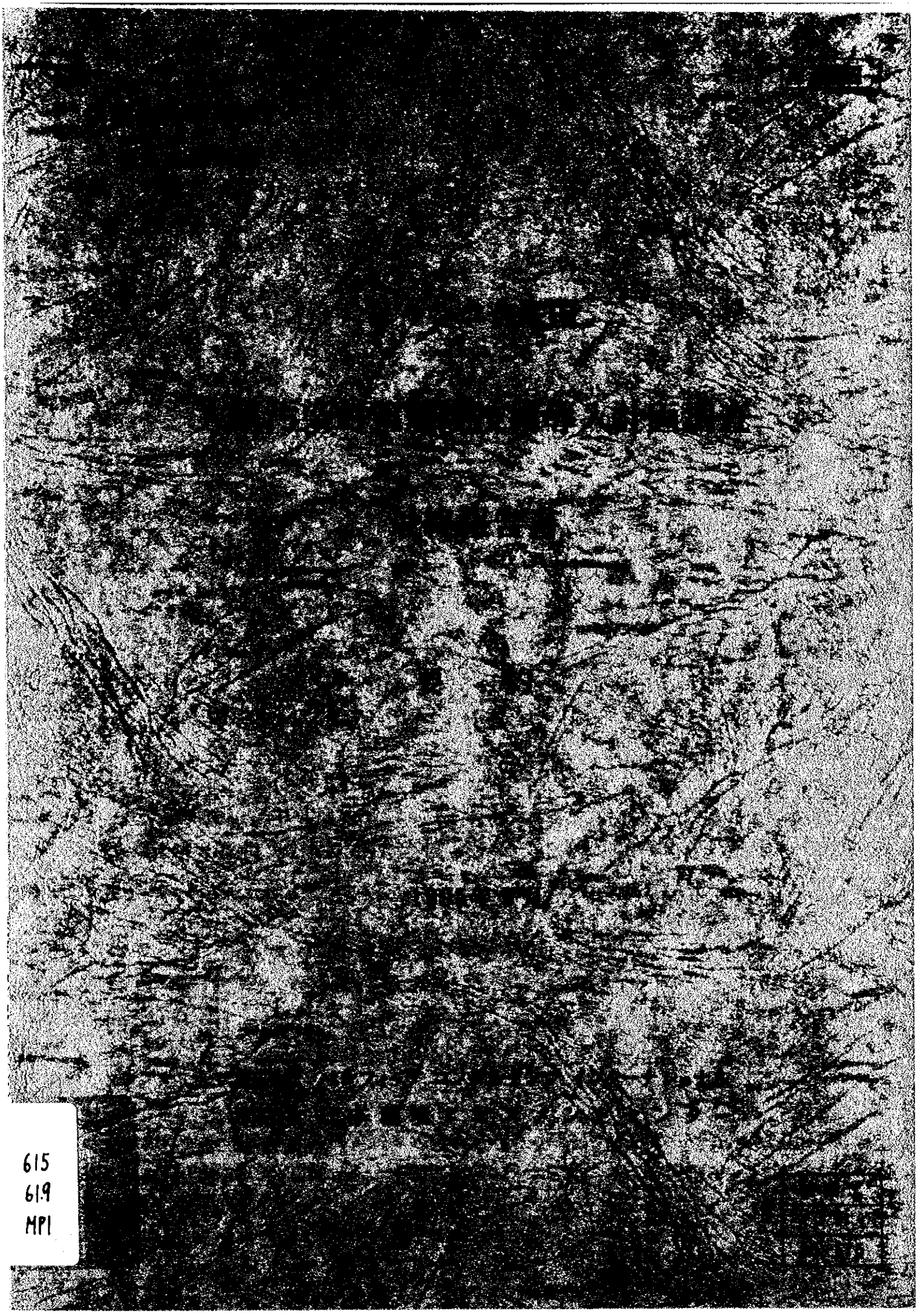


国際協力事業団

メキシコ合衆国
環　境　庁

# メキシコ合衆国

# 大気汚染対策燃焼技術導入計画調査

# 最終報告書

## 要　約

1995年9月

株式会社　パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
株式会社　日本環境アセスメントセンター

本報告書においては、プロジェクトのコストは1995年７月価格で表示し、
１US＄＝N＄6.00(＝¥90)の通貨換算率を用いた。

# 序　文

日本国政府は、メキシコ合衆国政府の要請に基づき、同国メキシコ首都圏における大気汚染固定発生源対策のための燃焼技術導入について開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成５年６月から平成７年８月までの間、５回にわたり、（株）パシフィックコンサルタンツインターナショナルの内田　顕氏を団長とし、同社及び（株）日本環境アセスメントセンターの団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、メキシコ合衆国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終りに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成７年９月

