

メキシコ 「メキシコ市大気汚染対策関連事業」

評価報告: 2001年1月

現地調査: 2000年11月

第三者評価実施者: (株)三菱総合研究所 佐々木 俊治氏
林 欣吾氏
高木 健 氏

事業要項

借入人: メキシコ合衆国政府

実施機関: メキシコ石油公社(PEMEX)

交換公文締結: 1990年10月

借款契約調印: 1990年11月

貸付完了: 1998年4月

貸付承諾額: 69,338百万円

貸付実行額: 59,889百万円

貸付条件: 金利2.9%

返済25年(うち据置7年)

<参考>

(1) 通貨単位: メキシコペソ (Peso)

(2) 為替レート:(IFS 年平均市場レート)

年		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
レ ー ト	ペソ/US\$	2.8	3.0	3.1	3.1	3.4	6.4	7.6	7.9	9.1
	円/US\$	144.8	134.7	126.7	111.2	102.2	94.1	108.8	121.0	130.9
	円/ペソ	51.7	44.9	40.9	35.9	30.1	14.7	14.3	15.3	14.4
CPI (1990=100)		100.0	123.0	141.7	155.5	166.3	224.5	301.7	364.0	422.2

アプレイザル時レート(1990年11月):1US\$ = \153 = 2.66 メキシコペソ

(1 メキシコペソ = 57.5 円)

(3) 会計年度: 1月1日 ~ 2月31日

(4) 主要略語・用語一覧:

B/D: ベーシックデザイン Basic Design

BPD: バレル/日 Barrel per Day

CFE: メキシコ電力庁 Comision Federal de Electricidad

E/N: 交換公文 Exchange of Notes

HDD: 中間蒸留物水素化脱硫装置(サブプロジェクト B で設置された装置)

Hydrodesulfurization of Distilled Intermediates

HDR: 残留物水素化脱硫装置 (サブプロジェクト A で設置された装置)

Hydrodesulfurization of Residuals

IMP: メキシコ石油研究所 Instituto Mexicano del Petroleo

JICA: 国際協力事業団 Japan International Co-operation Agency

L/A: 借約契約 Loan Agreement

MCMA: メキシコシティ首都圏 Mexico City Metropolitan Area

PEMEX: メキシコ石油公社 Petroleos Mexicanos

SO₂: 二酸化硫黄 Sulfur Dioxide

TOR: 課業指示書 Terms of Reference

PEMEX 製油所

トゥーラ(Tula)製油所: Miguel Hidalgo Refinery

サラマンカ(Salamanca)製油所: Antonio M. Amor Refinery

アスカポツアルコ(Azcapotzalco)製油所: 18 de Marzo Refinery (3月18日)

事業地



事業内容写真

導入設備①: トウーラ製油所 HDR 装置



導入設備②: トウーラ製油所 HDD 装置



導入設備③: サラマンカ製油所 HDD 装置



主要計画/実績比較

(1) 事業範囲

事業内容	①計画(アブレイザル時)	②実績	差分
1.サブプロジェクトA 重油脱硫装置	1基(処理量5万バレル/日、 硫黄含有量0.8%以下)	同左	なし
2.サブプロジェクトB ①ディーゼル油脱硫装置(ト ウーラ製油所) ②ディーゼル油脱硫装置(サ ラマンカ製油所)	1基(処理量2万5千バレル/日、硫黄 含有量0.1%以下) 同上	硫黄含有量0.05%以下 同左	硫黄含有量0.1%以 下→0.05%以下 同上
3.サブプロジェクトC 硫黄回収装置	硫黄回収プラント1基新設 既存硫黄回収プラントの改修1基	製油所廃止に伴い中止	設備設置せず
4.コンサルティングサービス	160.8M/M	220.99M/M	60.19M/M

(2) 工期

項目	①計画(アブレイザル時)	②実績	差分
1.サブプロジェクトA ・プロセス選定、B/D ・コントラクター選定、D/D、機器調達、 建設工事	(59か月) 1991.4～1992.4 (13か月) 1992.5～1996.2 (46か月)	(71か月) 1991.3～1991.9 (7か月) 1991.10～1997.1 (64か月)	約1年遅れ
2.サブプロジェクトB ・プロセス選定、B/D ・コントラクター選定、D/D、機器調達、 建設工事	(44か月) 1991.4～1992.2 (11か月) 1992.3～1994.11 (33か月)	(67か月) 1991.3～1992.1 (11か月) 1992.2～1996.9 (56か月)	23か月遅延
3.サブプロジェクトC ・プロセス選定、B/D ・コントラクター選定、D/D、機器調達、 建設工事	(42か月) 1991.4～1992.2 (11か月) 1992.3～1994.8 (31か月)	—	設置せず
4.コンサルティングサービス ・選定 ・コンサルティングサービス	(72か月) 1990.11～1991.3 (5か月) 1991.4～1996.2 (67か月)	(87か月) 1990.11～1991.2 (4か月) 1991.3～1998.1 (83か月)	15か月遅延

(3) 事業費

項目	①計画(アプレイザル時)			②実績			差分 (百万円)
	外貨 (百万円)	内貨 (千US\$)	合計 (百万円)	外貨 (百万円)	内貨 (千US\$)	合計 (百万円)	
1.サブプロジェクトA	18,798	246,864	56,569	-	635,254	73,689	△17,120
2.サブプロジェクトB	2,816	63,805	12,579	-	87,917	18,597	△6,018
3.サブプロジェクトC	398	8,766	1,739	-	-	-	1,739
4.コンサルタントサービス	489	461	559	680	-	680	△ 121
5.予備費	1,099	15,972	3,542	-	-	-	3,542
6.建設金利	3,102		3,102	-	-	-	3,102
7.税金等		93,858	14,361	-	-	-	14,361
総事業費	26,702	429,726	92,451	680	723,171	92,966	△ 515

※為替 アプレイザル時:1ドル=153円

実績:1ドル=116円

1.事業の概要と JBIC の協力

1.1 背景

メキシコ合衆国の首都であるメキシコ市は海拔 2,300m の高地(酸素が希薄)にあり、また、複数の大山系に囲まれた盆地内にあるため大気が滞留しやすい(特に冬期は大気が拡散しない逆転層という状態が発生しやすい)という悪条件にあり、気象状況によってかなり大気汚染度が高まっていた。

その上、過去 20～30 年の間にメキシコ市の人口は全国平均の約 2 倍にあたる年 5% の割合で増加し、この結果メキシコ市の郊外を含めたメキシコシティ首都圏(MCMA)は、メキシコ全人口の約 4 分の 1 が集中する世界でも有数の大都市となっていた。また、メキシコシティ首都圏においては国内総生産の約 36% を産出し、国内エネルギー総消費量の 20% 近くを消費していた。

このため、メキシコ市では大気汚染の問題が年々深刻化し、大気汚染を原因とした喘息や気管支炎等呼吸器系患者数が急増していた。メキシコ厚生省の報告によれば同患者数は 1984 年の百万人から 1988 年には 2.2 百万人に達していた。

このような中、1988 年 12 月に就任したサリーナス大統領は、その就任演説において環境問題の解決の重要性を訴え、また 89～94 年の国家開発計画における目標の一つとして「国民生活の向上」を掲げ、環境問題へ積極的に取り組む姿勢を示した。そして、1989 年 6 月には具体的な大気汚染対策として、燃料代替・改善、排気規制、都市交通の合理化、生態系の修復等を内容とした「メキシコシティ首都圏大気汚染対策統合計画」を策定した。

同統合計画における、メキシコシティ首都圏での大気汚染の原因物質の一つである二酸化硫黄(SO₂)削減の主要な対策として、SO₂ の発生源となっている発電所、工場、ディーゼル車等に対し供給されている燃料、すなわち硫黄分の多い重油、ディーゼル油を低硫黄の油に改善すると共に、メキシコ市内に位置するアスカポツァルコ製油所内の硫黄回収装置の老朽化により大気中に放出されている回収漏れの硫黄分に係わる対策、すなわち同製油所の硫黄回収装置の改善が急務となっていた。本借款はこの SO₂ の削減対策に対し供与されたものである。

実施経緯は以下の通り。

1987年2月～1998年6月：

JICA (国際協力事業団) により、メキシコ市大気汚染に係わるマスタープラン作成のための調査実施。

1988年12月：サリーナス大統領は大統領就任にあたりメキシコ市大気汚染対策を最重要課題の一つとして掲げ、日本側に日墨関係における最重要項目の一つとして協力を要請。

1989年6月：メキシコ市大気汚染対策政府ミッション(旧 OECF からも参加)。同ミッション訪墨時、メキシコ政府よりメキシコ市大気汚染対策に係わる「総合計画」(14プロジェクト、総額約30億ドル)の提示あり。そのうち、10億ドルの協力が要請された。

・1989年8月：総合計画に含まれているプロジェクトにつきプライオリティー付けと円借款要請案件の指定を要求していたところ、8月メキシコ政府より PEMEX 案件(18プロジェクト、総額20億ドル)を要請する旨の決定を日本側に伝達すると共に、18プロジェクトに係わる概略説明資料を提出。8月末にはプレ F/S を提出。

・1990年2月：日本政府、海外経済協力基金（現 JBIC）アプレイザルミッション対策案件として①ディーゼル油脱硫プロジェクト、②重油脱硫プロジェクト、③「3月18日製油所」硫黄プラント近代化、④「3月18日製油所」硫黄回収プラントを取り上げる旨メキシコ側に通知、メキシコ側も了承。

・1990年4月：海外経済協力基金（現、JBIC）アプレイザルミッション派遣

・1990年9月：借款契約(L/A)交渉

・1990年10月：交換公文(E/N)交渉

・1990年11月：借款契約(L/A)調印

1.2 目的

メキシコシティ首都圏における大気汚染の原因物質の一つである SO₂ 排出量の削減のために、メキシコ石油公社(PEMEX)がメキシコシティ首都圏に供給している重油とディーゼル油の硫黄含有量の削減及びメキシコ市内にある PEMEX のアスカポツァルコ製油所から放出されている SO₂ の削減を行う。

本事業実施により、メキシコシティ首都圏における SO₂ の排出量を約 4 分の 3 削減し、SO₂ 排出量の削減に伴って刺激性の強い硫酸ミストが減少することにより、人体被害低減効果が期待される。

上記目的達成のため、以下の 3 つのサブプロジェクトを実施する。

(○をつけた製油所にて事業実施)

サブプロジェクト	対象製油所		
	トゥーラ	サラマンカ	アスカポツァルコ
A 重油脱硫 (水素製造装置、硫黄回収装置を含む)	○	—	—
B ディーゼル油脱硫	○	○	—
C 硫黄回収	—	—	○

1.3 事業範囲

(1) 事業スキーム概要

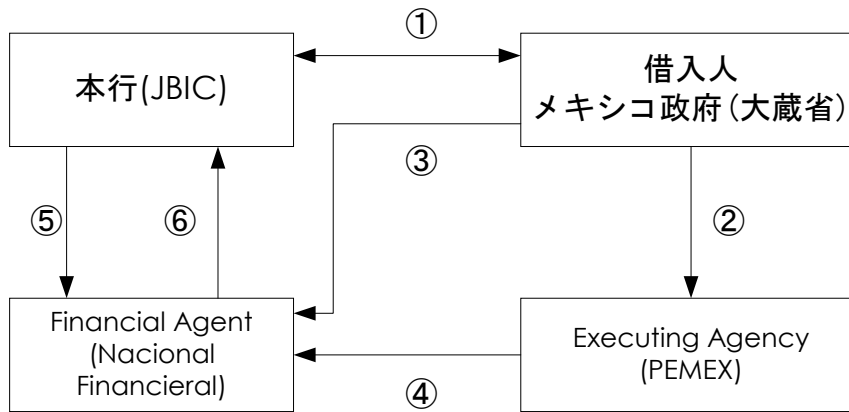


図1 事業実施スキーム

①借款契約

②転貸(ただし転貸契約は締結せず、別途 Financial Agent と Executing Agency との間での Service Contract で転貸条件を規定)

③Financial Agent の指名

④Service Contract

⑤ディスバース

⑥元利金支払い

なお、転貸条件は今回の場合、JBIC からの融資条件と全く同一(円建て、金利 2.9%、25 年(据置期間 7 年)、チャージも含む)である。また Executing Agency は、Service Contract に基づき、Financial Agent に Service free を支払う。

