- CO_2/MWh] \\
 &= 6,798 [t- CO_2]
 \end{aligned}$$

以上のことから，本プロジェクトによる GHG 排出量は，以下のとおり。

$$\begin{aligned}
 PEy &= (BE_{SW_EL_GRIDy} - P_{EL_GENy}) \times EF_{GRID} + \times PE_{METH_NWy} \times _METH \\
 &= (BE_{SW_EL_GRIDy} - P_{EL_GENy}) \times EF_{GRID} \\
 &= BE_{SW_EL_GRIDy} \times EF_{GRID} - 6,798 [t- CO_2]
 \end{aligned}$$

3.3.2. リークージ

今回のプロジェクトにおいて，考えられるリークージは，プロジェクト機器運用に関係し消費される電気，熱，および有機物を下水処理場の発酵槽に搬入するトラックから発生する CO₂等が考えられる。プロジェクト機器の電気，熱については，プロジェクト機器から発電される電力，熱を利用することから，プロジェクトを実施したために新たに発生するリークージはない。ここで，有機物の下水処理場への搬入時のリークージについて算出する。

$$L_1 = EF_{TR} \times TR_{AM}$$

L1 : リークージによる CO₂ 排出量 (t- CO₂/年)

EF_{TR} : 有機物運搬トラック 1 台が市内から下水処理場まで有機廃棄物を運搬した場合の CO₂ 排出量 ((t- CO₂/台)

TR_{AM} : トラック台数。トラック台数は運搬時にカウントされた値を使用する。

EF_{TR} を求める。

カザフスタンにおける平均的な 5t トラックの燃費が 5km/L であり有機物を運搬する距離がアスタナ市を横断する距離で約 15km なので、使用する燃料は 3L である。

ここで、IPCC ガイドラインより

酸化係数 0.99

CO₂ 原単位換算 44/12 = 3.7

炭素排出原単位 19.6 [t-c/TJ]

発熱量 0.043TJ/t (10,300kcal/kg) 日本の軽油の平均値を使用した。

燃料使用量 28.908 /year

比重 0.84

$$\begin{aligned} EF_{TR} &= \text{使用した軽油量} [] \times \text{比重} \times \text{発熱量} \times \text{参加係数} \times \text{CO}_2 \text{原単位換算} \times \text{炭素排出原単位} \\ & \quad [\text{t-c/TJ}] \\ &= 3 \times 0.84 \times 0.043 \times 0.99 \times 3.7 \times 19.6 [\text{t- CO}_2/\text{台}] \\ &= 0.00778 [\text{t- CO}_2/\text{台}] \end{aligned}$$

次にトラックの台数を求める。

年間の有機物の排出量が 48.18Gg/年であることから、運搬用トラックを 5t トラックとすると年間のトラック台数は以下のとおりとなる。

$$TR_{AM} = 48.18 [\text{Gg/年}] \times 1,000 [\text{t/Gg}] / 5 [\text{t}] = 9,636 \text{ 台}$$

以上のことから、リークージによる CO₂ 排出量は、

$$\begin{aligned} L_1 &= EF_{TR} \times TR_{AM} = 9,636 \times 0.00778 \\ &= 75 [\text{t- CO}_2/\text{年}] \end{aligned}$$

3.3.3 ベースラインシナリオによる GHG 排出量

ベースラインシナリオにおける GHG 排出量の計算式は、次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{ベースラインシナリオ GHG 排出量} &= \\ & \quad \text{ベースラインでの埋立て処分場からの LFG 排出量} \\ & \quad + \text{ベースラインの系統電力による CO}_2 \text{排出量} \end{aligned}$$

$$BE_y = BE_{SW_EL_GRIDy} \times EF_{GRID} + BE_{METH_Wy} \times _METH$$

ここで、

- BE_y : ベースライン CO₂ 排出量(t- CO₂/year)
 BE_{SW_EL_GRIDy} : 下水処理場で使用する電力量(kWh)
 EF_{GRID} : グリッドにおける CO₂ 排出係数 (t- CO₂/kWh)
 BE_{METH_Wy} : LFG として回収できない埋立処理場から大気放出されるメタンガス量(t- CH₄/year) 算定は IPCC を使用し計算する。ただし、モニタリング結果と比較し、保守的に少ない値を用いる。
 _METH : メタンの地球温暖化係数(=21 IPCC Guideline)(t- CO₂/t- CH₄)

始めに LFG として回収されず埋立処理場から大気放出されるメタンガス量を求める。

IPCC ガイドラインの式に準拠してメタンガス排出量は、

$$BE_{METH_Wy}(\text{Gg/year}) = (MSWT \times MSWF \times MCF \times DOC \times DOCF \times F \times 16/12 - R) \times (1-OX)$$

$$= (MSWT \times MSWF \times MCF \times DOC \times DOCF \times F \times 16/12) (1 - R) \times (1-OX)$$

ここで、記号は

- MSWT = total MSW generated (G/yr)
 MSWF = fraction of MSW disposed to solid waste disposal sites
 MCF = methane correction factor (fraction)
 DOC = degradable organic carbon (fraction)
 DOCF = fraction DOC simulated
 F = fraction of CH₄ in landfill gas
 R = recovered CH₄ (Gg/yr)
 OX = oxidation factor

ここで、

MCF : アスタナ市の廃棄物埋立て場は、管理型埋立て処分場のため、IPCC より 1.0
 DOCF : IPCC のデフォルト値は、0.77 であるが、DOCF に対する冬季温度の影響を考慮し、値を 0.68 とした。

廃棄物処分場の管理や研究に携わる研究者からのヒアリングを行った結果、寒冷地であっても土中に埋立処理された有機廃棄物の温度は、自らの嫌気性発酵による発熱もあって 40 ~ 60 に保たれ、場合によっては 70 に達することもあると言われている。

IPCCC における DOCF の Default 値 0.77 は、数式 $0.014T+0.28$ に $T=35$ を代入して得られる数値であり、それ自体が保守的であるということができる。

しかしながら、埋設深の浅い箇所については、外気温の影響を受けることから、メタンガス発生に対する温度の影響を考えるに際し、極寒地における気温の影響範囲を考慮することとした。

一般的な温帯域においては、冬季においても凍結深は 0.5m 程度であるとされている。こ

れに対し、カザフスタン国では、設計上の凍結深は 2.0mとされている。また、北海道で廃棄物処分場の研究に携わる学識者の見解として、気温の影響を受ける廃棄物処分場の深さは 5.0m 程度との意見もあり、今回は安全を見て地表より 5.0mの影響を考慮する。

今回の処分場の廃棄物埋立方法は、透水性シートを挟みつつ廃棄物 2.00m+土砂 0.5mを 7 層に積上げ、更に土を盛る計画としていることから、埋立層の厚さは、
 $(2.00\text{m}+0.50\text{m}) \times 7+0.50\text{m} = 18.00\text{m}$

このうち、温帯域で通常気温の影響を受けていない部分が、 $18.00-0.50 = 17.50\text{m}$ であり、これが、通年に渡り 35.0 に相当する見掛け上の DOCF 特性を有すると考える。

これに対し、冬季間については、凍結による影響を受けない部分は、 $18.00-5.00 = 13.00\text{m}$ であり、この間の DOCF は、容積の減分、すなわち $13.00/17.50$ だけ減少すると考える。

すなわち、 $\text{DOCF}(\text{冬}) = 0.77 \times 13.00/17.50 = 0.572$

実際には、全体層の大きさと比較して影響は小さいものの、ガス抜き配管周りの温度低下などもあることから、 $\text{DOCF}(\text{冬}) = 0.56$ とする。

アスタナ市では、月平均最高気温が氷点下となる期間が、11月～3月の5ヶ月間であり、本プロジェクトの DOCF は、

$\text{DOCF} = (0.77 \times 7 + 0.56 \times 5) / 12 = 0.68$ とする。

実際には、11月～3月の全ての期間に低温の影響が凍結深である 2mを超えて 5mの範囲にまでに達していることは考え難く、本想定は十分に保守的であると考えられる。

F : IPCC よりデフォルト値を用いる。 0.5

ただし、この値についてはモニタリングを行い、IPCC デフォルト値と比較し保守的に低い値を利用する。

R : 米国環境保護局(以下 EPA)の Landfill に関するハンドブックによると、メタンガスの回収率は、50%から 90%の間と想定されている。また、EPA のハンドブックによると LFG 回収のオペレーションを実施した場合の回収効率は、メタンガス発生量の 70%から 85%の間とも記載されており、運用上の回収効率を利用し、保守的に回収効率は 85%とした。

OX : IPCC よりデフォルト値 0.0

MSWT × MSWF × MCF × DOC : このデータの意味するものは、アスタナ市の埋立て処分場に捨てられる有機性廃棄物の量であることから、アスタナ市のデータより有機性廃棄物の処分量は 48.18Gg/年とした。