藤田公郎

国際協力事業団

総裁　藤田　公郎

メキシコ合衆国大気汚染対策燃焼技術導入計画調査

# 伝　達　状

1995年9月

国際協力事業団
　総裁　藤田　公郎　殿

拝啓

メキシコ合衆国大気汚染対策燃焼技術導入計画調査の最終報告書を提出いたします。本報告書は、1993年6月8日、1994年5月23日、および1995年5月8日に国際協力事業団と株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルとの間で締結された契約に従って作成されました。

本報告書には、メキシコ市首都圏における大気汚染と固定発生源に関する現状分析と燃焼試験プラントにおける燃焼試験、およびこれらを踏まえた同地域のための大気汚染対策燃焼技術導入計画の調査結果が記載されています。

本報告書は、英文および和文の要約報告書および主報告書、英文のデータ集、および英文および西文の試験プラント運転・維持管理マニュアルに分冊されています。要約報告書は調査全体を簡潔明瞭にまとめ、主報告書には、背景条件の分析、固定発生源の状況の評価、燃焼試験の結果と解析、燃焼技術改善に関わる技術的提案とその普及のための制度強化の提案を含む全ての調査結果が記載されています。詳細データはデータ集に、また本調査により現地に設置した燃焼試験プラントの運転・管理方法は同マニュアルに記載されています。

本報告書の提出にあたり、全調査期間に亘り多大な御支援を賜った貴事業団、通商産業省、外務省、在メキシコ日本国大使館の諸賢ならびにメキシコ国政府諸機関の関係各位に対し心から感謝の意を表するとともに、本調査の成果がメキシコ市首都圏の大気質の改善と社会の発展の一助となることを希望する次第であります。

敬　具

内田　顕

調査団長
内田　顕

# 略 語 表

## 行政区域

| | | |
|---|---|---|
| DF | : | Distrito Federal （首都連邦区） |
| EDOMEX | : | EM |
| EM | : | Estado de Mexico （メキシコ州） |
| MCEM | : | Municipios Conurbados del Estado de Mexico （メキシコ州のZMCM 内の17市） |
| ZMCM | : | Zona Metropolitana de la Ciudad de Mexico （メキシコ市首都圏 = DF + MCEM) |

## 組織名

| | | |
|---|---|---|
| CENAM | : | Centro Nacional de Metrología （国家計量センター） |
| CFE | : | Comision Federal de Electricidad （連邦電力委員会） |
| CONAE | : | Comision Nacional para Ahorro de Energia （国家省エネルギー委員会） |
| DDF | : | Departamento del Distrito Federal （首都連邦区庁） |
| GEM | : | Gobierno del Estado de Mexico （メキシコ州政府） |
| IIE | : | Instituto de Investigaciones Electricas （メキシコ電力研究所） |
| IMP | : | Instituto Mexicano del Petroleo （メキシコ石油研究所） |
| INE | : | Instituto Nacional de Ecologia （環境庁） |
| JICA | : | Japan International Cooperation Agency （国際協力事業団） |
| METROCOM | : | Comision Metropolitana para la Prevencion y Control de la Contaminacion Ambiental en el Valle de Mexico （首都圏環境汚染防止管理委員会） |
| NIST | : | National Institute of Standards and Technology（米国国家計量技術研究所） |
| PEMEX | : | Petroleos Mexicanos （メキシコ石油公社） |
| PROFECO | : | Procuraduría Federal de Consumidor（連邦消費者検察庁） |
| PROFEPA | : | Procuraduria Federal de Proteccion al Ambiente （環境保護検察庁） |
| SE | : | Secretaría de Energía（エネルギー省） |
| SECOFI | : | Secretaría de Comercio y Fomento Industrial （商業・工業振興省） |
| SECT | : | Secretaría de Comunicaciones y Transportes （通信・運輸省） |
| SEDESOL | : | Secretaría de Desarrollo Social （社会開発省） |
| SEG | : | Secretaría de Gobernacion （内務省） |
| SEMARNAP | : | Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca（環境・天然資源・漁業省） |
| SEMIP | : | Secretaría de Energia, Minas e Industria Paraestatal （エネルギー・鉱山・国営企業省 |
| SEP | : | Secretaría de Educacion Publica （教育省） |
| SES | : | Secretaría de Salud （保健省） |
| SHCP | : | Secretaría de Hacienda y Credito Publico （財務・公債省） |