(2) 事業計画の概要

①サブプロジェクト A:「重油脱硫(HDR)」

メキシコ市の北方 82km、イダルゴ州トゥーラ市の東方 8km に位置する既存のトゥーラ製油所に重油(脱硫前硫黄含有量 4.2%)の脱硫プラント 1 基(処理量 5 万バレル/日)を建設する。

[主要設備]

- 水素化脱硫装置 1 基
- 水素製造装置 1 基
- 軽質分回収装置 1 基
- 分留装置 1 基
- ジェタノールアミン処理装置 1 基
- 硫黄回収装置 1 基
- その他必要ユーティリティー(電力関係施設等)
- 既存施設との接続・配管等

メキシコシティ首都圏内で消費される重油は、メキシコ市内のアスカポツアルコ製油所

及び首都圏近郊のトゥーラ製油所で精製された硫黄含有量平均約 3%の重油が供給されているが、プロジェクト実施後は高度に脱硫処理を行った重油(硫黄含有量 0.8%以下)を、トゥーラ製油所からメキシコシティ首都圏に供給(西暦 2000 年の需要見込み 48.8 千バレル/日に対応)し、SO₂を原因とする大気汚染の改善を図る。

②サブプロジェクト B:「ディーゼル油脱硫(HDD)」

上記「重油脱硫」のサイトでもあるトゥーラ製油所及びメキシコ市の北西約 240km に位置する既存のサラマンカ製油所に、ディーゼル油(脱硫前硫黄含有量 2%)脱硫プラントをそれぞれ 1 基(処理量各 2 万 5 千バレル/日)建設する。

[主要設備]

- 水素化脱硫装置各 1 基
- その他必要ユーティリティー(クーリング・システム等)
- 既存施設との接続・配管等

メキシコシティ首都圏内へ供給されるディーゼル油は、1987 年以降、メキシコ市内のアスカポツァルコ製油所及び首都圏近郊のトゥーラ製油所で精製された中間留分をトゥーラ製油所にある既存のディーゼル油脱硫プラントで処理した低硫黄ディーゼル(硫黄含有量平均約 0.5%以下)を供給していた。

本プロジェクト実施後は、更に高度に脱硫処理を行ったディーゼル油(硫黄含有量平均約 0.1%以下)をトゥーラ及びサラマンカの 2 製油所から首都圏に供給(西暦 2000 年の需要見込み 48.8 千バレル/日に対応)し、SO₂を原因とする大気汚染の改善を図る。

③サブプロジェクト C:「硫黄回収装置」

アスカポツァルコ製油所の既存硫黄回収プラントの改修並びに硫黄回収プラント 1 基の新設を行う。

[主要設備]

- 硫黄回収装置新設 1 基
- 硫黄回収装置改修 1 基

同製油所はメキシコ市内にある唯一の製油所であるが、操業開始後 50 年近く経過しており、硫黄回収装置も設置から 30 年以上経過しているため、回収率、稼働率が共に低くなっていた。その結果、硫黄回収装置の処理量のうち約 27%が SO₂となりそのまま大気に放出されていた。このため同製油所の硫黄回収効率を上げることにより、SO₂を原因とする大気汚染の改善を図る。

上記の 3 サブプロジェクトのプロセスの概念図を図 2 に示す。

④コンサルティング・サービス

上記 3 サブプロジェクトの円滑な実施を図るため、3 サブプロジェクト全体を監理するコンサルタントを雇用する。

[主要業務内容]

- 入札補助

- 施工監理
- 大気汚染改善効果インパクトスタディ補助

⑤その他

借款契約において、PEMEX はプロジェクト完成後、本件による設備の設置に伴う SO₂ 排出量の減少の程度、メキシコシティ首都圏における大気質の改善の程度を評価することを規定された。

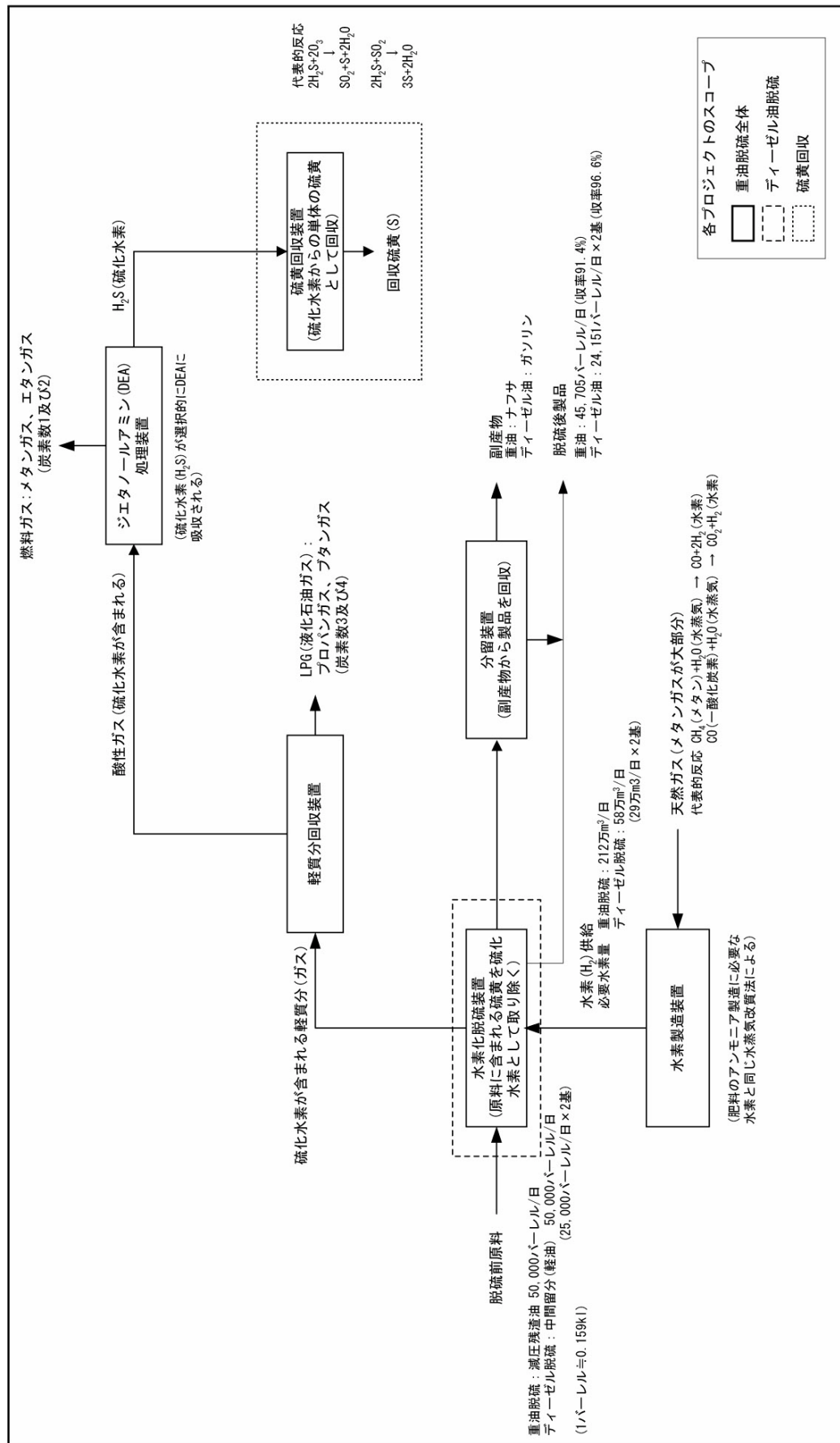


図 2 水素化脱硫・硫黄回収プロセス概要

(3) 事業費

①総事業費

本事業全体の所要資金は以下の通り。

費目	外資 (百万円)	内貨 (千ドル)	合計 (百万円)
サブプロジェクトA (重油脱硫装置)	18,798	246,864	56,569
サブプロジェクトB (ディーゼル油脱硫装置)	2,816	63,805	12,579
サブプロジェクトC (硫黄回収装置)	398	8,766	1,739
コンサルタント	489	461	559
予備費	1,099	15,972	3,542
建中金利	3,102	—	3,102
税金等	—	93,858	14,361
合計	26,702	429,726 (=65,749百万円)	92,451

1ドル=153円

プライス・エスカレ率:外貨 0%、内貨 0%

予備費 :5%

融資比率方式により、総事業費 92,451 百万円の 75%が円借款によりカバーされる。残りの 25%分についてはメキシコ政府予算の中で予算措置を講ずることとなっている。

なお、円借款部分はメキシコ政府から PEMEX に転貸される。転貸条件は円借款の融資条件と同一(円建て、金利、期間)である。

②年次別支出計画

年次別支出計画は下表の通り。

暦年	円借款分 (百万円)	メキシコ負担分(百万円)
1991	710	238
1992	2,965	988
1993	29,471	9,824
1994	32,065	10,688
1995	4,127	1,375
合計	69,338	23,113

(4) 調達方法、施行方法

本事業は全て請負方式により実施される。また調達スキームは3つのサブプロジェクトとも全て同じであり、サブプロジェクトごとに調達(契約)ロットは以下の2つに分けられ、国際競争入札にて調達される。

- 1) プロセス選定及びベーシックデザイン (B/D)
- 2) 詳細設計 (D/D)、機器調達、建設工事のターンキー契約

また、コンサルタントは、ショート・リスト方式により雇用する。

(5) 実施スケジュール

項目	実施スケジュール
1.サブプロジェクトA ・プロセス選定、B/D ・コントラクター選定、D/D、機器調達、 建設工事	(59か月) 1991.4～1992.4 (13か月) 1992.5～1996.2 (46か月)
2.サブプロジェクトB ・プロセス選定、B/D ・コントラクター選定、D/D、機器調達、 建設工事	(44か月) 1991.4～1992.2 (11か月) 1992.3～1994.11 (33か月)
3.サブプロジェクトC ・プロセス選定、B/D ・コントラクター選定、D/D、機器調達、 建設工事	(42か月) 1991.4～1992.2 (11か月) 1992.3～1994.8 (31か月)
4.コンサルティングサービス ・選定 ・コンサルティングサービス	(72か月) 1990.11～1991.3 (5か月) 1991.4 ～1996.10 (67か月)

1.4 実施機関

1.4.1 事業実施者

事業実施者はメキシコ石油公社(PEMEX)である。

1.4.2 事業実施体制

PEMEX では、役員会直属の組織である統轄本部の下に 6 本部があった。その中のインダストリアル・トランスフォーメーション本部が本案件の実施を担当することとなった。このインダストリアル・トランスフォーメーション本部の管轄下に本件実施のためのプロジェクトチームが特別に設置され、実施の窓口となることとなった。

PEMEX は、重油の脱硫については唯一サラマンカ製油所で一部手掛けたことがあるのみであるが、ディーゼル油の脱硫、硫黄回収については同様の事業を多数実施した経験がある。重油脱硫についての経験不足はコンサルタントがこれを補うこととなった。

なお、PEMEX の財務状況は損益上黒字基調である等良好であり、本事業実施については資金面では特段問題はないものと判断された。ちなみに PEMEX は、メキシコの国家収入の約 34%にあたる金額(1988 年度)を納税(原油採掘税、法人税、付加価値税)しており、国家財政への寄与は極めて高かった。

1.4.3 操業・運営/維持・管理

プロジェクト完成後の操業・運営/維持・管理は、事業対象の設備が設置されるそれぞれの製油所がこれを担当することとなった。

重油脱硫、ディーゼル油脱硫の対象となるトゥーラ製油所には約 4 千人の従業員がいるが、PEMEX は同製油所に重油脱硫課を新たに設置(増員約 100 名)すると共に、維持管理部で約 150 名の増員を行うなど合計約 300 名の増員により本件操業・運営/維持・管理にあたる計画であった。

ディーゼル油脱硫の対象となるサラマンカ製油所についても、同様に当時の約 7 千人の要員に加え、維持管理部を中心に約 50 名の増員を行う計画であった。

本案件では、PEMEX にとっては重油脱硫装置など新技術が導入される分野もあるものの、上記体制の整備に加えて、PEMEX の子会社の位置づけであるメキシコ石油研究所(IMP)が中心となって、製油所ごとに本案件の維持管理に係わる要員訓練計画が立てられており、本操業・運営/維持・管理計画は妥当であると判断された。