値を代入すると

BE_METH_Wy (Gg/year)

$= (\text{MSWT} \times \text{MSWF} \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOCF} \times \text{F} \times 16/12 - \text{R}) \times (1-\text{OX})$

$= (\text{MSWT} \times \text{MSWF} \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOCF} \times \text{F} \times 16/12) (1 - \text{R}) \times (1-\text{OX})$

$= (48.18 \times 1.0 \times 0.68 \times 0.5 \times 16/12) (1 - 0.85) \times (1-0)$

$= 3.20 \text{ Gg/year}$

埋め立て処分場から発生する CO₂ 排出量は以下のとおりとなる。

$$BE_METH_Wy \times _METH$$

$$= 3.20[Gg/年] \times 1000[t/Gg] \times 21 = 67,200 [t- CO_2/年]$$

カザフにおける発電による CO₂ 排出量については現地期間への聞き取り調査により求める。

以上のことから、ベースラインにおける CO₂ 排出量は以下のとおりとなる。

$$BEy = BE_SW_EL_GRIDy \times EF_GRID + BE_METH_Wy \times _METH$$

$$= 67,200 + BE_SW_EL_GRIDy \times EF_GRID [t- CO_2/年]$$

3.3.4 リークージを含んだプロジェクト実施による GHG 削減量

CO₂ 排出削減量は以下のとおりとなる。

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

$$= BEy - (PEy + L1)$$

$$= (67,200 + BE_SW_EL_GRIDy \times EF_GRID) - (BE_SW_EL_GRIDy \times EF_GRID - 6,723)$$

$$= 67,200 + 6,723$$

$$= 73,923 [t- CO_2]$$

当初想定したプロジェクトでは、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、調査を進めていく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た。そのため、想定条件（ベースライン）が変更となり、GHG 削減量が大きく減少する結果となり、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。

なお、本プロジェクトによる第一期約束期間(2008 - 2012)における削減量は、308,012 [t- CO₂]である。

表 -3-3 プロジェクト期間の GHG 削減量

年	有機廃棄物を埋立て処分場に処分することによる CO ₂ 排出量 [t- CO ₂ /年]	バイオガス発電による系統電源の削減量 [t- CO ₂ /年]	リークージ [t- CO ₂ /年]	GHG 削減量 [t- CO ₂ /年]
2008	11,200	1,133	13	12,320
2009	67,200	6,798	75	73,923
2010	67,200	6,798	75	73,923
2011	67,200	6,798	75	73,923
2012	67,200	6,798	75	73,923
2013	67,200	6,798	75	73,923
2014	67,200	6,798	75	73,923
合計				455,858

3.4 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。また、概要図に記載している測定項目および測定方法と品質管理については、次ページの表に取りまとめた。

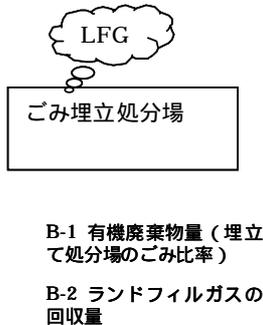
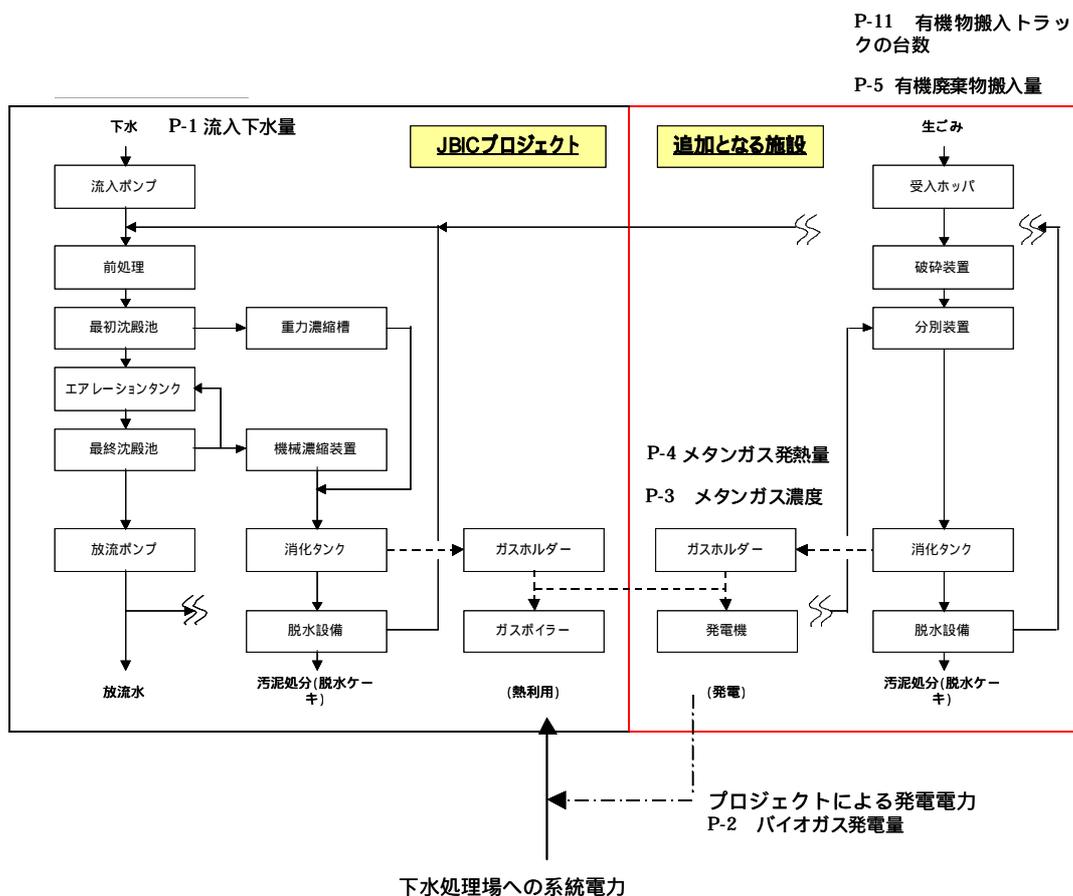


図 -3-4 モニタリング計画概要図

表 -3-4 測定項目ならびに測定方法

ID number	Source of data	Data unit	Measured (m), calculated (c), estimated (e),	Recording frequency	Proportion of data to be monitored	How will the data be archived? (electronic/ paper)	Comment	
P-1	流入下水量	流量計による測定	/日	m	Everyday	100%	electronic/ paper	
P-2	バイオガス発電量	電力計による測定	KWh /day	m	Everyday	100%	electronic/ paper	
P-3	発酵槽からのメタンガス濃度	濃度計による測定	%	m	Weekly	100%	electronic/ paper	
P-4	メタンガス発熱量	発熱量計による測定	MJ/	m	Weekly	Sample	electronic/ paper	
P-5	有機廃棄物搬入量	トラックスケール	t/day	m	Everyday	100%	electronic/ paper	
P-6	カザフの電源構成	聞き取り		m, c	Year	Sample	paper	全電力平均の炭素排出係数を求めるためにモニタリングを行う。
P-7	カザフの火力発電に使う各燃料使用量	聞き取り	t/year	e	Year	Sample	paper	全電力平均の炭素排出係数を求めるためにモニタリングを行う。
P-8	カザフの全発電量	聞き取り	MW/year	e	Year	Sample	paper	全電力平均の炭素排出係数を求めるためにモニタリングを行う。
P-9	電力のCO ₂ 排出係数	聞き取りと計算	t-CO ₂ /MWh	c	Year	Sample	paper	
P-10	有機物搬入トラック数	目視による台数確認	Amount/day	m	Everyday	100%	electronic/ paper	
P-11	法律	聞き取り			Year		paper	廃棄物やエネルギーに関する法律の改正や新法律の制定について
B-1	有機廃棄物量	計量ばかりによる計測	t/year	m, c	年2回	Sample	electronic/ paper	分別される前の廃棄物について、その組成を調べる
B-2	ランドフィルガスの回収量	流量計計算	t/year	m, c	Everyday	Sample	electronic/ paper	LFG回収配管に流量計を設置し、流量と配管数をかけてLFGの回収量を計算する。
L-1	トラックの台数	目視による台数確認	Unit/year	m	Everyday	100%	electronic/ paper	
L-2	トラックの燃費	聞き取り	km/l	m, c	Half year	Sample	electronic/ paper	
L-3	軽油の発熱量	聞き取り	kcal/kg	e	Half year	Sample	electronic/ paper	