1.5 メキシコ市における大気汚染状況、関連政策

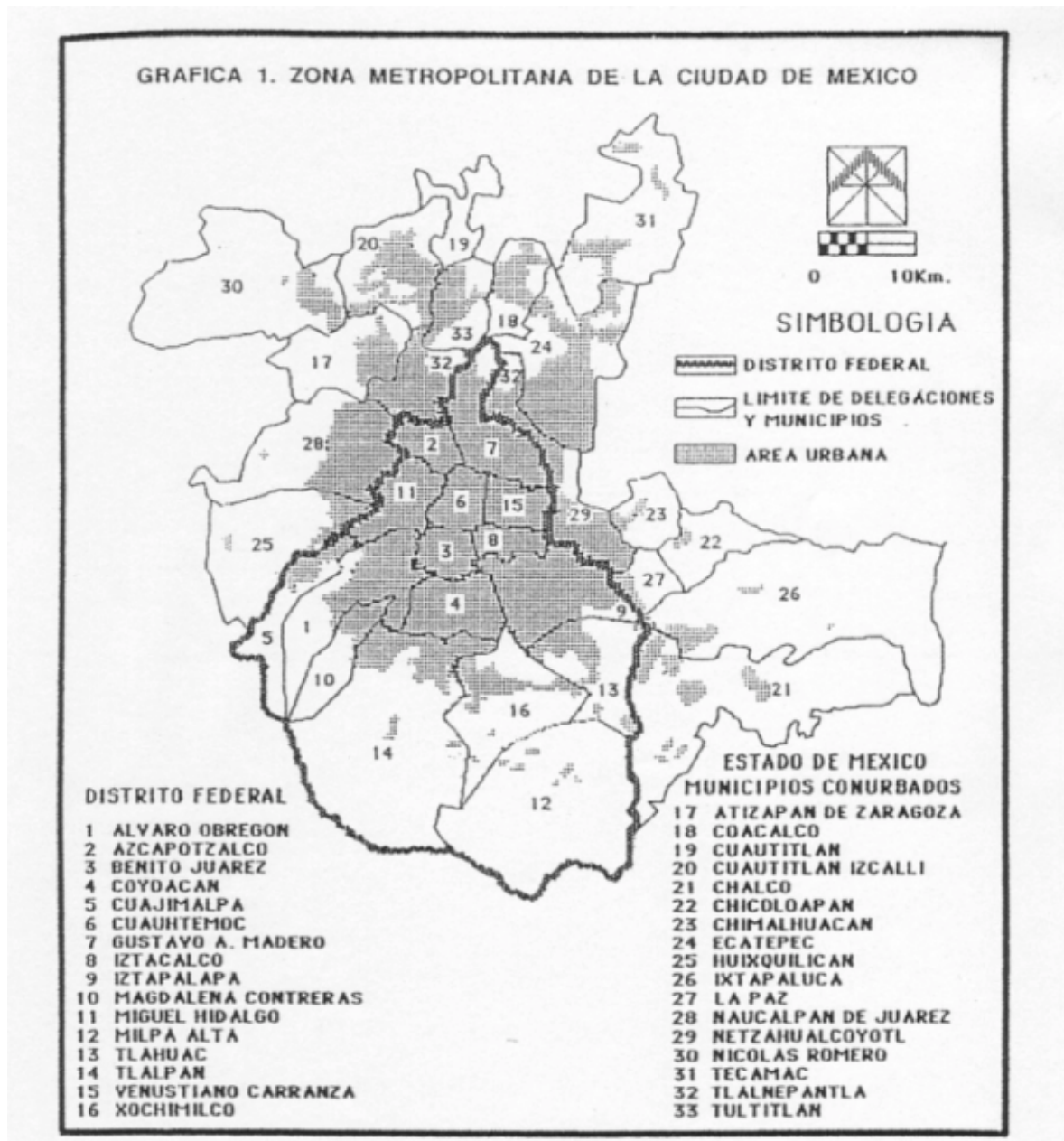
1.5.1 大気汚染状況

(1) メキシコシティ首都圏の状況

メキシコ盆地(溪谷)は北部を除いて三方をおおむね 3,000~5,000m の山塊に囲まれた面積約 12,000 km²(100km×120km)の広さを持つ高原(平均高度 2,240m)である。

メキシコシティ首都圏(MCMA)は、メキシコ市(連邦特別区)16区と、メキシコ州のうちの17市から構成されている(図3参照)。

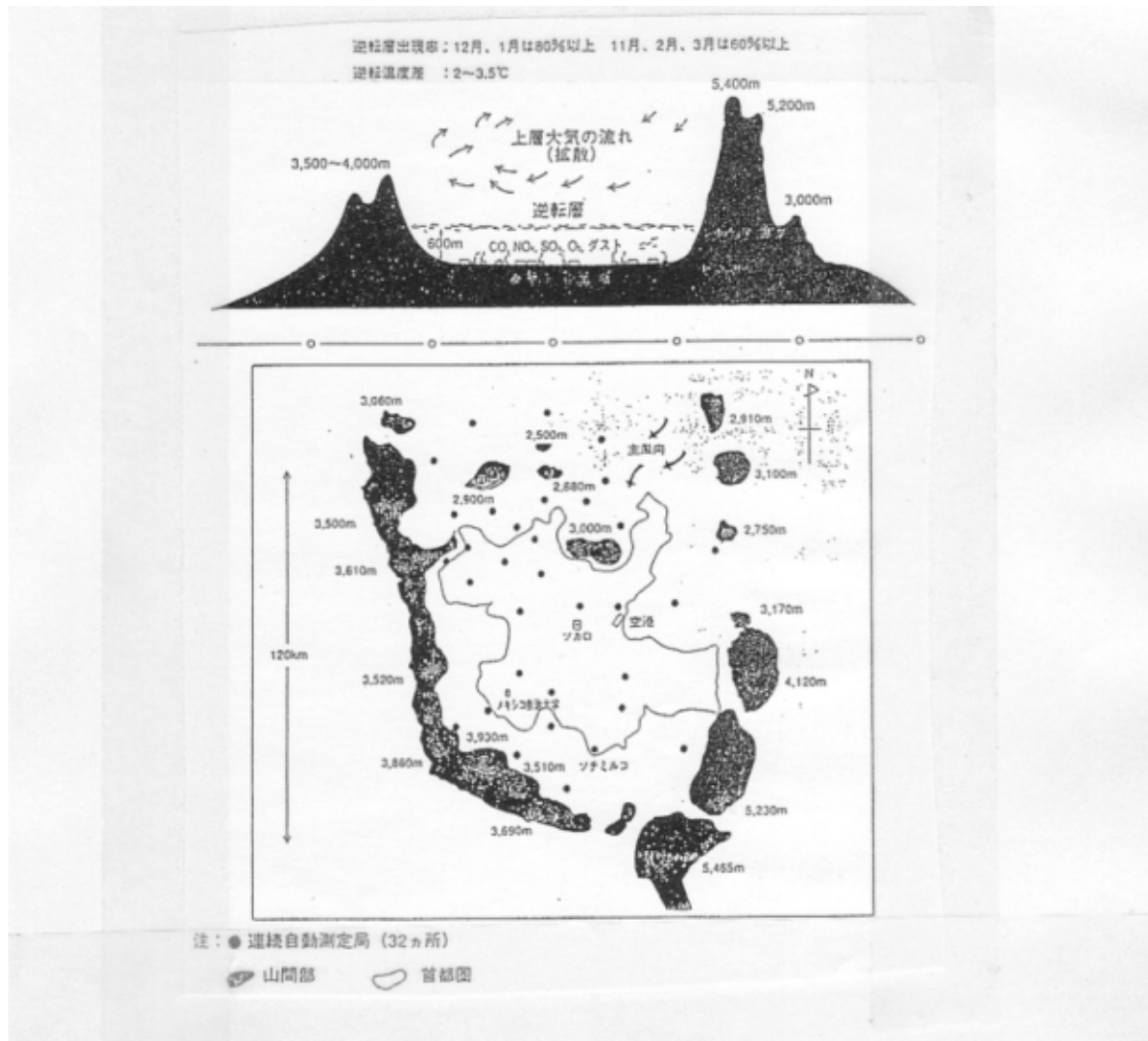
図3 メキシコシティ首都圏



(出典: 「メキシコ合衆国大気汚染対策燃焼技術導入計画調査 事前・予備調査報告書」 国際協力事業団、1993)

メキシコシティ首都圏は北緯 20 度にあり、アジアでいえば台湾より南に位置する。高地のため気温は温暖であるが、亜熱帯に属するため紫外線量が強い。また、毎年 12 月から 3 月にかけては、風が弱く、かつ、盆地特有の逆転層(大気の温度が通常とは逆に上空の方が高くなっている気層。空気の上方向の拡散を妨げるために、地表近くにある場合は濃霧・スモッグの発生要件になる)の発生頻度が極めて高いため、首都圏南西部から中心部地域にかけての大部分は、光化学型の大気汚染を、また、北部工業地域等の一部地域では、一次汚染質による大気汚染問題を抱えている(図 4 参照)。

図 4 メキシコシティ首都圏大気汚染発生機構図(冬期)



(出典:「開発途上国環境保全計画策定支援調査報告書ーメキシコ合衆国ー」、(社)海外環境協力センター、1995)

(2) 大気汚染状況

メキシコシティ首都圏の大気汚染の特徴は、光化学スモッグと硫黄酸化物(SO₂)の複合汚染であるという点にある。従来、大気汚染のタイプは光化学スモッグ、窒素酸化物等の自動車排ガスに起因するロスアンゼルス型と、浮遊粒子物質や硫黄酸化物が高濃度となる産業型大気汚染であるロンドン型に大別されるが、メキシコシティ首都圏の大気汚染は、ロスアンゼルス型とロンドン型が混合された複合汚染である。

メキシコ盆地内では、1980年代からモータリゼーションの波が押し寄せ、年々その車の台数が増加し、その数は1994年段階では約270万台に達した。しかも、車の平均使用年数である車齢が約8.5年と古く、また高地の酸素不足と相まって燃焼状態が悪く、排ガスの汚染物質濃度が一般的に高くなっていった。このことにより、自動車排ガスが大気汚染の約7割強を占めることとなっていたと目されている。

一方、固定発生源である工場は、首都圏北部工場地域を中心に約30,000余の製造業等の事業所があり、また、都市型サービス事業所(公衆浴場、ドライクリーニング、病院、ホテル等)の約12,000か所と共に、残り約3割弱の大気汚染の原因となっている。

本事業に関連の深い汚染物質であるSO₂を見てみると、メキシコ国内の環境基準(24時間平均値で0.13ppm)を上回った日数は、1990年は4日間、1991年は2日間、1992年15日間であったが、1993年以降はほとんど環境基準値の超過日がなくなっており、大きな改善がみられる(表1参照)。

本事業による重油脱硫施設、ディーゼル油脱硫施設の完成はそれぞれ1997年、1996年で、順調に稼働したのは1998年頃以降であり、それ以前にSO₂濃度の改善が進んだことになる。

SO₂の大気濃度が低下した理由は、低硫黄重油燃料の生産とその普及を小規模事業所に至るまで行ったこと、2か所の火力発電所を含む大手365工場の天然ガスへの転換により硫黄分を削減したこと、自動車用ディーゼル油の低硫黄油の生産(本事業とは直接の関連はない)とその普及等を1993年頃から開始したことなどが挙げられている。

表1 メキシコシティ首都圏における大気汚染が環境基準を上回った日数(日/年)

年次	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃	PM10*
1990	4	29	29	328	-
1991	2	81	13	353	-
1992	15	26	8	332	-
1993	0	2	28	324	-
1994	0	0	27	344	-
1995	0	5	34	324	92
1996	2	7	80	327	180
1997	0	1	36	322	153
1998	0	5	29	320	189

*PM10の環境基準は1995年より施行

(出典: Ciudad de Mexico (1999) "Towards an Air Quality Programme 2000-2010")

1.5.2 大気汚染対策

(1) 大気汚染関連法制度

メキシコでは、1982年に「環境保護法」が公布され、大気汚染防止のための規制措置がとられることとなった。

1988年には、「生態系保全と環境保護一般法」が制定された。そしてそれに基づく「大気汚染規制法」と「首都圏及び周辺市町村の車両公害規制法」の2つの法律および関連規制が制定され、その実効を確保するための監視体制の整備が図られた。

現在では、排出基準等45の大気汚染に関連する規制が設定されている。また煙突の高さの許容範囲、汚染物質の監視方法や測定機器等に関する基準などが設定されている。固定発生源や移動発生源の種類や汚染物質ごとの基準、総量規制基準、更には排気ガスの測定装置の性能と測定法を定めた基準等が規定されている。発生源については、個別の発生源毎に基準を設定している。

(2) 大気モニタリング制度

法規制の整備に対応して、大気汚染状況を常時監視し、法令に基づく規制措置の実効を期すべく、全国に大気モニタリング網が整備されている。

なお、メキシコシティ首都圏では、大気汚染状態を分かりやすく表すために、測定値を指標化した数値「IMECA」で大気汚染の状態を表し、緊急時の対策の発動にあたっての判断基準としている。例えば、SO₂では、24時間濃度が0.13ppm(環境基準値)がIMECA 100で、濃度が0.35、0.56、0.78、1.0ppmと増加するに従いIMECAは200、300、400、500となる。

表2 大気環境の基準値(SO₂のみ抜粋)

汚染物質	メキシコの環境基準値		日本の環境基準	
	平均時間	ppm	平均時間	ppm
二酸化硫黄 (SO ₂)	24時間	0.13	24時間 1時間	0.04 0.1

1.5.3 メキシコシティ首都圏における大気汚染対策の経緯

以下に、本件に関連する SO₂対策を中心に、メキシコシティ首都圏における大気汚染対策の経緯を示す。

SO₂対策を中心としたキシコ首都圏における大気汚染対策の経緯

○1985年

- ・政府が総合的な環境対策に取り組を開始した。具体的には、大統領を議長とする関係省庁大臣等からなる「国家環境委員会」が設けられ、まず、呼吸器被害の発生がみられるメキシコシティ首都圏大気汚染対策に着手した。

○1986年

- ・2月に、具体的な対策の実施案「環境汚染に関する21の対策」が作成された。大気汚染に関する対策内容は、次の通りである。

「環境に対する21の対策」の概要抜粋

- 1 : バスの排ガス対策として低汚染型エンジンへの切替え
- 2 : 地下鉄、トロリーバスの整備と拡張
- 3 : 郊外からの自動車の乗り入れ規制
- 4 : 車検場における排ガス検査の実施
- 14~19 : 燃料の改善(ガソリン車、ディーゼル車)
- 21 : 自動車排ガス対策装置の設置

- ・また本年に、首都圏内で大気汚染自動測定局25か所の設置を行った。そして、測定結果について市民の理解を容易にするため、5汚染物質(粒子状物質、SO₂、NO₂、CO、O₃)の濃度の指標化を行い、地域ごとの汚染指標(IMECA:基準値を100とする)として発表している。汚染指数が250を越えた場合は、首都圏内工場等の操業規制や、自動車の使用制限等を内容とする緊急措置が発令されるようになっている。本措置は、現在でも基本的には同じ内容で実施されている。

- ・なお、PEMEXは首都圏主要道路のガソリンスタンドに、ディーゼル油として、ディーゼルスペシャル(硫黄分0.5%)の供給を開始した。

○1988年

- ・3月に「生態系保全と環境保護一般法」が制定され、連邦政府、地方自治体、PEMEXなどの国営企業等の環境汚染に対する権限と責任とが明確にされた。併せて、自動車排ガスの基準設定、取締り強化、工場排ガスの排出基準の整備と監視体制・測定体制の強化等を主眼とした施策(環境100の必要な措置)が発表された。

「環境 100 の必要な措置」に基づく対策

対象工場	対策内容
火力発電所	1. 重油から天然ガスへの転換 2. 排ガス処理装置の設置 3. 稼働量の削減 4. 排ガス測定監視装置の設置
石油精製工場	1. 施設拡張の禁止 2. 低硫黄燃料への転換 3. 炭化水素類の排出抑制措置
10大工場	1. 重油から天然ガスへの転換 2. 高濃度汚染季節での稼働率の低下 3. 排ガス測定監視装置の設置
その他の工場	1. 低硫黄燃料の使用 2. 工場の移転

- ・ 12月のサリーナス政権発足後も、首都圏大気汚染対策は緊急課題として位置づけられ、移動発生源対策としては、週一日のノーカーデー、年一回の車両排ガス検査の強化、バスエンジンの低公害化、タクシー・ミニバスの老朽車両の更新と触媒コンバータの設置、昼間の貨物積降ろしの禁止、無鉛ガソリンの発売等を織り込んだ計画が策定された。
- ・ 固定発生源対策としては、工場排ガスの基準設定とその測定義務付け、工場立入検査の実施と指導強化、基準値を超えた工場等に対する公害防止装置の設置や、燃料の改善指導(LNGへの転換、低硫黄燃料の使用等)が行われた。

○1990年

- ・ 10月に今後10年間に取り組む対策をまとめた「首都圏大気汚染対策総合計画」が議会で成立した。この中には、本件の対象事業である①低硫黄重油の生産、②低硫黄ディーゼル油の生産、③アスカポツァルコ製油所での硫黄回収および、④低硫黄燃料油の入手までメキシコシティ首都圏内の火力発電所での天然ガスの暫定的使用(①に関連)が含まれていた。
- ・ また、暫定的な措置として、首都圏内において硫黄分2%以上の重油の使用禁止、及びエネルギー多消費工場については天然ガス転換が実施された。

○1991年

- ・ メキシコシティ首都圏では1990年12月中旬から1991年初頭にかけて、例年の冬季以上に大気の汚染状態が悪化した。そこで、政府は1月に以下の措置をとった。

①主要発生源と見られる300工場に対して、1月15日から2月28日までの間、燃料を重油から、天然ガスないしはディーゼル油(従来の重油に比べると低硫黄の燃料)に変更する。もしくは、操業を30%短縮する。

- ②IMECAが300となった段階で、全ての学校を臨時休校とする。
- ③自動車排ガス対策として、メキシコ市中心街への大型トラック等の出入りを夜間のみとする。また、旧式エンジン搭載の市バスの全車を廃止し、新エンジン搭載バスと切り換える。など

- ・政府の指導に従い、3月に、PEMEXはメキシコ市内の大規模石油製油所(アスカポツアルコ製油所)を自主的に閉鎖した。この製油所は本件のサブプロジェクトCの実施地であったため、サブプロジェクトCはキャンセルされることとなった。
- ・1991年冬季から、固定発生源対策として、首都圏内の硫黄分が2%を越える重油の使用が禁止された。この時点から、PEMEXは首都圏用に工業用ガスオイル(Gasoleo industrial)という新しい燃料(より低硫黄の燃料)の供給を開始した。

○1992年

- ・本年7月から1994年6月までの2年間に、政府(環境検察庁)は首都圏の固定発生源に対して、1か月平均500回の立入検査を実施し、その結果、37社(0.5%)が全面閉鎖、617社(4.6%)が一部閉鎖の対象になり、9,057社(68.3%)が技術改善勧告を受けた。

○1993年

- ・3月に首都連邦区庁を事務局として「メキシコ盆地環境汚染防止・管理首都圏委員会」(AMCM環境委員会)が発足し、環境対策の実施状況を監視することになった。
- ・10月には、固定発生源用の燃料として、硫黄分0.5%含有の従来のディーゼル油(商品名: Diesel Special)は発売されなくなり、代わって、世界でも最も硫黄分の少ない0.05%のディーゼル油(同: Diesel Sin)が発売されている。これは現在、本件のサブプロジェクトBに設置された設備(HDD)で製造されているものである。

○1994年以降

- ・1994年12月に新たに工場・事業場の排ガス規制が施行され、1998年にNO_x規制が強化された。この規制により、NO_x対策は需要者サイドでの対策(除去装置の設置等)が求められるため、NO_x対策が必要な低硫黄重油の使用が首都圏内では困難となった。
- ・以上のようにSO₂対策は1990年代前半でほぼ完了している。現在の大气汚染対策は、改善がなかなか進まない浮遊粒子状物質、O₃対策に重点を置いている。

2.評価結果

2.1 計画の妥当性

本事業は、メキシコシティ首都圏内で消費される重油およびディーゼル油を低硫黄化することにより、SO₂排出量を削減し、メキシコシティ首都圏の大気改善効果に資するものと位置づけられていた。

事業目的に変更はなかったが、借款契約締結後、本事業を取り巻く環境に大きな変化が生じた。つまり、メキシコシティ首都圏のSO₂対策が「低硫黄石油系燃料への転換」による排出量の低減から、よりクリーンな対策である天然ガスの利用や製油所の廃止など「石油系燃料の使用抑制」に転換されたことである。

これにより、まずサブプロジェクトCである硫黄回収施設が設置される予定であったメキシコ市内の製油所(アスカポツアルコ製油所)が廃止され、サブプロジェクトCがキャンセルされた。

サブプロジェクトA,Bについては当初計画通りの施設が設置された。ただし、計画では、それらにより生産される石油製品(低硫黄重油およびディーゼル油)の全てもしくは大部分が、メキシコシティ首都圏内で消費されることを想定していたが、上記の政策変更に伴い首都圏内の需要量が減少し、相当量が首都圏外で消費されている状況にある。

つまり、設置したプラントは初期トラブルがあったものの現在は順調に稼働し、燃料に含まれる硫黄分の除去が行われているが、当初の目的である「首都圏内のSO₂排出削減」だけでなく、メキシコシティ首都圏を含むより広域でのSO₂削減に寄与しているといえる。このことについては、メキシコシティ首都圏内で天然ガス等の代替エネルギー使用が可能となったことにより、同首都圏内でSO₂の環境基準が達成されたことが背景にあり、これを受けて本事業により生産された低硫黄の重油及びディーゼル油の供給先がある程度変更されたものといえる。言い換えると、本事業は1988年当時の「環境100の必要な措置」のパッケージの一部を構成するものであり、天然ガスの安定供給や対応設備の整備の見込みが不透明であったことから必要とされたものである。なお、1989年11月メキシコ政府は、日本政府ミッションに対し、首都圏内の発電所における重油の天然ガスへの代替計画に伴い、サブプロジェクトAの要請取り下げを打診してきた。しかし、その後方針が変更され、同脱硫後の重油供給が可能となれば、同発電所でこれを利用していくことがメキシコ政府からの書面にて確認されている。

本借款契約締結の後、メキシコシティ首都圏内で天然ガスへの転換が進んだことから、本事業による製品の供給先を低硫黄の重油及びディーゼル油を必要とする他の地域にある程度変更することにより、SO₂の削減効果をより広域に及ぼそうとしたものといえる。このことにより、本事業については当初の目的と若干のズレが見られるが、天然ガスへの転換と本事業の組み合わせによりSO₂の削減がより広域に及んでおり、本事業の意義は大きいものと考えられる。

2.2 実施の効率性

2.2.1 事業費

事業費の総額(円建て)については、若干(0.55%)コスト超過が認められるが、現地通貨または米ドル支払いであるため、換算為替レート次第(期間内で1ドル=94~144円と変動)で大きく変動したので、予算内に収まったか否かは判断できない。

コンサルティング・サービス費(円建て)はコスト超過になっているが、工期の延長に伴いコンサルティング・サービス提供期間の延長措置がとられたため、費用が559百万円か

ら 680 百万円に増加している。この超過分の資金は予備費から充当されている。

一方で現地通貨ベースでは、工事の遅延、一部設計変更による必要設備の増加などコスト引上げの要因もあった。

貸付金額(円建て)の計画・実績比を見ると、実績は計画の約 87%となっているが、これは円高要因が大きかったためである。

なお、サブプロジェクト C のキャンセルにより、その資金は予備費に回されている。

以上、総事業費については、特段の問題は見受けられないといえる。

表 3 年別貸付実績

暦年	円借款分・計画 (百万円)	円借款分・実績 (百万円)
1991	710	418
1992	2,965	1,109
1993	29,471	4,326
1994	32,065	13,760
1995	4,127	19,435
1996		17,850
1997		2,561
1998		430
合計	69,338	59,889

2.2.2 工期

メキシコ側の予算調達の遅れ、初期運転時におけるトラブルの発生などの理由により、工期が幾分遅れたものの、設備はさほど大きな混乱もなく設置された。

①サブプロジェクトA

本事業の完成は事業実施の遅れにより、当初の予定(1996年2月)から約1年遅れた(1997年1月)。本事業完成の原因としては、メキシコ政府分の予算調達が遅れたことによるコントラクターとの交渉・調印の遅れ、地震に関する新たな規制に対応した安全対策などのための設計等の一部変更などが挙げられる。

また、プラント完成後は、新たに採用した触媒の扱いに起因するアクシデントや火災事故などが発生したため、設計能力通りの運転が可能となったのは1998年の11月になってからである。