表 -3-5 品質管理表

Data	Uncertainty level of data	Explain QA/QC procedures planned for these data, or why such procedures are not necessary.
P-1	Low	QA あり。流入下水量は、下水処理場において流量計によって計測される。流量計は、当該国の測定装置の校正に関する規格に基づくが、ない場合はメーカーの推奨する校正を定期的実施する。
P-2	Low	バイオガス発電量は、当該国の測定装置の校正に関する規格に基づくが、ない場合はメーカーの推奨する校正を定期的実施する。
P-3	Low	発酵槽からのメタンガス濃度は、当該国の測定装置の校正に関する規格に基づくが、ない場合はメーカーの推奨する校正を定期的実施する。
P-4	Low	メタンガス発熱量は、当該国の測定装置の校正に関する規格に基づくが、ない場合はメーカーの推奨する校正を定期的実施する。
P-5	Low	有機廃棄物搬入量は、トラックスケールで計測される。スケールは当該国の測定装置の校正に関する規格に基づくが、ない場合はメーカーの推奨する校正を定期的実施する。
P-6	Low	電源構成について国の機関より聞き取りを行う。
P-7	Low	各燃料使用量について国の機関より聞き取りを行う。
P-8	Low	発電電力量について国の機関より聞き取りを行う。
P-9	Low	電力のCO ₂ 排出係数は、発電電力量、石炭使用量により求められる。計算上もとめられることから、積算時に注意を行う。
P-10	Low	有機物搬入トラック数、数量をカウントする。
P-11	Low	廃棄物やエネルギーに関する法律の改正や新法律の制定について調査を行う。
B-1	Low	有機廃棄物量は、人手により、無機と有機物に分別され組成が測定される。このとき、作業員には正確に分別を行うように指示を行い、測定には校正された重量計測装置を用いることとする。
B-2	Medium	ランドフィルガスの回収量は、LFG 回収配管に流量計を設置し、流量と配管数をかけて LFG の回収量を計算する。そのため、測定には校正された計測装置を用いることとする。
L-1	Medium	トラックの台数
L-2	Medium	トラックの燃費
L-3	Medium	軽油の発熱量

3.5 環境影響/その他の間接影響

環境影響分析，環境影響評価の要否，手続きについては，ホスト国となるカザフスタン共和国の国内手続きに従って行うこととする。そのため，ホスト国の国内制度を事前に十分確認する必要がある。

本報告書第3章 カザフスタン国における廃棄物処理と下水処理の「3.1カザフスタン国における廃棄物処理・下水処理に関する法制度」にあるようにカザフスタン国においては，OVOSと呼ばれる独自の環境影響評価方法が存在する。

手続きについては環境影響評価（OVOS）は，以下の段階を踏み，各段階で指針に従い，生態学的，科学的評価に加え，適宜現地調査を実施することが求められている。

環境条件の調査

予備環境影響評価（Preliminary OVOS）

環境影響評価（OVOS）

環境保護法上の書類作成

本プロジェクトを実施する場合には，環境影響評価（OVOS）の手順を踏んで調査をする必要がある。

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。

表 -3-6 環境影響が想定される項目とその対策

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。

現状，環境影響についての法律，ならびに想定できる環境影響について述べたが，法律の変更あるいは，別な環境影響項目が発生する可能性は否定できない。

その場合は，現地の最新の法律に照らし合わせ，技術的な解決策を検討することとする。

3.6 その他

3.6.1 提案プロジェクトがホスト国の持続可能な開発へ貢献できる点・技術移転できる点

JI/CDM プロジェクトにおいては、ホスト国の持続可能な開発へ貢献できることが望まれている。しかし、持続可能な開発の定義は特になく、持続可能な開発については、各国ごとによって異なるものである。参考例として、インドの例を載せる。

表 -3-7 インドにおける持続可能な開発の判断基準

インドにおける持続可能性の判断基準	
社会的便益	雇用創出による貧困の軽減，社会的不平等の除去，アメニティの向上
経済的便益	ニーズに合った追加的投資
環境的便益	資源の持続的利用，生物多様性の保全，健康への影響，環境汚染の減少
技術的便益	再生可能エネルギーや省エネルギーなど環境上適正な技術の移転

(出典：CDM/JI事業調査事業実施マニュアル 平成 16 年 8 月 (財)地球環境センター)

今回のプロジェクトにおいては、カザフ側の持続可能な開発としては、

- ・ 悪臭やごみ問題などの都市問題に対して、環境改善が行われる。
悪臭の原因となる有機廃棄物を下水処理場の発酵槽に投入することにより、密閉された空間で有機性廃棄物が処理され、悪臭が外に漏れず、メタン発酵が十分にされれば、発酵後の汚泥自身も臭気をあまり発しない。
そのため、埋立て処分場に廃棄することによる臭気の問題は緩和される。
また、有機廃棄物が減少することにより、埋立て処分場の延命化を図ることもできる。
- ・ 有機性廃棄物を利用することにより、資源の持続的な利用が行われる。
カザフスタンは国内に多くの天然資源を持ち、化石燃料も豊富である。しかしながら、再生可能エネルギーである有機性廃棄物による発電を行うことで、資源の持続的利用に貢献することができる。
- ・ 下水処理場においてバイオガスによる発電を行うことから、バイオガス利用の技術移転が可能となる。
日本では一般的な施設であるバイオガス施設は、カザフにおいては、未利用技術である。技術移転に関しては、プロジェクトが実施された場合、建設ならびに試運転、実運用、モニタリングを通して進めることができ、今後、カザフ国内におけるバイオガス利用の再生可能エネルギーの技術移転ができる。

3.6.2 利害関係者のコメント

3.6.2.1 周辺住民

本プロジェクトは、有機廃棄物と下水汚泥を利用したバイオガス発電により、GHG 排出量

削減を目指すものである。しかしながら当初よりアスタナ市において発生している環境問題を解決するための手段としており、プロジェクト実施により、埋立て処分場から発生しているランドフィルガスを削減し、悪臭の元を削減することから周辺環境の改善効果が期待できる。また、下水処理場における下水汚泥も現状よりさらに発酵度が上がり、臭気がさらに減少することから、下水処理場においても環境改善が期待できる。

また、小規模ではあるが発電を行い、石炭火力発電所の化石燃料を削減し、地域の煤塵などの大気環境の改善にも役立つと考えられる。

現在、インタビューを行ってはいないが、基本的には、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。

3.6.2.2 地域配電会社

アスタナ市では、アスタナエネルゴ社が地域配電会社として存在する。本プロジェクトによって発電される電力に余剰電力が生じれば、購入を依頼する相手先となる。

アスタナエネルゴ社は、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。

これは、アスタナ市が急激に人口が増加しており、その結果、電力需要も旺盛になりつつあることから、小規模の電力であっても購入を検討しているものと推察される。

3.6.2.3 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、A S A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。この2社は事業を実施する場合には、O & Mなど事業に参加を依頼する予定の会社である。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。

3.6.2.4 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いる。そのため、本プロジェクトによる有機廃棄物の処理については、興味を持っている。また、都市の人口増大による都市問題解決としての一面にも興味を示していた。そのため、市当局は本プロジェクトに対して前向きな姿勢を示している。

第4章 バリデーション/デターミネーション

4.1 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 に検証を依頼した。参考として JI の手続きを以下に示す。



図 -4-1 JI プロジェクトの実施フロー

(出典：排出量取引の実務 温室効果ガスを効率的に削減する仕組みと手続；

中央青山監査法人中央サステナビリティ研究所（編集）

4.2 O E とのやりとりの経過

1月上旬、PDD を D O E に提出、1月26日には東北電力本店ビルにおいて D O E (D N V) のインタビューを受けている。

D N V によるデターミネーションによれば、JI 事業としての認証にはいくつか改善すべき点はあるが、第一約束期間における GHG 削減量が 308,012t-CO₂ と想定されるとしている。

4.3 JI デターミネーションレポートの概要

(プロジェクトデザイン)

プロジェクトデザインは、地域の廃棄物処理に関する適切な先端技術やエンジニアリングを用いている。この中には、有機廃棄物や下水汚泥を用いた嫌気性処理、メタンガスを用いた発電技術など、カザフスタン国に対する技術移転を伴う要素が含まれている。

(政府による承認)

本プロジェクトは、カザフスタン政府と日本政府から正式な承認を得ておらず、適切な段階で正式な承認レターを取得することが必要である。

(シナリオスタディー)

法律・制度、技術的バリヤ、投資バリヤ、環境影響、地域性を考慮し、12の異なるシナリオについて検討し、ベースラインを選定し、かつ、追加性の検証を行っている。カザフスタン国には発電目的の嫌気性処理設備はなく技術バリヤは存在すると認められる。ただし、プロジェクトの追加性を結論付けるためには、投資バリヤの証明のため、より詳細な投資分析が求められる。

(モニタリング計画)

PDD に記述されたモニタリング計画は、概ね適切なものであるが、登録、測定、報告、プロジェクト管理、モニタリング等に関する詳細な責任、義務、権限、手法等が十分に記述されているとは言い難い。これらはエンジニアリング的側面がより詳細に決定した後明らかにしていく必要がある。