②サブプロジェクトB

本事業の完成は工事進捗の遅れにより、当初の予定(1994年11月)から約2年遅れている(1996年9月)。

工事進捗の遅れの理由としては、建設工事を担当した企業の財政的な問題による契約解除の発生などが挙げられる。

なお、建設工事の終了後、サラマンカおよびトゥーラの施設で試運転が行われたが、当初は計画通りの精製ができなかったため、それを調整するためパラメーター(運転条件)の変更などが行われている。その後は、所要の運転状況を達成している。

2.2.3 実施体制

(1) 実施機関(PEMEX)

本件の実施機関は PEMEX である。

なお、借款契約に基づき PEMEX が実施機関として指定されていたが、1992年に PEMEX

は 4 つの組織に分割され、製油部門(PEMEX-Refinacion)が、本件に関する全ての事項を引き継いだ。

PEMEX 製油部門の組織図を図 5 に示す。現在の本件の担当部署はプロジェクト管理第 3 部である。事業の実施期間中に結成されていたプロジェクトチームは、各設備の完成後に解散され、設備の運転・管理は各製油所に任されている。

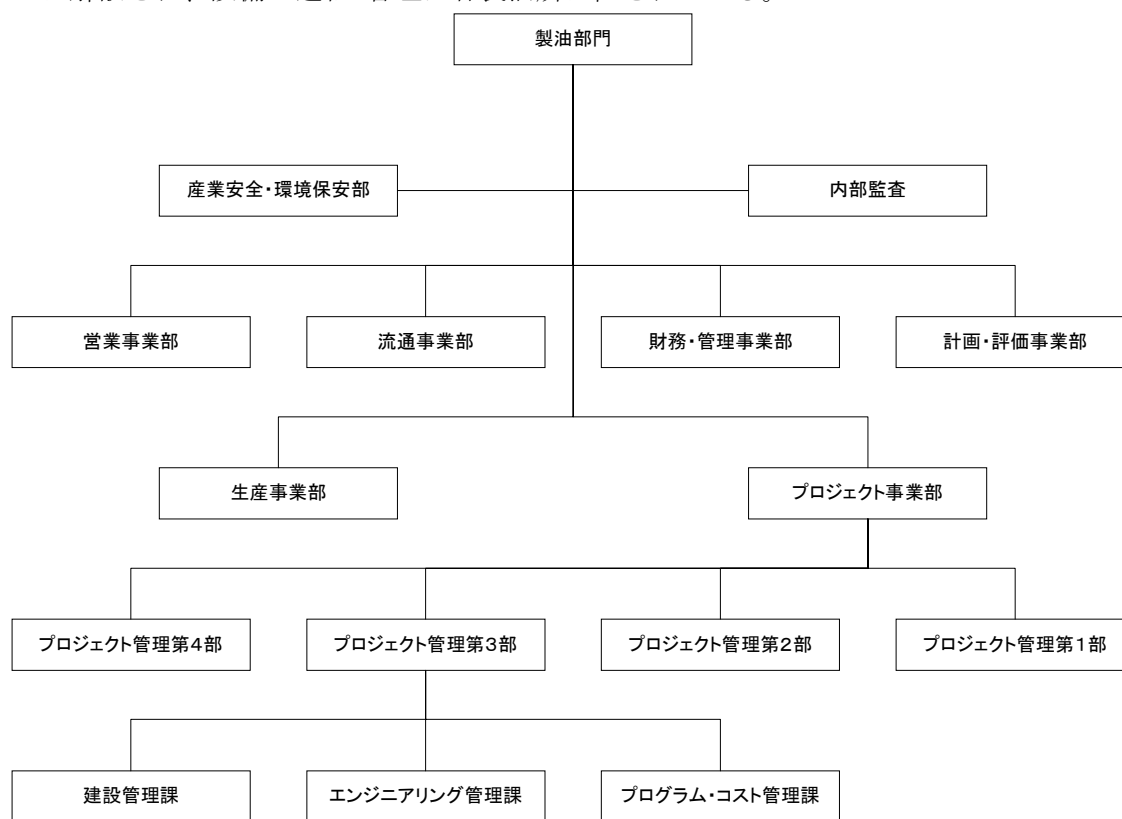


図5 PEMEX製油部門組織図

PEMEX は、実質的な国営企業で、メキシコ唯一の石油精製・供給機関であり、事業実施機関の選定は適切だった。

本事業実施にあたっては、技術的な審査の面で、マンパワー不足の懸念等の問題があったものの、パフォーマンスはおおむね良好であったといえる。

(2) コンサルタント

コンサルタントは、ショート・リスト方式により選定された。課せられた課業指示書 (TOR)は、入札補助、施工管理などであり、その実績はプロジェクト実施機関も評価しており、良好であったといえる。

課業指示書(TOR)の一つに PEMEX サイドが行う大気汚染改善効果インパクトスタディ (本事業の事後評価)への補助が含まれていた。具体的には IMP(メキシコ石油研究所)が行うトゥーラ周辺の大気モニタリング、シミュレーションへの助言である。

(3) コントラクター

本事業は、A、Bのサブプロジェクトごとに、1)技術供与(ライセンス)、基本設計、サポートサービス、2)詳細設計、機器調達、建設工事の 2 つに分けられ、国際競争入札にて調達された。その結果、計 4 件とも海外企業が受注した。

PEMEX からは各コントラクターのパフォーマンスは概ね良好であったと報告されている。

ただし、サブプロジェクト B の建設工事等を請け負ったコントラクターが、工期の完了間近で経営難になり、契約がキャンセルされたが、99%完成していた段階であり、残りは PEMEX が引き取り、工期の遅れ発生したものの無事工事を完了させた。設置プラントについては、順調に稼働しているため、著しい問題は無かったと思料される。

(4) JBIC

建設当時、JBIC(旧 OECF)はメキシコに現地事務所がなかったため、現地とのやりとりは、主にコンサルタント経由で行われている。

先方の事情によりプラント設置の工期が遅れた面はあるが、JBIC サイドは特段問題がなかったとみられる。

また、1995 年に中間監理ミッションが派遣され、メキシコシティ首都圏内では脱硫重油がそれほど使用されない状況になっていることを確認している。

2.3 効果(目標達成度)

2.3.1 運転状況・運営状況

トゥーラ製油所の石油精製能力は 185 千バレル/日、サブプロジェクト A による設備(HDR)の処理能力は 45 千バレル/日、サブプロジェクト B による設備(HDD)の処理能力は 25 千バレル/日であるから、それぞれ 24%、13%に相当する。また、サラマンカ製油所の石油精製能力は 295 千バレル/日、サブプロジェクト B による設備(HDD)の処理能力は 25 千バレル/日であるから、約 8%に相当する。

サブプロジェクト A および B の稼働状況を示す。

表 4 サブプロジェクト A および B による低硫黄重油及びディーゼル油の生産量の推移

サブプロジェクトA:HDR(トゥーラ製油所)

年	1998	1999	2000 (1-9月)
稼働日 (日)	177	214	216
重油生産量 (バレル/日)	8,700	12,650	29,383
硫黄含有量 (%)	1.7	1.7	1.9

サブプロジェクトB:①HDD(トゥーラ製油所)

年	1998	1999	2000 (1-9月)
稼働日 (日)	306	335	225
軽油生産量 (バレル/日)	19,886	21,095	16,526
硫黄含有量 (%)	0.037	0.035	0.029

サブプロジェクトB:②HDD(サラマンカ製油所)

年	1998	1999	2000 (1-11月)
稼働日 (日)	341	330	332
軽油生産量 (バレル/日)	21,646	21,637	24,000
硫黄含有量 (%)	0.0255	0.0292	0.033

(PEMEXよりの受領資料)

本設備は独立した設備ではなく、既存の大規模な石油精製システムの一部として組み込んでおり(図 6、7 参照)、実際の製造製品、製造量は複雑である。例えば、HDR について、PEMEX から提出された正式な燃料マスバランスは次の通りである。4.7%硫黄含有の投入油 45,000~50,000 バレル/日が、25,000 バレル/日の低硫黄(1.2%硫黄含有)燃料油と低硫黄中間蒸留である残留物を生み出す。前者は 4%硫黄含有油 20,000 バレル/日と混合され、排出基準の要求値に一致させるため、2%の硫黄含有率(法的上限値)の燃料 45,000 バレル/日となる。

そこで主製品である重油およびディーゼル油を見てみると、計画値より生産量が少なくなっている。しかし石油製品の製品別生産量は需要量などを踏まえて決定されるため、これをもって設備の稼働状況に問題はあるとはいえない。

工事完了後は、各設備とも試運転段階でいくつかのトラブルが生じ、本格運転までに時間を要したが、最近はおおむね良好な運転状態である。

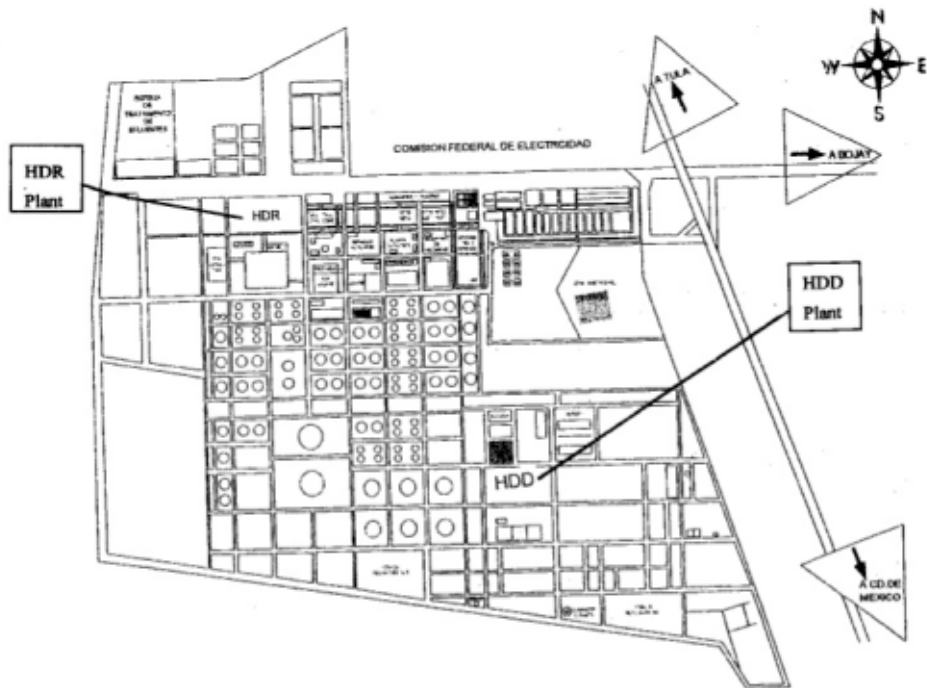


図6 トウーラ製油所の平面図



図7 サラマンカ製油所の平面図

2.3.2 定量的効果(大気汚染削減効果)

燃料中の硫黄は、燃焼によって空気中の酸素と反応して大部分が、SO₂となって大気へ放出される。SO₂生成量は燃焼条件に関係なく、燃料中の硫黄量にほぼ比例する。

本事業では、アプレイザル段階で大気汚染削減効果の定量的な計算を行っている。具体的には、メキシコシティ首都圏内の大気に排出されるSO₂の削減量の計算を行い、2000年におけるSO₂排出削減量は133.8千トン/年であり、本事業の実施によりメキシコシティ首都圏のSO₂の75%が削減されることになるとの算出結果を得ている(表5参照)。

各サブプロジェクトの寄与度は、サブプロジェクトAが約83%(SO₂排出削減量:111千トン/年)、サブプロジェクトBが約13%(同:17千トン/年)、サブプロジェクトCが約4%(同:5.8千トン/年)となっている。

この算出はあくまで参考用の目安として実施されたようだが、設備稼働後の実際の数値を用いて検証を行うことは、それなりに意味があることと思われる。そこで、事後の実績値を用いて同様な計算を行ってみた(表6参照)。

計画値および実測値の比較表を表7に示す。

①サブプロジェクトA

プラント自体はほぼ計画通り設置されているにもかかわらず、メキシコシティ首都圏におけるSO₂排出削減量は実績が計画の約2割(2000年値 計画:111,000トン/年削減→実績:21,700トン/年削減)と大きく異なっている。この理由としては、以下の2点が挙げられる。