また、プロジェクト実施後のベースライン設定のためのモニタリング計画について、十分な記述が望まれる。

(GHG 削減量)

プロジェクトとベースラインの GHG 排出量を計算する方法論と計算式は適切に PDD に記述されている。本プロジェクトによる 2008 年から 2012 年までの GHG 削減量は、308,012t-CO₂ と想定される。

第5章 事業性の検討

5.1 プロジェクト資金調達の見通し

5.1.1 資金調達計画

本報告書では、プロジェクトの所要資金を IPP におけるファイナンスの手法として一般的な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。プロジェクトファイナンスとは、資源開発、大型プラント建設、大規模土木事業などのプロジェクトで用いられてきた資金調達手段で、従来のコーポレート・ファイナンスが親会社自体の信用力や土地を主な担保とするのに対し、事業自体のキャッシュ・フローを主な返済原資とする事業融資方式である。

資金調達者側のメリットとしては、ノン・リコースあるいはリミテッド・リコース型の借入となるため、基本的にはプロジェクト破綻時の負担が限定されることにある。さらに、プロジェクトの事業主体となる SPC (特別目的会社) を設立し、SPC がプロジェクトの信用力で資金調達を行うこととなり、親会社から見た場合にオフ・バランスの効果も期待できる。実際のプロジェクトファイナンス事例では、完全なノン・リコースではなく、親会社の子会社借入のリスクの一部を負担するケースもあるが、そのような場合でも親会社の負担する部分は金額・条件が明確に定められる。

本分析では、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するものとする。なお、借入金については、カザフスタン側金融機関の外貨による融資能力には限界があると判断されることから、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。

本プロジェクトにおける SPC の借入金は、融資条件等を考慮し、我国の国際協力銀行が海外プロジェクト向けに提供する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は日本国内の商業銀行からの融資により調達する方針とする。

なお、本プロジェクトは小規模であることから、その規模の小ささ故にプロジェクトファイナンスが成立しないことも考えられるが、一方で、逆にプロジェクトに関心のある投資家や市中銀行から容易に資金調達が可能な規模であるとも言える。

5.1.2 資金調達の見通し

5.1.2.1 国際協力銀行の投資金融制度について

国際協力銀行の投資金融は、開発途上国向け投資案件を対象としており、カザフスタン共和国は中所得開発途上国 (国民一人当たりの GNI 1,416USD ~ 2,935USD) に位置付けられていることから、同国は制度対象国に該当する。

一方、OECD 輸出信用機関 (Export Credit Agency ; ECA) による、公的輸出信用のプレミアム算定に関わる国分類において、カザフスタンは 7 クラスある等級の内の、中位より下の第 5 クラス (第 1 クラスが最もリスクが小さい国々) に位置付けられており、国際協力銀行

からの投資金融を受けるためには、プロジェクト自体の収益性、リスク評価とは別に、カザフスタンの政府機関から何らかのサポートを得る必要があるものと思慮される。

本プロジェクトの実現には、プラントの設置に関わる土地、インフラの提供、電力・熱供給契約に関するアスタナ市上下水開発公社（ASA）、バイオガスの燃料とも言える有機廃棄物の供給元となるアスタナ市公益公社（Gorkommunhoz）の両公社、余剰電力・熱の引取先であるアスタナエネルギーサービスとの契約が特に重要となる。つまり、これらの会社が契約を履行することを保証する何らかのサポート（不履行の際は、政府が代わって契約を履行）を政府機関から得ることが重要であり、今後プロジェクトの開発を進めていく過程で具体的な協議を政府機関と実施する予定である。本プロジェクトは、カザフスタンの環境改善に貢献するものでもあることから、実現に際し何らかのサポートが政府機関より得られるものと見込まれる。

なお、カザフスタン国内の経済状況については、国際原油価格に依存する面が大きいものの、ここ数年来高成長を維持しており、石油・ガス部門が国内外の投資流入を支え、当面はさらなる投資、生産、輸出の余剰能力拡大が続く見込みである。こうした経済状況を受け、格付会社の Standard & Poor's 社は 2004 年 5 月 20 日、カザフスタンの外貨建て長期ソブリン格付を「BB+」から「BBB-」に引き上げ、これにより同国ソブリンは「投機的」から「投資適格」になったとともに、自国通貨建て長期ソブリン格付を「BBB-」から「BBB」に引き上げた。また、短期ソブリン格付は、外貨建て、自国通貨建てともに「A-3」となっており、見通しは「安定的」としている。格付け引き上げの理由として、中期的な経済見通しが明るく、金融政策が適切に施されていることから、対外債務履行に懸念がなく、財政収支も堅固な状態が続くと見込まれる、としており、輸出信用の国分類においても今後格上げとなる可能性もある。

以上から、本プロジェクトの借入金の内、その 6 割を国際協力銀行の投資金融により調達することについては、今後のカザフスタンの経済状況や政府機関の対応によるところがあるものの、格付機関による評価、見通しは比較的良好であり、プロジェクト自体に収益性が十分あり、クリティカルな契約部分において政府機関によるサポートが得られるなど、想定されるリスクが適切に分散、低減される場合においては特段の問題はないものと考えられる。

5.1.2.2 日本国内商業銀行からの融資について

上述した理由により、本プロジェクトの借入金の内、国際協力銀行の投資金融でカバーできない資金を、国内の商業銀行からの融資で調達することについては、プロジェクト自体に収益性が十分あり、クリティカルな契約部分において政府機関によるサポートが得られるなど、想定されるリスクが適切に分散、低減される場合においては特段の問題はないものと考えられる。

5.1.2.3 資本金について

本邦企業

本プロジェクトの SPC に出資を予定している我国の企業は、現在のところ東北電力(株) 1社であるが、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。

本プロジェクトは京都メカニズムに基づく CO₂ クレジットの獲得が期待できるほか、小規模とは言えカザフスタンにおける初めての IPP 事業であり、地政学的にも重要度の高い同国でのプレゼンスを高める効果が期待できるなど、出資者として参画する意義は、プロジェクトからの収益以上に大きいといえる。このため、プロジェクトファイナンスによる IPP としてのスキームを形成し、出資者のリスクを限定できれば、他企業の参画は大いに期待できると思われる。

カザフスタン側関係者

本プロジェクトの実施サイトは、アスタナ市上下水開発公社の所有する下水処理場内であり、下水汚泥消化プラントを一体的に運転する必要があるほか、土地やインフラ設備の提供・共用等の便宜を図ってもらう必要がある。また、同社は発生した電力や熱の主たる利用者でもある。したがって、安定した操業環境の維持や電力・熱引取契約の信頼度を高める観点からも、プロジェクトへの参画が望ましい。出資形態については、現金拠出による他に土地、関連設備の現物拠出の方法が考えられ、プロジェクトのスキームが具体化した時点で実質的な協議を行うこととする。この他、有機廃棄物提供者であるアスタナ市公益公社も、燃料の安定的確保の観点から参画が望まれる。その他の参画者については、今後プロジェクトの開発を進めていく過程で検討していくこととする。

5.2 プロジェクトの収益性

5.2.1 財務分析

5.2.1.1 評価方法

IPP プロジェクトのようにプロジェクト開始当初に資本投下が集中し、その後長期にわたって投資資金の回収を行うタイプのプロジェクトを、特別目的会社 (SPC : Special Purpose Company) を設立し独立採算にて実行する場合には、現金収支に基づいて計算する正味のキャッシュ・フローを利用した評価方法が一般的に用いられている。これは、そもそも SPC は単一のプロジェクトを実施するためだけに作られたものであり、SPC に資金提供したスポンサーや金融機関にとって、その会計上の利益や資産状況以上に、キャッシュ・フローがどのように流れ、かつ配当や元金返済がどのように行われるのかが端的に評価できる手法がより重要であるためである。

本報告書では、所要資金の全額を自己資金で賄うことを前提としたプロジェクトのキャッシュ・フローより計算される内部収益率（Project IRR: Project Internal Rate of Return）、およびプロジェクトファイナンスで資金調達することを前提とした投資家側のキャッシュ・フローより計算される自己資本内部収益率（IRR on Equity: Internal Rate of Return on Equity）により財務分析を行う。

5.2.1.2 前提条件の設定（Base Case）

現地調査により得られた各種データおよび今後プロジェクトを開発していく上で最も可能性の高い想定シナリオをもとにした各種条件によりBase Caseを以下のとおり設定していく。

（１）諸前提

（a）通貨および交換レート

本分析では、基準通貨を米国ドル（US\$）とし、その他の通貨は次の交換レートにより換算されるものとする。

$$1\text{US\$} = 130.0\text{KZT（カザフスタン・テンゲ）}$$

上記交換レートは2004年12月現在のものであり、今後の世界情勢の変化等により変動はあるものの、本分析では上記の固定レートを採用する。

（b）価格水準

本分析の計算に使用する費用および価格は2004年12月時点の固定価格とし、その後の価格上昇分は見込まないものとする。

（c）プロジェクト期間

本プロジェクトの操業開始は2009年1月を想定している。これは2007年1月の契約締結から24ヶ月後にあたる。本分析のため、プロジェクト会計年度を1月開始、12月締めとする。プロジェクト期間は、建設期間2年および操業期間30年の合計32年と設定する。

（２）プラント建設費

プラント建設費は、技術検討による見積り額とカザフスタンの労働コスト、および市場調査の結果を総合的に検討し、以下のとおり見積もる（1US\$=105円として試算）。

表 II-5-1 プラント建設費

カザフスタン B G P 工事価格 積算		(単位:1000USD)	
土木建築工事			
	主処理棟		
	計		3,678
機械設備工事			
	機器購入・製作費	受入供給設備	1,561
		メタン発酵設備	306
		エネルギー回収設備	2,839
		脱水設備	525
		脱臭設備	175
	機器購入・製作費 計		5,429
	据付工事		172
	配管工事		561
	計		6,162
電気計装工事			
	電気工事		271
	計装工事		227
	計		498
仮設工事、現地経費			
	計		362
設計技術費(試運転含む)			
	計		786
工事原価 合計			11,485
一般管理費			1,484
工事価格			12,969

モデル入力時は、上記価格を、土木建築工事関係、機器関係に大別して使用した。

(3) その他費用

(a) 開発費

プロジェクトの開発費用については、プラント建設費の約 1%と見積もり、130,000US\$を計上する。

(b) 操業準備費

オーナー側 (SPC) が直接実施する事項に要する、建設工事管理費用、運転要員雇用活動・訓練費用、その他諸経費として 200,000US\$を計上する。

(c) 建設中金利

次項の融資計画に基づき、建設中金利はそれぞれの年度における借入金に対し、その支出時から完工までの期間について発生する。本分析では、3ヶ月毎にレンダーから借入金を引き出すこととし、借入金総額を引出し回数で均等割りした金額を毎回引き出す

計画のもと、建設中金利を計算する。計算の結果、建設中金利は約 380,000US\$となる。

(d) 輸入関税と付加価値税

設備機器や原材料に対する輸入関税および付加価値税は、本分析では考えないこととする。

5.2.1.3 資金計画

本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ものとする。

(1) 自己資金・借入金比率

自己資金と借入金の比率は 3 : 7 とする。

(2) 支出スケジュール

所要資金の支出スケジュールについては、3 ヶ月毎に自己資金の拠出およびレンダーからの借入金引出しにより行うものとし、毎回の支出額は均等割りによる金額とする。

(3) 長期借入金の融資条件

本プロジェクトにおける借入金は、国際協力銀行等の輸出信用機関 (ECA: Export Credit Agencies) および市中商業銀行より米国ドル建てで調達するものとし、各々の融資条件は以下のとおりとする。

表 II-5-2 融資条件

	ECA	Commercial Bank
Shares to Total Debt (%)	60	40
Interest Rate (%)	4.0	5.5
Repayment Period (year)	10 (Annuity Repayment)	10 (Annuity Repayment)
Arrangement Fee (%)	1.0	1.2
Commitment Fee (%)	0.5	0.5

(4) 短期借入金の融資条件

プロジェクト期間中に資金不足が生じた場合、カザフスタン国内の市中商業銀行から年利 15.0% (カザフスタン・テング建て)、元利金翌年返済の条件で短期借入金を調達できるものとする。

表 II-5-3 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

5.2.1.4 発電計画

本プロジェクトでは、発電した全量が下水処理場内で消費もしくは、余剰分をアスタナエネルギーサービスへ売電する計画であるため、発生するバイオガス量に応じたベースロード運転を基本とする。ただし、設備の点検周期に基づき各年における設備利用率を以下のとおりとする。

本プラントの有機廃棄物受入設備は3系統、メタン発酵槽は2系統、発電設備は4系統が用意されているため、通常点検は1系統1～2日で、順次実施することが可能であり、プラントの全停はない。すなわち設備稼働率は100%が確保される。上記により、発電設備利用率については、通常年で年間4日程度出力が3/4程度に減少するものと想定される。

本プラントでは、3～5年周期の定期点検も5日～1週間程度で十分であり、その間も全停は不要である。

以上から、本プロジェクトでの設備利用率は、定期点検による出力減もプロジェクト期間に均して、年間10日間程度出力が3/4になると想定し、97.28%の設備利用率とした。

$$\begin{aligned} \text{年間発電電力量} &: 1.25(\text{MW: 定格出力}) \times 365(\text{日}) \times 24(\text{時間}) \times \text{設備利用率}(\%) \\ &= 10.677\text{GWh} \end{aligned}$$

本プロジェクト設備単独での消費電力(所内消費電力量)は、4.5MWh/日 = 1.612GWh/年である。したがって、本プラントによる供給電力量は、以下のとおりとなる。

$$\text{年間売電電力量} : 10.677\text{GWh} - 1.612\text{GWh} = 9.065\text{GWh}$$

5.2.1.5 売電価格

本プロジェクトにおける売電価格は、アスタナ TETS からの供給電力価格 1.77KZT/kWh が 2%の電力料金値上げを申請中であることを考慮した上で、平均的な送電コスト 0.45KZT/kWh を上乗せし、以下とする。

売電価格 : 0.017 (US\$ / kWh)

5.2.1.6 運転費 (O&M コスト)

(1) 燃料費

本プロジェクトでは、下水処理により発生する下水汚泥と分別回収による有機廃棄物がメタンガスの発生源となり、通常のプロジェクトにおける燃料に相当する。

下水汚泥については、アスタナ市下水処理場の活性汚泥処理によって発生する余剰汚泥であり、処理場を管理するアスタナ市上下水開発公社 (ASA) より提供される。また、有機廃棄物は、アスタナ市公益公社 (Gorkommunhoz) のゴミ分別回収により供給されることから、これらの調達料金はかからないものとする (場合によっては、廃棄物処理費用を収入として受け取る可能性もあるが、ここでは考慮しない)。

(2) 人件費

現地調査の結果から、現地の管理者クラスの給与は 5,300US\$ / 人・年で、労働者クラスは 2,000US\$ / 人・年であった。本プロジェクト規模の設備の運転・管理は、通常 3~5 名程度の人員が必要であると言われるが、本プラントがアスタナ市下水処理場内に設置されること、下水処理場管理者である ASA からの協力を前提としていることから、管理者 1 名、労働者 2 名を見込むこととする。

表 II-5-4 労働コスト

Class	Number	Annual Salary (US\$)	Total Annual Salary (US\$)
Manager (Local)	1	5,300	5,300
Worker	2	2,000	4,000
Total	3		9,300

(3) 薬剤費

本事業では、発生する汚泥の脱水用薬剤として、ポリ硫酸鉄を用いており、その費用として、約 156,200US\$/年を計上する。

(4) 保守・点検費

保守・点検費は、3～5年の定期点検を含め、プロジェクト期間で均した値として、約130,500US\$/年を計上する。

(5) その他

操業開始時の運転資本として、以下の項目を各々1ヶ月分計上する。

- ・ 売掛金 218,000US\$
- ・ 買掛金 12,000US\$

キャッシュ・フローにおける残存価格には、上記の運転資本と投資コストの未償却資産が含まれ、プロジェクト期間の最終年度にカザフスタン側へ売却することとした。

なお、民間投資事業としての本事業のプロジェクト期間は20年を想定している。

5.2.1.7 減価償却と税制

(1) 減価償却費

カザフスタンにおける法定償却法は定率法である。本事業に係る各種固定資産の減価償却率は次のとおりである。

機械装置類：7%

建物等構築物：2.5%

その他：15%

(2) 法人所得税

運転開始後、税引き前利益に対し30%の法人所得税率による課税を考慮する。

(3) 固定資産税

固定資産の簿価に対し、1%の固定資産税率による課税を考慮する。

5.2.2 分析結果

5.2.2.1 収益性 (Base Case)

(1) CO₂クレジットの価値を含めない場合

Base Case において,CO₂クレジットの価値をキャッシュ・フローに算入しない場合の収益性の分析結果を以下に示す。

内部収益率 (Project IRR)	: 計算不能
自己資本内部収益率 (IRR on Equity)	: 計算不能
投資回収期間 (Pay-back Period)	: N.A.
プロジェクト NPV	: - 12,609 千 US\$

NPV 計算上の割引率は, S&P の格付けにおいてカザフスタンと同程度の格付けを有するフィリピンの 10 年物国債の利回りを参考に, 12% ととした。

(2) CO₂クレジットの価値を含める場合

本プロジェクトでは, 嫌気性発酵により発生するバイオガスを利用した発電により下水処理設備ならびに系統の化石燃料による電力の消費を代替すること, 有機性廃棄物を直接閉鎖系反応槽に投入することにより通常の埋立処分場で回収漏れとなるメタンガスの発生を抑制すること, により GHG を削減する。