- 製造した低硫黄重油の6割近くがメキシコシティ首都圏外で消費されていること。
- 重油の硫黄含有率が計画0.8%に対して、実績値は1.9%と多いこと

後者については、これはトゥーラ製油所の精製設備の問題ではなく、需要者側の設備が旧式のままであるため、粘度の問題で低硫黄重油に対応できないためとのことである。つまり、トゥーラ製油所は硫黄含有率0.8%の低硫黄重油の供給が可能であるが、需用者側の事情で同1.9%の重油しか供給できない状況である。

②サブプロジェクトB

メキシコシティ首都圏におけるSO₂排出削減量については、実績値が計画値を上回っている(2000年値 計画:17,000トン/年削減→実績:18,430トン/年削減)。サラマンカ製油所分を除外したにもかかわらず、目標値を達成しているのは、ディーゼル油の硫黄含有量(0.029%)が、当初の計画値(0.05%)より4割低くなったことによるものである。

なお、サラマンカ製油所の施設は、首都圏内における低硫黄ディーゼル油の需要量の増加を見越して設置されたものであるが、実際には他地域向けの生産を行っている。将来的にも、トゥーラ製油所での低硫黄ディーゼル油製造に支障が生じない限り、メキシコシティ首都圏内に供給する可能性はないとのことである。

③サブプロジェクトC(硫黄回収)実施の効果

本サブプロジェクトは、前述したように実施されずにキャンセルされた。したがって、当初の期待した効果は現れていない。

④本事業実施による全体効果

計画段階での SO₂ 排出削減量(133,800 トン/年)と比べると、実績は全体で 85,750 トン/年と推計され、計画値の約 2/3 となっている。また、メキシコシティ首都圏内(40,130 トン/年)では約 3 割となっている。後者については、メキシコシティ首都圏の消費割合の数値がヒヤリング先によりかなり異なっていたため、今回は一番大きな値を用いているが、設定次第で更に減少する。

ただし、削減量の実績値が計画値より大幅に下回っているのは、上述したように、本事業ではコントロールできない別の事情によるものであり、この結果をもとに本事業の成功の是非を云々すべきものではないと思料される。

表 5 アプレイザル段階での大気汚染削減効果の算出値

(1)算出の前提

①サブプロジェクトA(重油脱硫)

- ・重油脱硫プロジェクトによって脱硫される重油は、メキシコシティ首都圏に存在する発電所をはじめとする企業及び工場に供給されることになっており、多くの固定発生源から排出されているSO₂に関してそのほとんどが削減されることになる。
- ・プロジェクトの承認段階では、メキシコシティ首都圏に供給されている重油の硫黄分含有量は平均約3.0%であるが、これが0.8%以下に削減される。
- ・メキシコシティ首都圏における重油の需要量は、1995年において約38,000バレル/日、2000年において約49,000バレル/日と想定。

SO₂ 排出量 = 重油需要量 × 重油中の硫黄含有量(SO₂換算値)

SO₂ 排出削減量 =

対策を実施しなかった場合のSO₂排出量 - 実施した場合のSO₂排出量

②サブプロジェクトB(ディーゼル油脱硫)

- ・ディーゼル油脱硫プロジェクトによって脱硫されるディーゼル油は、メキシコシティ首都圏に存在するほとんどのディーゼル油販売所において販売されることとなり、メキシコシティ首都圏を走る多くのディーゼル自動車の燃料として使用される。したがって、自動車から排出されるSO₂の大部分を占めるディーゼル自動車からの発生量が削減されることになる。
- ・承認段階では、メキシコシティ首都圏に供給されているディーゼル油のS分含有量は平均約0.5%とされている。この含有量が、プロジェクト完成後は0.1%になる。
- ・なお、メキシコシティ首都圏におけるディーゼル油の需要量は、1995年において約38,000バレル/日、2000年において約49,000バレル/日と想定。

SO₂ 排出量 = ディーゼル油需要量 × ディーゼル油中の硫黄含有量(SO₂換算値)

SO₂ 排出削減量 =

対策を実施しなかった場合のSO₂ 排出量 - 実施した場合のSO₂ 排出量

③サブプロジェクトC(硫黄回収)

- ・硫黄回収プロジェクトは、メキシコ市内に存在するアスカポツアルコ製油所内で石油の精製過程で抽出され一部は燃焼する方法で廃棄されている硫黄分を、固形化・回収することにより、大気中へ放出されるSO₂ 量を削減する。

SO₂ 排出削減量 = 設備の新設または改良に伴う硫黄回収量の増加分(SO₂換算値)

(2)算出結果(メキシコシティ首都圏におけるSO₂ 排出削減量)

①サブプロジェクトA(重油脱硫)実施によるSO₂ 排出削減量

年	プロジェクトを実施しなかった場合のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施後のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施によるSO ₂ 排出削減量
1995	118千トン/年	31千トン/年	87千トン/年削減 (削減率:約82%)
2000	151千トン/年	40千トン/年	111千トン/年削減 (同:約82%)

②サブプロジェクトB(ディーゼル油脱硫)実施によるSO₂排出削減量

年	プロジェクトを実施しなかった場合のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施後のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施によるSO ₂ 排出削減量
1995	17千トン/年	3千トン/年	14千トン/年削減 (削減率:約82%)
2000	21千トン/年	4千トン/年	17千トン/年削減 (同:約82%)

③サブプロジェクトC(硫黄回収)実施によるSO₂排出削減量

年	プロジェクトを実施しなかった場合のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施後のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施によるSO ₂ 排出削減量
1995, 2000	6.5千トン/年	0.7千トン/年	5.8千トン/年削減 (削減率:約89%)

④本事業実施による全体のSO₂排出削減量(①～③の合計)

年	プロジェクトを実施しなかった場合のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施後のSO ₂ 排出量	プロジェクト実施によるSO ₂ 排出削減量
1995	141.5千トン/年	34.7千トン/年	106.8千トン/年削減 (削減率:約75%)
2000	178.5千トン/年	44.7千トン/年	133.8千トン/年削減 (同:約75%)

- ・ 全てのSO₂削減はメキシコシティ首都圏内で実現する。この排出削減量はメキシコシティ首都圏から排出されるSO₂の75%が削減されることに相当する。

表6 事業完了後の実績データを用いた大気汚染削減効果の検証値

(1)算出の前提

①サブプロジェクトA(重油脱硫)

1)基礎データ(出所:PEMEX)

□脱硫プラントによる重油生産量: 29,383 バレル/日(2000.1-9平均)

○脱硫プラントによる硫黄削減量

- ・ 原料油の硫黄含有率: 4.2%(3.5~4.7%)
- ・ 製品の硫黄含有率: 1.9%(目標値は0.8%)
- ・ SO₂排出削減量: 50,820トン/年(2000年)(=回収硫黄量)

○生産した低硫黄重油の消費先(1999年実績)

- ・ 製油所に隣接する火力発電所: 34,933バレル/日(39.0%)
- ・ 製油所近くの中継所: 54,692バレル/日(61.0%)
- ・ 合計:89,625バレル/日(100%)→HDR以外の重油製造プロセスによるものも含む

○メキシコシティ首都圏内での消費割合

- ・ 上記のようにトゥーラ製油所で生産された低硫黄重油のうち、39.0%が製油所に隣接する火力発電所で使用され、61.0%が製油所近くの中継所を経由して各地に流通する。
- ・ 前者は、メキシコシティ首都圏外であり、後者の一定割合(PEMEX本部によると7割)がメキシコシティ首都圏内で消費される。
- ・ したがってメキシコシティ首都圏内の消費割合は $0.61 \times 0.7 = 0.427$ とした

2)算出式

- ・ 総SO₂ 排出削減量 : PEMEX算出値を使用
- ・ メキシコシティ首都圏内でのSO₂ 排出削減量
= 総SO₂ 排出削減量 × メキシコシティ首都圏内での消費割合

②サブプロジェクトB(ディーゼル油脱硫)

1)基礎データ(出所:PEMEX)

○脱硫プラントによるディーゼル油生産量

- a. トゥーラ製油所: 27,210 バレル/日 (2000.1-9平均)
- b. サラマンカ製油所: 24,000 バレル/日 (2000.1-11平均)

○脱硫プラントによる硫黄削減量

- a. トゥーラ製油所
 - ・ 原料油の硫黄含有率:1.4%
 - ・ 製品の硫黄含有率:0.029%(目標値は0.05%)
 - ・ SO₂削減量:18,430トン/年(2000年)(=回収硫黄量)
- b. サラマンカ製油所
 - ・ 原料油の硫黄含有率:1.4%
 - ・ 製品の硫黄含有率:0.033%(目標値は0.05%)
 - ・ SO₂削減量:16,500トン/年(2000年)(=回収硫黄量)

○生産したディーゼル油の消費先、メキシコシティ首都圏内での消費割合

- a. トゥーラ製油所:
 - ・ トゥーラ製油所で生産された低硫黄ディーゼル油は、メキシコ市内の中継所を含む5か所の中継所を経由して販売されている。
 - ・ メキシコシティ首都圏内での消費割合トゥーラ製油所でのヒヤリング結果を踏まえて、全てメキシコシティ首都圏で販売されているとした。
- b. サラマンカ製油所:
 - ・ 販売先は北部地方10州であり、メキシコシティ首都圏内では販売されていない。

2)算出式

- ・ 総SO₂ 排出削減量 : PEMEX算出値を使用
- ・ メキシコシティ首都圏内でのSO₂ 排出削減量
= 総SO₂ 排出削減量 × メキシコシティ首都圏内での消費割合

③サブプロジェクトC(硫黄回収)

- ・ 本サブプロジェクトはキャンセルされたため、本事業実施によるSO₂ 排出削減効果は発現していない。

(2)SO₂ 排出削減量(2000年)

①サブプロジェクトA(重油脱硫)実施によるSO₂ 排出削減量

- ・ 50,820トン/年

②サブプロジェクトB(ディーゼル油脱硫)実施によるSO₂ 排出削減量

- a. トゥーラ製油所:18,430トン/年
- b. サラマンカ製油所:16,500トン/年
- c. 合計:34,930トン/年

③本事業実施による全体のSO₂ 排出削減量(①～②の合計)

- ・ 合計:85,750トン/年

(3)メキシコシティ首都圏におけるSO₂ 排出削減量

①サブプロジェクトA(重油脱硫)実施によるSO₂ 排出削減量

- ・ 50,820トン/年×0.427=21,700トン/年

②サブプロジェクトB(ディーゼル油脱硫)実施によるSO₂ 排出削減量

- ・ トゥーラ製油所分:18,430トン/年

③本事業実施による全体のSO₂ 排出削減量(①～②の合計)

- ・ 合計: 40,130トン/年

表 7 SO₂ 排出削減量の計画値及び実績値の比較(2000 年値)

プロジェクト	計画値 (全体=メキシコシティ首都圏内)	実績値	
		全体	メキシコシティ首都圏内
サブプロジェクトA	111,000トン/年	50,820トン/年	21,700トン/年
サブプロジェクトB	17,000トン/年削減	34,930トン/年	18,430トン/年
サブプロジェクトC	5,800トン/年	—	—
合計	133,800トン/年	85,750トン/年	40,130トン/年

2.4 インパクト

2.4.1 環境へのインパクト

SO₂が有害な大気汚染原因物質とされるのは、大気への放出後に刺激性の強い硫酸ミストに変質し、経気道による喘息等の慢性呼吸器疾患を引き起こすためである。したがって、SO₂排出量の削減による人体の健康被害の減少など間接的な改善効果が現れている可能性が高い。

したがって、環境改善の効果をより正確に評価するためには、排出量の削減量を評価するだけでなく、それに伴う大気汚染濃度の低下、健康被害の減少などを評価する必要がある。

そこで、本件をケーススタディーの対象として、大気環境改善による効果を費用便益分析の手法で評価を行った(詳細は「環境案件の事業効果に係る事後評価手法調査 環境評価手法報告書」を参照)。以下のその概要を示す。

(1) 評価対象と評価手法の概要

費用、便益ともにメキシコシティ首都圏の大気汚染改善に関与する部分、すなわち、便益は、トゥーラ製油所の HDD、HDR プラントからメキシコシティ首都圏へ供給されている低硫黄燃料による大気汚染改善効果、費用は、トゥーラ製油所の HDR、HDD の全生産量に占めるメキシコシティ首都圏への供給比率を計上した。

また、評価は、ベースライン(本事業あり)と代替案1(本事業なし)、ベースライン(本事業あり)と代替案2(本事業なし)の比較によった。

① ベースライン(本事業あり)