Base Case における単位発電量当りの CO₂ 排出削減量は 8.15ton- CO₂ / MWh と計算される。本分析では, この削減量を京都メカニズムに基づく CO₂ クレジットとして認められるものとし, その価値をキャッシュ・フローに算入して収益性の分析を行う。CO₂ クレジットの価値について, 前提となる条件は以下のとおりとする。

(a) 前提条件

単位発電量当り CO₂ 削減量 : 8.15ton- CO₂ / MWh

CO₂ クレジット価値 : 5 US\$ / ton- CO₂

CO₂ クレジット獲得期間 : 2008 年から 20 年間

財務分析上は, プロジェクト期間中は, クレジットが有効であるものと仮定した。

(b) 収益性

Base Case において, CO₂ クレジットの価値をキャッシュ・フローに算入した場合の収益性の分析結果を以下に示す。IRR は投資適格な数字からは程遠いものの, CO₂ クレジットの価値をプロジェクトの収益に含めることで, プロジェクト NPV を 2,442,000US\$ 程度向上させる効果がある。

内部収益率 (Project IRR)	: 計算不能
自己資本内部収益率 (IRR on Equity)	: - 1.0%
投資回収期間 (Pay-back Period)	: N.A.
プロジェクト NPV	: - 10,167 千 US\$

(3) ベースラインが当初想定どおりであった場合

本プロジェクトは、有機廃棄物と下水汚泥の共発酵により、嫌気性発酵により発生するバイオガスを利用した発電により下水処理設備ならびに系統の化石燃料による電力の消費を代替すること、有機性廃棄物を直接閉鎖系反応槽に投入することにより通常の埋立処分場で空気中に放出されるメタンガスの発生を抑制すること、により GHG を削減する計画としていた。

しかし、調査の過程で、アスタナ市において新たに大型のゴミ処理施設の建設が進められており、同処分場においては LFG の回収とフレア処理が計画されていることが明らかとなったため、当初想定したベースラインの見直しが余儀なくされ、著しくプロジェクトの経済性を低下させる要因となった。

以下に、ベースラインが当初想定であった場合の分析結果を記述する。

(a) 前提条件

単位発電量当り CO₂ 削減量 : 53.86ton- CO₂ / MWh

CO₂ クレジット価値 : 5 US\$ / ton- CO₂

CO₂ クレジット獲得期間 : 2008 年から 20 年間

財務分析上は、プロジェクト期間中は、クレジットが有効であるものと仮定した。

(b) 収益性

Base Case において、CO₂ クレジットの価値をキャッシュ・フローに算入した場合の収益性の分析結果を以下に示す。プロジェクト IRR が 12.1%、自己資本内部収益率がレバレッジ効果もあり 17.9%と投資適格な範囲へと向上している。また、プロジェクト NPV が、現ベースラインと比較して 12,805,000US\$程度向上させる効果がある。

内部収益率 (Project IRR)	: 12.1%
自己資本内部収益率 (IRR on Equity)	: 17.9%
投資回収期間 (Pay-back Period)	: 7 年
プロジェクト NPV	: 109 千 US\$

5.2.2.2 CO₂クレジット原価

プロジェクトから発生するCO₂クレジットの原価を試算した。

原価の算定に当たっては、GHG削減活動に必要な出資金、借入金返済額等を、発生CO₂量で除した場合、に加えてプロジェクトキャッシュフロー（営業による利益）も考慮した場合の2通りで検討した。

各金額は現在価値に置きなおし、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。（NEDOモデル事業を参照）

営業収益を考慮しない場合

(ア) 現ベースライン	11.96 US\$/t- CO ₂
(イ) 当初想定ベースライン	1.81 US\$/t- CO ₂

営業収益を考慮する場合（発電事業のみ）

(ア) 現ベースライン	11.97 US\$/t- CO ₂
(イ) 当初想定ベースライン	1.81 US\$/t- CO ₂

クレジット原価は、当初想定ベースラインの下では、非常に魅力的な価格となっているが、現ベースラインの下では非常に高価なものとなっている。

営業収益の考慮・未考慮によって価格に差が出ないのは、出資額の規模や発生するクレジットの規模に比較して、発電事業による収益規模が小さいためである。

5.2.3 財務分析結果のまとめ

財務分析の結果、内部収益率やNPVの評価、CO₂クレジット原価の評価からも、本プロジェクトはCO₂クレジットを考慮しても十分な実現可能性を有しているとは言えず、当初想定したプロジェクトファイナンスによる実現は難しいと判断できる。その主たる要因は、プロジェクトの計画段階と比較してベースラインが大幅に変わったことによるクレジット量の減少にある。

しかしながら、本分析の結果は、アスタナ市における新廃棄物処理場におけるLFGのフレア処理計画によるベースラインの変更がなければ、十分JI事業として成立する可能性を同時に示しているとも言える。

したがって、カザフスタン国内における他の地域において適用すれば、十分実施可能なスキームであると言える。

5.3 カザフスタン共和国の投資環境

カザフスタンは、これまで 1991 年に「外国投資法」、1997 年に「直接投資支援法」を制定し、外国企業による対カザフスタン投資を奨励・誘致してきた。特に、「外国投資法」では、外国の投資企業に一定の保証を与える規定、ならびカザフスタンの法律の下で同企業に平等の保護を与える規定を設け、具体的には内外無差別原則、自由な利益送金、当局の没収や外国為替操作により被った損失の補償などをうたい、10 年間のグランドファーザー条項（投資決断、投資実行時に与えられた優遇・特恵などの投資インセンティブ、保護措置は、その後法制度が変わろうとも継続して有効であることを規定）を規定していた。

しかしながら、これら「外国投資法」と「直接投資支援法」を一元化するかたちで 2003 年に施行された「投資法」では、自由な利益送金とグランドファーザー条項に関する規定が削除されており、外国投資家にとって将来的見通しにおける不透明さが増している状況にある。

一方、このような状況下にも拘らず、外国企業による対カザフスタン投資が引き続き増化傾向にある現状を考えると、法制度上の不透明な点については、プロジェクトの開発段階において関係機関との調整を行うことにより十分クリアできると考えられる。例えば、税制面での優遇、特恵措置は産業貿易省傘下の投資委員会との交渉・契約によって決定されるのが実状であり、投資環境を判断するにあたっては、他外国企業のベンチマークや、関係機関との協議実施、および法律、会計、税務の各専門家を雇用してのより詳細な制度の調査、検討が必須である。

また、日本とカザフスタンとの間では、G8 諸国では唯一、いまだに租税条約や二重課税防止条約が締結されておらず、現状、日本企業が事業投資を行う場合には二重課税発生のリスクが存在する。しかしながら、両国間の関係やカザフスタンの地政学的重要度を考えた場合、同条約の交渉・締結は近い将来必ず実施されるとの見方もあり、今後の推移を注視していく必要がある。

表 II-5-5 経済分析 (Base Case)

インフレ無 カザフスタン国下水汚泥利用バイオガス発電、1.25MW、Basic		yr1	yr2	yr3	yr4	yr5	yr6	yr7	yr8	yr9	yr10	yr11	yr12	yr13	yr14	yr15	yr16	yr17	yr18	yr19	yr20	yr21	yr22	yr23	yr24	yr25	yr26	yr27	yr28	yr29	yr30	yr31	yr32	yr33	yr34				
単位:1000 \$		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039				
年度開始の暦年																																							
発電所運転月数		0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
累計運転月数		0	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240			
売電容量 (MWh)		0	0	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065			
CO2クレジット量 (ton)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
損益計算	収益			157	159	160	162	164	165	167	169	170	172	174	175	177	179	181	183	184	186	188	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	売上			157	159	160	162	164	165	167	169	170	172	174	175	177	179	181	183	184	186	188	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	燃料費			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	薬品代			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	変動費計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	人件費			0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	補修費用			0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	
	固定費計			0	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
	支出計			0	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
	運転利益			0	19	20	22	24	25	27	29	30	32	34	35	37	39	41	43	44	46	48	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	利益率 (利益/売上)			0%	0%	11%	12%	13%	14%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	19%	20%	21%	22%	23%	24%	25%	26%	26%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	減価償却費			0	565	526	489	455	423	393	366	340	316	294	273	254	237	220	205	190	177	165	153	142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	建物等構築物			0	122	119	116	113	111	108	105	103	100	97	95	93	90	88	86	84	82	80	78	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	開発費用			0	19	17	14	12	10	9	7	6	5	5	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	操業準備費用			0	30	26	22	18	16	13	11	10	8	7	6	5	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	その他			0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	建設中利子			0	57	49	41	35	30	25	22	18	16	13	11	10	8	7	6	5	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	銀行融資手数料			0	30	25	21	18	15	13	11	10	8	7	6	5	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	減価償却費計			0	825	761	704	652	605	562	523	487	454	423	396	370	346	325	305	286	269	253	238	224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	長期借入金			0	0	310	325	341	358	376	395	415	436	457	480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
商業銀行金利			0	0	310	325	341	358	376	395	415	436	457	480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
元本支払			3,894	3,894	3,585	3,260	2,918	2,560	2,184	1,788	1,373	938	480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
借入金残高			0	0	195	179	163	146	128	109	89	69	47	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
JIBC借入金			0	0	505	521	538	555	573	591	610	629	650	670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
元本支払			5,842	5,842	5,337	4,816	4,278	3,723	3,150	2,559	1,949	1,320	670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
借入金残高			0	0	187	171	154	137	119	101	82	62	42	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
JIBC借入金金利			0	0	815	846	879	913	949	986	1,025	1,065	1,107	1,151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
長期借入金元本支払合計			0	0	382	350	317	283	247	210	171	131	89	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
長期借入金金利合計			0	0	382	443	514	597	695	810	944	1,100	1,282	1,492	1,736	1,982	2,262	2,581	2,944	3,358	3,829	4,366	4,977	5,674	6,127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
借入金金利合計 (長期・短期)			0	0	(1,189)	(1,186)	(1,193)	(1,228)	(1,277)	(1,347)	(1,440)	(1,558)	(1,705)	(1,884)	(2,098)	(2,317)	(2,571)	(2,867)	(3,208)	(3,601)	(4,053)	(4,572)	(5,167)	(5,849)	(6,127)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
税引前利益			0	0	(1,189)	(1,186)	(1,193)	(1,228)	(1,277)	(1,347)	(1,440)	(1,558)	(1,705)	(1,884)	(2,098)	(2,317)	(2,571)	(2,867)	(3,208)	(3,601)	(4,053)	(4,572)	(5,167)	(5,849)	(6,127)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
繰上利益			0	0	(1,189)	(1,186)	(1,193)	(1,228)	(1,277)	(1,347)	(1,440)	(1,558)	(1,705)	(1,884)	(2,098)	(2,317)	(2,571)	(2,867)	(3,208)	(3,601)	(4,053)	(4,572)	(5,167)	(5,849)	(6,127)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
次年度繰越損失 (最大3年間繰越)			0	0	(1,189)	(2,375)	(3,572)	(4,811)	(6,108)	(7,465)	(8,883)	(10,362)	(11,903)	(13,506)	(15,172)	(16,901)	(18,694)	(20,552)	(22,476)	(24,467)	(26,526)	(28,654)	(30,852)	(33,121)	(35,462)	(37,876)	(40,364)	(42,927)	(45,566)	(48,281)	(51,073)	(53,944)	(56,895)	(59,927)	(63,041)	(66,238)			
公租公課			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
法人所得税			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
固定資産税			0	0	126	119	112	106	101	96	91	86	82	78	74	70	67	64	61	58	56	53	51	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
税金計			0	0	126	119	112	106	101	96	91	86	82	78	74	70	67	64	61	58	56	53	51	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
税引後利益			0	0	(1,315)	(1,305)	(1,310)	(1,334)	(1,377)	(1,442)	(1,530)	(1,644)	(1,787)	(1,961)	(2,172)	(2,420)	(2,706)	(3,031)	(3,397)	(3,805)	(4,256)	(4,752)	(5,294)	(5,883)	(6,127)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
税引後利益率			0%	0%	-836%	-822%	-817%	-824%	-842%	-873%	-917%	-976%	-1050%	-1141%	-1251%	-1361%																							

表 II-5-6 経済分析 (クレジット考慮)

インフラ業 カザフスタン国下水汚泥利用バイオガス発電, 1.26MW, Credit		yr1	yr2	yr3	yr4	yr5	yr6	yr7	yr8	yr9	yr10	yr11	yr12	yr13	yr14	yr15	yr16	yr17	yr18	yr19	yr20	yr21	yr22	yr23	yr24	yr25	yr26	yr27	yr28	yr29	yr30	yr31	yr32	yr33	yr34			
単位: 1000 \$		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039			
年度開始の暦年																																						
発電所運転月数	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
累計運転月数	0	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240		
発電電力量 (MWh)	0	0	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065	9,065			
CO2クレジット量 (ton)	0	0	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880	73,880			
収入																																						
売電収入	0	0	157	159	160	162	164	165	167	169	170	172	174	175	177	179	181	183	184	186	188	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190		
エネルギー (変動)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
クレジット収入	0	0	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369		
CO2クレジット収入	0	0	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369	369		
支出																																						
燃料費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
燃料費	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
燃料費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
変動費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
人件費	0	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
補修費用	0	0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130		
固定費	0	0	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
支出	0	0	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410	412	414	416	418	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	419	
減価償却	0	0	387	388	390	391	393	395	396	398	400	401	403	405	407	408	410																					

・まとめ

第1章 アスタナ市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結果

1.1 調査結果

カザフスタン国の首都アスタナ市では、当初入手した情報のとおり、人口の増加による廃棄物の増加や下水汚泥の増加等の問題が存在し、環境問題として認識されている。

本調査は、これらの課題を緩和するため、アスタナ市下水処理場に嫌気性発酵槽を設置し、食品工場等からの有機性廃棄物を投入して共発酵システムを形成し、発生するメタンガス（バイオガス）を発電に利用し、本来空气中に放出されていたであろうメタンの回収、化石燃料による発電電力量の抑制により、実現可能性の高いGHG削減プロジェクトとして期待したものである。

しかしながら、調査の結果、現時点において本プロジェクトの実現可能性は低いとの結果となった。

1.2 プロジェクトの実現可能性が低い主な要因

- ・ GHG削減効果の縮小（ベースラインの変化）

当初、本プロジェクトを計画していた時点で入手した情報によれば、アスタナ市では、有機廃棄物が他の廃棄物と共に埋立処分場に投棄され、自然発火するなど、メタンガスは空气中に放散し、劣悪な状況であるとのことであった。

しかし、本調査において詳細な現地調査を実施した結果、アスタナ市ではスペイン政府の援助により新たな廃棄物処分場の建設が進められており、当該事業ではLFGの回収とフレア処理が計画されていた。

このため、本調査で想定するGHG削減効果算定のベースラインは、フレア処理を前提として大幅に見直さざるを得なくなり、GHG削減量は、発電量1MWh当りに換算し、53.86t- CO₂から8.15t- CO₂へと大幅に減少し、引いてはクレジットを考慮したJI事業としての経済性を大幅に低下させた。

- ・ 有機性廃棄物発生源の誤算

アスタナ市は、人口50万人を超えるカザフスタン国有数の都市であり、首都でもあることから、その周辺には、多くの食品工場、畜産加工場等が存在し、有機廃棄物の発生源となっていることが想定されたが、アスタナ市は遷都から日が浅いため、そうした有機性廃棄物供給源がそれほど多くないことが判明した。

- ・ 廃棄物分別回収施策に関する見通しの不透明さ

本事業は、有機物回収をアスタナ市におけるゴミ分別回収の開始を前提としている。アスタナ市において、分別回収の議論は実施されており近い将来に実現されるものと考えられるが、現時点において計画は具体化していない。

1.3 調査全体に対する課題と方向性

本調査の結果、当初計画した事業の実現可能性が低いとなったことについては、非常に残念である。今回の調査結果の課題として、当初入手していた情報の新しさ、精度に問題があり、調査を開始してから、幾つかの前提を変更せざるを得なくなったことが挙げられる。

今後の調査においては、事前の情報収集を更に充実していくことが必要である。

しかしながら、本調査結果は、下水汚泥と有機廃棄物の嫌気性共発酵システムによるGHG削減プロジェクトは、ベースライン次第では十分に実現可能であるとの結果を示しており、カザフスタン国内でも他地域での適用に大きな期待をすることができる。

本結果を受けて、カザフスタン国を代表する大都市であるカラガンダ市、アルマティ市を中心に、本プロジェクトスキームの適用可能性について補足調査を実施している。

第2章 カザフスタン国におけるバイオガス事業の可能性

アスタナ市における事業化可能性の低下の主な要因は、上述した事項であることから、これらの事情が異なれば、カザフスタン国におけるバイオガス利用事業の可能性は十分にあることが考えられる。

以下にそれらの可能性について調査した概要を記す。(写真 -3-1参照)

2.1 カラガンダ市におけるバイオガス利用

カラガンダ市では、下水処理場、廃棄物処分場の両方においてバイオガス利用事業の可能性があり、これらを組み合わせた事業スキームも可能である。

2.1.1 下水処理場におけるメタンガス削減

カザフスタン国第二の都市であるカラガンダ市の下水処理場では、余剰汚泥処理用の嫌気性発酵槽が建設されたものの、一度も使われることなく放置されている。汚泥は脱水処理を施されただけで廃棄処分されており、有機物から発生するメタンガスは空気中に放出されている。