1990年以降、HDR、HDD プラント整備を含む大気汚染対策が実施され、メキシコシティ首都圏内での硫黄排出量は大幅に抑制され、健康被害が防止され、今後とも大気汚染対策が継続的に実施されると想定。

② 代替案1(本事業なし)

HDR、HDD を含めメキシコシティ首都圏における大気汚染対策が実施されず、1990年レベルの SO₂濃度が持続し、健康被害が発生していると想定する。

ベースラインにおける大気汚染対策全体による硫黄排出抑制量に占める HDR、HDD による排出抑制量の比率が、大気汚染対策全体の効果に占める HDR、HDD の寄与率である。

③ 代替案2(本事業なし)

1990年以降大気汚染対策が実施され、ベースラインと同レベルの SO₂排出量抑制、SO₂濃度が達成されていると想定する。ただし、大気汚染対策には、HDR、HDD プラントの整備は含まれておらず、HDR、HDD による硫黄排出抑制は、メキシコシティ首都圏内の発電所における重油使用の天然ガスへの転換によって達成されており、ベースラインに比べ追加的費用が発生していると想定する。

(2) 大気汚染対策による硫黄排出量の減少とSO₂濃度の低下

① 硫黄排出量の減少とSO₂濃度の低下

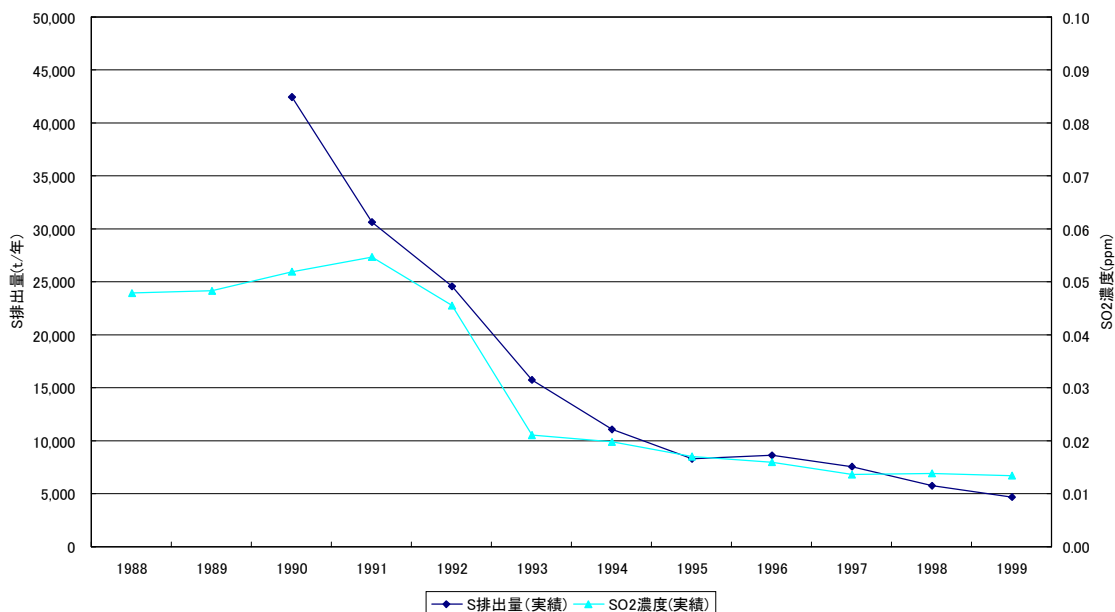
HDD、HDR を含む一連の大気汚染対策によって、1990年以降 SO₂排出量が急激に減少し、1992年以降 SO₂濃度は環境基準を達成するレベルまで大幅に低下した。

硫黄の抑制量と SO₂濃度の低下は極めて相関が高く、その関係は以下のように推定され

た。

$$y = 1.274 \times 10^{-6} x + 0.006399269 \quad (r^2; 0.8994) \quad (1)$$

y; メキシコシティ首都圏内26観測点の年平均SO₂濃度 (ppm)
 x; メキシコシティ首都圏内硫黄排出量 (t/年)



注:SO₂濃度はメキシコシティ首都圏内観測地点の年平均濃度の平均値

図8 メキシコシティ首都圏におけるS排出量および平均SO₂濃度の経年変化

出典: S排出量はIMP資料、SO₂濃度はSEMAURNAP資料より
 株式会社三菱総合研究所作成

② HDR、HDDによる硫黄排出量の削減

HDR、HDD (トゥーラ) から低硫黄燃料がメキシコシティ首都圏へ供給されることによる、メキシコシティ首都圏における硫黄排出抑制量を、1990年時点の高硫黄燃料の硫黄含有量との比較によって算定した。

表8 HDR、HDDによる硫黄の年間排出抑制量

プラント	製品	出荷量			代替案1における製品(1990時点の主力製品)			削減量 (t/年)
		量 (バレル)	S含有率 (%)	S含有量 (t/年)	製品	S含有率 (%)	S含有量 (t/年)	
HDR	工業用重油	1,500,000	1.000%	2,122	Combustóleo	4.000%	8,490	6,367
	ガソリン	336,000	0.020%	8	Gasolina Nova	0.150%	60	52
	ディーゼル油	672,000	0.120%	106	Diesel Nacional	1.000%	887	780
	合計			2,237			9,436	7,199
HDD(Tula)	ディーゼル油	5,670,000	0.029%	217	Diesel Nacional	1.000%	7,482	7,265

出典: PEMEX資料に基づき株式会社三菱総合研究所算定

③ 硫黄排出量とSO₂濃度の予測

費用便益分析のため、ベースライン、代替案1、代替案2の設定に従い、それぞれのケースの硫黄排出量とSO₂濃度を予測した。

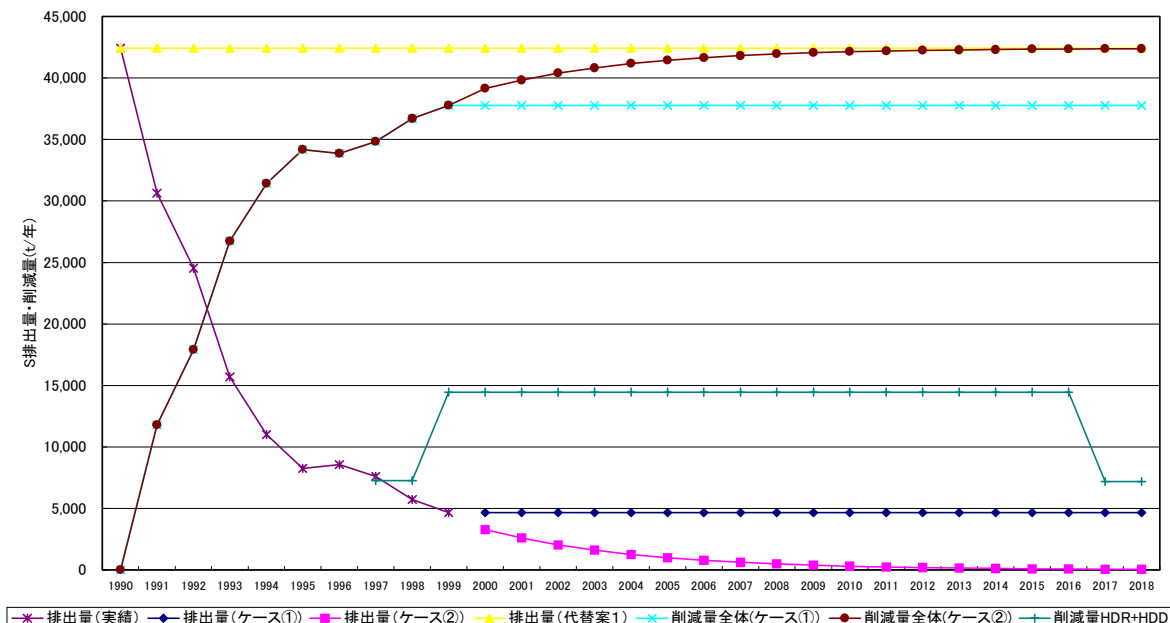


図9 硫黄排出量・抑制量の予測

出典: 株式会社三菱総合研究所 作成

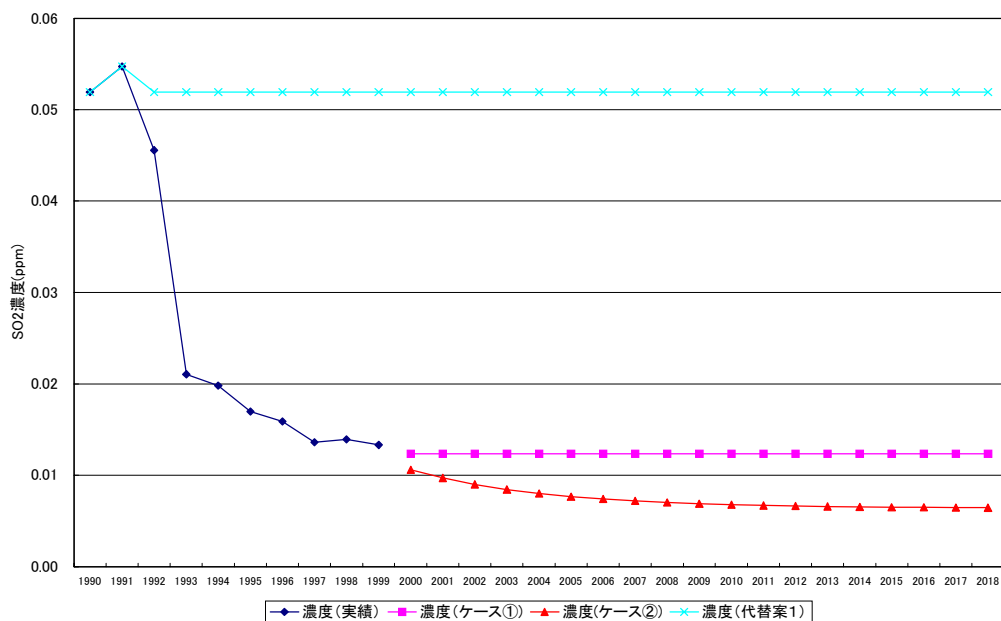


図10 SO₂濃度の予測

出典: 株式会社三菱総合研究所 作成

(3) 人体への影響の予測

① 呼吸器疾患の発生

硫黄酸化物による大気汚染によって、気管支喘息などの呼吸器疾患が引き起こされていることが検証されている。ケーススタディーでは、硫黄酸化物による人体への影響を推定するために、他地域における疫学的研究に基づく量-反応関数を適用し、疾患の発生率を推定した。

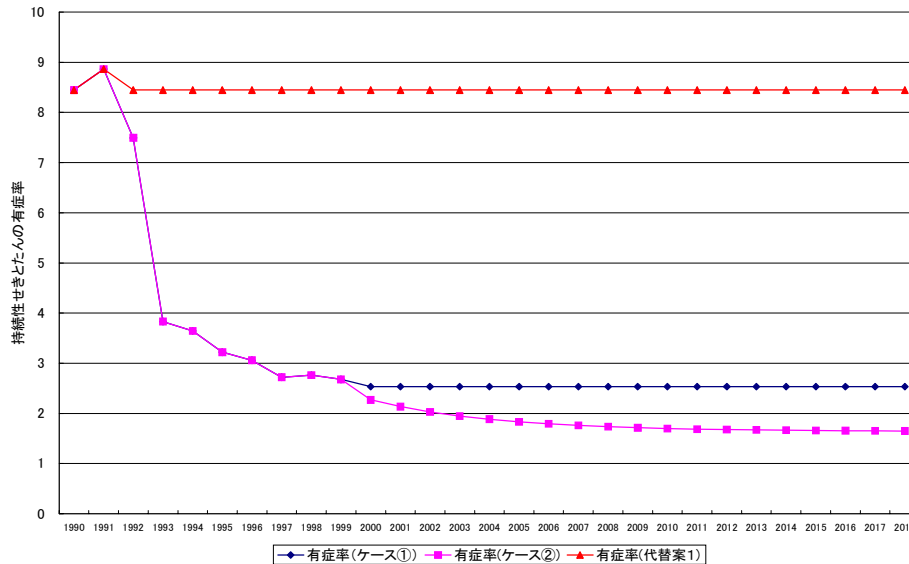


図 11 持続性咳(せき)と痰(たん)の有症率の推定

出典: 株式会社三菱総合研究所 作成

② 社会的費用の推定

気管支喘息などの SO₂ による疾患によって以下のような社会的影響が生じると考えられる。費用便益分析では、持続性咳(せき)痰(たん)による欠勤による所得の減少、治療によって生じる費用を算定した。