同下水処理場において、嫌気性発酵槽をリハビリし汚泥から発生するメタンガスを回収し、燃焼等による処理・利用することで、小額の投資で大きなGHG削減効果が期待できる。

2.1.2 廃棄物処分場におけるLFG回収

カラガンダ市では、廃棄物を炭鉱跡地に埋立処分しているが、時折、メタンガスが発火するなどして問題となっている。現在、このガスは利用されておらず、環境NGOを中心に利用を検討する動きはあるものの、具体化はしていない。

2.2 アルマティ市におけるバイオガス利用

アルマティ市においても、下水処理場におけるバイオガス利用事業が有望である。

2.2.1 下水処理場におけるメタンガス削減

カザフスタン国の旧首都であり最大の都市でもあるアルマティ市においても、下水処理場に嫌気性消化槽が設置されておらず、消化槽の設置によるバイオガス利用事業の可能性が大きい。

2.2.2 廃棄物処分における可能性

アルマティ市では、既に廃棄物の分別回収が開始されており、分別工場も稼働している。廃棄物は、自然の丘陵地を利用した広大な処分場に12箇所地域に投棄、埋設処分されており、自然発火などメタンガスの発生が推測されるが、事業として回収可能であるかは、更なる調査が必要である。本事業スキームの適用可能性も考えられるが、関係者からは有機性廃棄物含有量が少ないとの指摘もある。

2.3 その他の可能性

2.3.1 農業分野でのバイオガス利用

カザフスタン国では、NGOが中心となって家畜糞尿等を活用したバイオガス利用パイロットプラントが作られてきているが、冬季の低温の影響もあり、現在のところ、あまりうまく行った実績がない。本分野において技術支援を実施し、安定したバイオガス利用システムを実現できれば、GHG削減プロジェクトとして有望である。

2.3.2 その他のバイオマス利用

調査の過程で、カザフスタン国でも主力農業産品である小麦の麦殻、養鶏に伴う鶏糞などのバイオマス資源が豊富にあることが判明した。これらを活用したバイオマス発電には、確立した技術も存在し、GHG削減プロジェクトとなり得る。

第3章 現地調査記録

(1) 第一回現地調査

- 1) 調査期間 2004年8月17日(火)~9月1日(水)
- 2) 調査地点 カザフスタン共和国 首都アスタナ市
- 3) 調査員 東北電力(株)グループ 事業推進部(海外事業) 菅野主査, 千葉担当
三井造船(株)水処理・資源リサイクル技術部 満留課長, 今岡主任
三井物産(株)アスタナ事務所現地スタッフ(適時), 通訳
- 4) 面談者 環境保護省, 地球環境コーディネーター
アスタナ市第一副市长他(合同会議),
国家衛生監視局, 労働厚生省, アスタナ市環境保護局,
アスタナ上下水道開発公社, アスタナ市公益公社,
エネルギー天然鉱物資源省, KEGOC, アスタナエネルギー,
アスタナ TETS, NJS コンサルタント(JBIC 事業コンサル)
- 5) 施設調査 アスタナ市下水処理場, アスタナ市ゴミ処分場, アスタナ TETS
- 6) 調査結果
 - a) 本調査については, 基本的にアスタナ市当局を中心として関心を持ち, 十分な協力が得られた。
 - b) アスタナ市下水処理場には, 嫌気性消化タンクが存在し, バイオガスを場内の熱供給用に補助的に利用している。嫌気性消化タンクは, 高温発酵で設計されているが, 現在は, 中温あるいは低温で運用されている。
 - c) JBIC プロジェクトは下水処理場のリハビリを目的としたものである。また, 嫌気性消化タンクは, 作り直しに近い大規模修繕工事を行う予定となっている。
 - d) 本プロジェクト実現のためには, 有機廃棄物の収集が不可欠であるが, アスタナ市は新首都のため, 大きな食品工場や農場は存在せず, それらからの回収は見込めない(将来的立地の可能性はある)。
 - e) アスタナ市では都市廃棄物の分別回収は行われていないが, 将来的な分別に対する検討は開始されている。しかし, スケジュール等は未定である。
 - f) 現在, スペインの援助で新たなゴミ埋立処分場の建設が進んでおり, 分別はしないものの, 層内に配管してバイオガスを収集し燃焼する予定となっている。
 - g) 調査を通じ, 各所から類似プロジェクトをアルマティでも検討した方が良いとの意見が聞かれた。(周囲に食品工場・農場等も存在, 最近簡単な分別回収を開始。簡単な下水処理場も存在との情報)
 - h) カザフスタン国では, 京都議定書批准の方向に変わりはないが, 経済的インパクトやロシア, 米国の状況等を巡り, 国内で議論が行われている。

(2) 第二回現地調査

- 1) 調査期間 2004年10月9日(土)~10月20日(水)
- 2) 調査地点 カザフスタン共和国 首都アスタナ市, アルマティ市
- 3) 調査員 東北電力(株)グループ 事業推進部(海外事業) 菅野主査, 千葉担当
通訳
- 4) 面談者 アスタナ市公益公社(Gorkommunhoz),
エネルギー天然鉱物資源省, アスタナ上下水道開発公社,

環境保護省，地球環境コーディネーター，
食品会社（"Tasna Astyk" Concern），アスタナエネルギー，
KEGOC

5) 調査結果

- a) 前回の調査に引き続き，今回の調査においても，環境保護省などから，十分な協力が得られた。
- b) カザフの京都議定書に関する動きは，選挙とその後の体制変更のため12月まで停滞の見込み。しかし，ロシアの批准に向けた新たな動きは，カザフスタンの政策決定に良い影響を与えるとの意見が聞かれた。
- c) 前回調査では食品工場がないとの回答を得ていたが，今回，アスタナ市に規模が大きくはないものの食品工場が数箇所，さらに，アスタナ市近郊に養鶏場があることを聞き取ることができた。これらは，規模が拡大する傾向にある。
- d) 埋め立て処分場に搬入されている廃棄物の量は，トラック搭載容量×台数で管理しており，新埋め立て処分場では，搬入される廃棄物重量の計測装置を導入予定である。
- e) 埋め立て処分場より発生するメタンガスを燃焼しなければならない法律はないことが判明した。
- f) カザフの廃棄物発生量および，下水の発生量の年間，地域別のデータが存在し，環境保護省より後日提供されることとなった。
- g) アスタナ市下水処理場の電力消費量は，近接する変電所の電力量計によって，管理されている。また，嫌気性発酵しているメタンガス量は管理されていない。
- h) カザフの再生可能エネルギーは，再生可能エネルギー全容量370 MWのうち，360MWが小水力である。また，風力と太陽光発電は商業ベースでは存在しない。

(3) 第三回現地調査

- 1) 調査期間 2005年1月29日(土)～2月11日(金)
- 2) 調査地点 カザフスタン共和国 カラガンダ市，アルマティ市
- 3) 調査員 東北電力(株)グループ事業推進部(海外事業)菅野主査，千葉担当
通訳
- 4) 面談者 地球環境コーディネーター
カラガンダ市副市長，カラガンダ市公益公社
カラガンダ市下水道公社(ゴルゴダカナル社)
カラガンダ市NGO(数箇所)
アルマティ市，アルマティ市公益公社，アルマティ市下水公社
- 5) 施設調査 カラガンダ市下水処理場，カラガンダゴミ処分場，
アルマティ市下水処理場，アルマティ市ゴミ処分場
- 6) 調査結果
 - a) カラガンダ市当局，公益公社，下水道公社，アルマティ市当局，公益公社，下水道公社とも，調査の主旨に対する理解と協力が得られた。
 - b) カラガンダ市下水処理場には，設置されたまま一度も利用されていない嫌気性発酵槽が存在し，このリハビリによるガスのボイラ利用により，安価なGHG案件の実現可能性が考えられる。
 - c) カラガンダ市廃棄物処分場では，LFGのフレア処理は行われておらず，LFG利用のJI事業の可能性はあるが，若干有機性廃棄物の含有

割合が低い可能性はある。なお、現地 NGO を中心に LFG 利用事業の検討が行われている。

- d) アルマティ市下水処理場には、嫌気性発酵槽は設置されたことが無く、汚泥は脱水後廃棄処理されており、嫌気性消化タンクの設置による安価な GHG 削減案件の可能性はある。
- e) アルマティ市廃棄物処分場は、広大であり場内の数箇所に廃棄物が廃棄され、自然発火などメタンガス発生 の形跡はあるが、LFG 利用事業の検討には更なる調査が必要である。

1. カラガンダ市下水処理場



2. カラガンダ市廃棄物処理場



3 . アスタナ市 下水処理場



4 . アスタナ市 廃棄処分場