発作などによる欠勤など、所得の減少、生産性の低下
 治療による費用(患者の負担、社会保障などを通じた公共の負担)
 慢性の疾患による様々な不快感
 死亡率の上昇による人的資本の損失 等

(4) 便益及び費用の算定

① 代替案1に基づく便益の算定

持続性咳(せき)痰(たん)による所得の減少額と治療費について、ベースラインと代替案1の差額を算定し、大気汚染防止対策全体の便益を算定した。更に、大気汚染防止対策全体の便益に、HDD と HDR による硫黄排出抑制寄与率を乗じ、それぞれのプラントの年間便益を算定した。

② 代替案2に基づく便益の算定

メキシコシティ首都圏内に位置する発電所(バイエ・デ・メヒコ発電所)における重油から天然ガスへの燃料の転換の費用(設備費、燃料費の削減分)、硫黄排出抑制量あたり費用を算定した。

③ 費用の算定

トゥーラ製油所の HDR、HDD の全生産量に占めるメキシコシティ首都圏への供給比率分のみを計上した。なお、費用としてプラントの建設費と維持管理費を計上した。

④ IRRの算定

上記の方法によって算定された年次別便益、費用に基づき、IRR を算定した。メキシコシティ首都圏に対する効果に限定すれば、HDR、HDD とともに十分な効果を得ているといえる。

HDR プラント整備による IRR は、代替案 1 で 1.31～9.25%、代替案 2 で -2.60% と算定された。また、トゥーラ製油所の HDD 整備による IRR は、代替案 1 で 9.89～24.05%、代替案 2 で 5.87% と算定された。

天然ガスとの代替効果がマイナスということは、メキシコシティ首都圏の火力発電が脱硫重油ではなく天然ガスを利用した方が硫黄抑制の経済効率性が高いことを意味しており、結果としてこれまで重油焚きでなく天然ガス焚きに転換されてきた、ということの意味するものである。発電所については、既に殆ど天然ガスに転換が進んでおり、現在、重油は燃料転換のコスト等の理由で天然ガスへの代替が困難な分野で利用されているので、脱硫重油を全廃して天然ガスに代替する、即ち HDR プロジェクトは必要ないということは意味しない。

表9 IRR算定結果

代替案・ケース			項目	HDR	HDD(Tula)	HDR+HDD
費用			初期投資 (1,000US\$)	139,754	57,279	197,033
			維持管理費 (1,000US\$/年)	6,988	2,864	9,852
便益	代替案1 ケース①*1	最大*3	年間平均便益 (1,000US\$)	37,304	37,131	65,972
			IRR (%)	9.25%	24.05%	13.85%
		最小*4	年間平均便益 (1,000US\$)	16,222	16,147	28,689
			IRR (%)	1.31%	9.89%	4.37%
	代替案1 ケース②*2	最大*3	年間平均便益 (1,000US\$)	38,120	37,917	71,463
			IRR (%)	9.41%	24.14%	13.98%
		最小*4	年間平均便益 (1,000US\$)	16,577	16,489	31,077
			IRR (%)	1.46%	10.00%	4.50%
代替案2		年間平均便益 (1,000US\$)	10,646	10,742	21,388	
		IRR (%)	-2.60%	5.87%	0.76%	

*1 ベースライン SO₂排出量が1999年レベルで固定すると想定

*2 ベースライン SO₂排出量が1990年～1999年のトレンドで減少すると想定

*3 賃金水準、治療費について最大水準を想定

*4 賃金水準、治療費について最小水準を想定

出典: 株式会社三菱総合研究所 作成

なお、前述したように、本事業の完成の数年前にメキシコシティ首都圏における SO₂ 濃度の改善が進んでいるが、サブプロジェクト B(HDD)に関しては以下のような経緯があるので、留意する必要がある。

PEMEX では、低硫黄ディーゼル油(0.05%硫黄含有の「Diesel Sin」)の生産と販売は 1993 年 8 月に開始している。これは、首都圏の SO₂ による大気汚染が危険なレベルにまで悪化したため、1993 年に政府が緊急対策を PEMEX に要請したことによるものである。

この低硫黄ディーゼル油の生産はトゥーラ製油所の既存の精製設備によって行われたものであり、本件とは無関係である。つまり、新たな設備を導入しなくても低硫黄ディーゼル油の生産は可能であったが、次のような問題点があった。

既存の設備は本来高硫黄含有率(0.5%)のディーゼル油を生産するよう設計されていたものであった。そのため、この設備を用いた「Diesel Sin」の生産は非経済的で非効率的であった。つまり、0.05%の硫黄まで硫黄含有率を低下させるためには、厳しい反応条件が求められたため、原料油の投入率の低下、低硫黄含有率の原料油への変更、触媒の再利用のためのプラント停止回数の増加などが生じた。また、低硫黄含有率の原料油を使用することにより、当然低硫黄ディーゼル油の製造は容易になるが、それにより様々な他の石油製品の精製バランスを維持することに困難を生じていた。

本事業の完成後は、PEMEXは「Diesel Sin」を効率的に製造することが可能となり、安定的に供給できるようになっている。

2.4.2 その他のインパクト

PEMEX へのヒヤリングおよび提出されたクローズアップ(完了)報告書などによると、本事業による間接効果として以下の事項が挙げられている。

- ①建設段階での雇用の増加
- ②従来の設備では使用できなかった高硫黄含有率の原料油(重質マヤオイル)が使用可能となった
- ③困難な技術の蓄積
- ④建設段階での地域資源の利用(設備、材料)

2.5(事業の)持続性・自立発展性

2.5.1 維持管理体制について

本事業によって設置された脱硫装置(HDR、HDD)は、PEMEXの各製油所の専門スタッフによって運営維持管理されている。

トゥーラ製油所では、HDR および HDD の運転・保守に関与する従業者は、それぞれ約 310 名、約 20 名で、合わせて約 330 名である。なお、本製油所の全従業者数は 3,000~4,000 人程度である。

サラマンカ製油所では、HDD の運転・保守に関与する従業者は約 30 名である。なお、サラマンカ製油所全体の従業員は約 4,500 名である。

各装置は、立ち上げ段階ではいくつかの技術的トラブルが発生したが、現在はそれも解決し、各装置とも良好に運転されており、運営維持管理体制は問題ないと判断される。

前述したように、HDR、HDD の各設備は、トゥーラおよびサラマンカ製油所の大規模石油精製システムの一部として組み込まれており、HDR、HDD のみを取り出して財務面の検討行うことは適切ではなく、製油所全体もしくは PEMEX 全体の財務面を検証することが適切と思われる。

PEMEX の財務状況を表 10 に示す。PEMEX の年間売上げは 1999 年で約 3,200 億ペソ(約 4 兆 6,000 億円)である。税引き前利益は約 2,070 億ペソ(約 2 兆 9,000 億円)で、6 割以上の利益率であり、これだけを見ると高収益体制である。しかしながら、税引き前利益以上の多大な税金を納入しているために、1999 年においては、経常利益はマイナスになっている。ただし、前年までの過去 10 年以上は、毎年 3 億~22 億ドル(約 400~約 3,000 億円)の経常利益を上げてきていた。なお、メキシコ合衆国の国税収入の内、約 3 割が石油関係の税込、つまり PEMEX が収めている。

表10 PEMEXの財務状況

	1998年		1999年		対前年比	
	百万ペソ	%	百万ペソ	%	百万ペソ	%
資産	383,988	100.0	401,429	100.0	17,441	4.5%
流動	55,393	14.4%	84,076	20.9%	28,683	51.8%
固定	286,821	74.7%	275,551	68.6%	-11,270	-3.9%
その他	41,774	10.9%	41,802	10.4%	28	0.1%
負債	196,079	51.1%	217,169	54.1%	21,090	10.8%
短期	49,802	13.0%	69,117	17.2%	19,315	38.8%
長期	146,277	38.1%	148,052	36.9%	1,775	1.2%
資本	187,909	48.9%	184,260	45.9%	-3,649	-1.9%
資本・負債計	383,988	100.0	401,429	100.0	17,441	4.5%

	1998年		1999年		対前年比	
	百万ペソ	%	百万ペソ	%	百万ペソ	%
収入	249,102	100.0	319,805	100	70,703	28.4%
国内販売	184,781	74.2%	226,136	70.7%	41,355	22.4%
輸出販売	64,321	25.8%	93,669	29.3%	29,348	45.6%
支出	97,969	39.3%	116,639	36.5%	18,670	19.1%
販売費用	73,125	29.4%	81,647	25.5%	8,522	11.7%
流通費用	7,469	3.0%	8,040	2.5%	571	7.6%
管理支出	5,403	2.2%	5,263	1.6%	-140	-2.6%
法人サービス費	7,532	3.0%	7,851	2.5%	319	4.2%
労働準備金	4,440	1.8%	13,838	4.3%	9,398	211.7%
営業利益	151,133	60.7%	203,166	63.5%	52,033	34.4%
財務費	2,711	1.1%	4,278	1.3%	1,567	57.8%
為替差益	-827	-0.3%	-3,367	-1.1%	-2,540	307.1%
その他支出	-4,945	-2.0%	-4,410	-1.4%	535	-10.8%
税引前利益	154,194	61.9%	206,665	64.6%	52,471	34.0%
生産・サービス税	65,854	26.4%	88,349	27.6%	22,495	34.2%
炭化水素税	84,194	33.8%	117,940	36.9%	33,746	40.1%
その他の税	1,497	0.6%	1,813	0.6%	316	21.1%
経常利益	2,649	1.1%	-1,437	-0.4%	-4,086	-154.2%

(PEMEX) 資料より

つまり、PEMEXはメキシコ唯一の石油精製を行う機関として、過去数10年にわたり製油所の運営を行ってきており、財務面でも将来的にも問題はないと思われる。

2.5.2 製品の需要先について

本事業に関連する製品である低硫黄重油および低硫黄ディーゼル油の消費量が、今後メキシコシティ首都圏内で増加する可能性は少ないといえる。したがって、今後はメキシコシティ首都圏の周辺地域を始めとする他地域での消費が中心になっていくものと思われる。

なお、現在サブプロジェクトA(HDR)における低硫黄重油の最大の需要先であるトゥーラ発電所では、全面的に天然ガスに転換することが検討されている。そうなった場合には、低硫黄重油の首都圏周辺における受入先が無くなるという可能性がある。ただし、よりクリーンなエネルギーに転換されることとなるため、環境面からみれば望ましいことといえる。

3. 教訓

本件に関して言えば、工期の遅延が発生したものの、サブプロジェクト A,B の脱硫プラントは計画通りに設置され、現在は順調に稼働している。その意味では本件は間違いなく成功した事業と言える。また、本件によって燃料に含まれる硫黄分が大幅に削減され、硫酸化物排出量の削減に大きく寄与したことも明らかである。

ただし、当初は本件によって製造された低硫黄重油やディーゼル油をメキシコシティ首都圏に供給することとなっていたにもかかわらず、火力発電所の天然ガスへの転換などにより首都圏内の消費量が少なくなり、製品が他地域にある程度供給されることとなったため、SO₂の削減がメキシコシティ首都圏を含む広域に及ぶこととなった。

これは、本事業の立案時に別途検討されていた天然ガスへの転換事業が不透明であったことに起因するものであり、こうした不確実要素の取扱いが重要と考えられる。本件に関しては、事前に天然ガスへの転換という状況変化の可能性が考えられていたことから、計画立案時に状況の変化があった場合の修正計画や協議方法についての検討を行っておく必要があったのではないかと考えられる。

本件のように国家レベルの大規模な環境政策の一部として実施される事業については、その政策の変更との整合性について見直しを重ね、また、被援助国の政策と援助案件を最適に組み合わせることによって大きな効果が生まれるような工夫をしていくことが必要といえる。また、見直しにあたっては、JBIC と対象国の実施機関や政府との緊密な対話・情報交換を行うことが重要といえる。本件については、メキシコ政府によるメキシコ首都圏での天然ガス転換事業の推進により、本件にて製造された低硫黄重油やディーゼル油がメキシコ首都圏以外にも供給されることとなったが、その段階で政策対話を通じて、変更された政策との整合性のチェックや本件の位置付けの見直しなど、もっと積極的な対応が行われてもよかったのではないかと考えられる。