SINALP : Sistema Nacional de Acreditacion de Laboratorios Pruebas （実験室認可制度）
SPP : Secretaría de Programacion y Presupuesto （企画・予算省）
STPS : Secretaría de Trabajo y Prevision Social （労働省）

技術関係

EGR : Exhaust gas recirculation (排ガス再循環)
FBC : Fluidized bed combustion （流動床燃焼）
$NO_2$ : Nirogen dioxide (二酸化窒素)
NOM : Norma Oficial Mexicana（メキシコ公式基準）
NOx : Nitrogen oxides （窒素酸化物）
PM : Particulate matter (粒子状物質)
PM10 : Suspended particulate matter of diameters less than 10 micrometers (粒径１０ミクロン以下の浮遊粒子状物質)
$SO_2$ : Sulfur dioxide (二酸化硫黄)
SOx : Sulfur oxides (硫黄酸化物)
TSP : Total suspended particulates (全浮遊粒子)
PICCA : Programa Integral Contra la Contaminacion Atmosferica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mexico （メキシコ市首都圏大気汚染対策総合プログラム、METROCOM, １９９０年１０月）
IMECA : Indice Metropolitana de la Calidad del Aire （首都大気質指数）

# メキシコ合衆国大気汚染対策燃焼技術導入計画調査
# 最終報告書

## 要　約

## 目　次

# 第1章　はじめに

メキシコ市首都圏（ZMCM）は首都連邦区（DF）の全16区およびメキシコ州の17市（通常MCEMと呼ばれる）より成っている。ZMCMは人口約 1,500万人、面積約 3,600 $km^2$ で世界で有数の巨大都市圏である。ZMCM では、急速なモータリゼーションおよび工業化と平行して大気汚染問題が起こってきたが、1970年代半ばには非常に深刻な状態に至った。汚染物質排出量の大きさに加え、地理、地形および気象におけるZMCMの特殊な条件も大気汚染に大きな影響を及ぼしている。

1980年代始めになって、メキシコ政府は環境汚染の改善についてより多くの努力を払うようになり、日本国政府も国際協力事業団（JICA）による技術協力を含め、可能な方法により大気汚染問題の緩和に向けて支援を行ってきた。メキシコ政府が実施してきた対策により、ZMCMの二酸化硫黄（$SO_2$）による大気汚染は現在までに相当程度改善されたが、光化学スモッグの問題はまだ未解決であり、従って窒素酸化物（NOx）の排出の低減が重要課題として残されている。

本調査は、以上の背景のもとにJICAが、メキシコ国環境庁（INE）およびメキシコ石油研究所（IMP）を含むメキシコ側カウンターパートの諸機関と共同で実施したものであり、その目的は以下のとおりである。

（1）ZMCMの固定発生源からのNOxおよびばいじんの排出を削減するために、適切な燃焼技術・方法を提案する。

（2）上記技術を試験プラントにおける燃焼試験を通じてメキシコ側カウンターパートに移転する。

調査対象地域は図1.1に示すメキシコ市首都圏（ZMCM）である。なお、本調査における燃焼試験は、メキシコ石油研究所（IMP）のパチューカ市（イダルゴ州）にある試験場の棟内に設置した燃焼試験プラントで実施した。

1993年3月の調査実施細則（S/W）の合意に続き、本格調査は1994年6月より開始された。その概略工程は表１.１に示すとおりである。

本調査の最終報告書の構成は以下のとおりである。

1）本編（英文および和文）
2）要約（英文および和文）
3）データ・ブック（英文）
4）燃焼試験プラント運転・維持管理マニュアル（英文および西文）

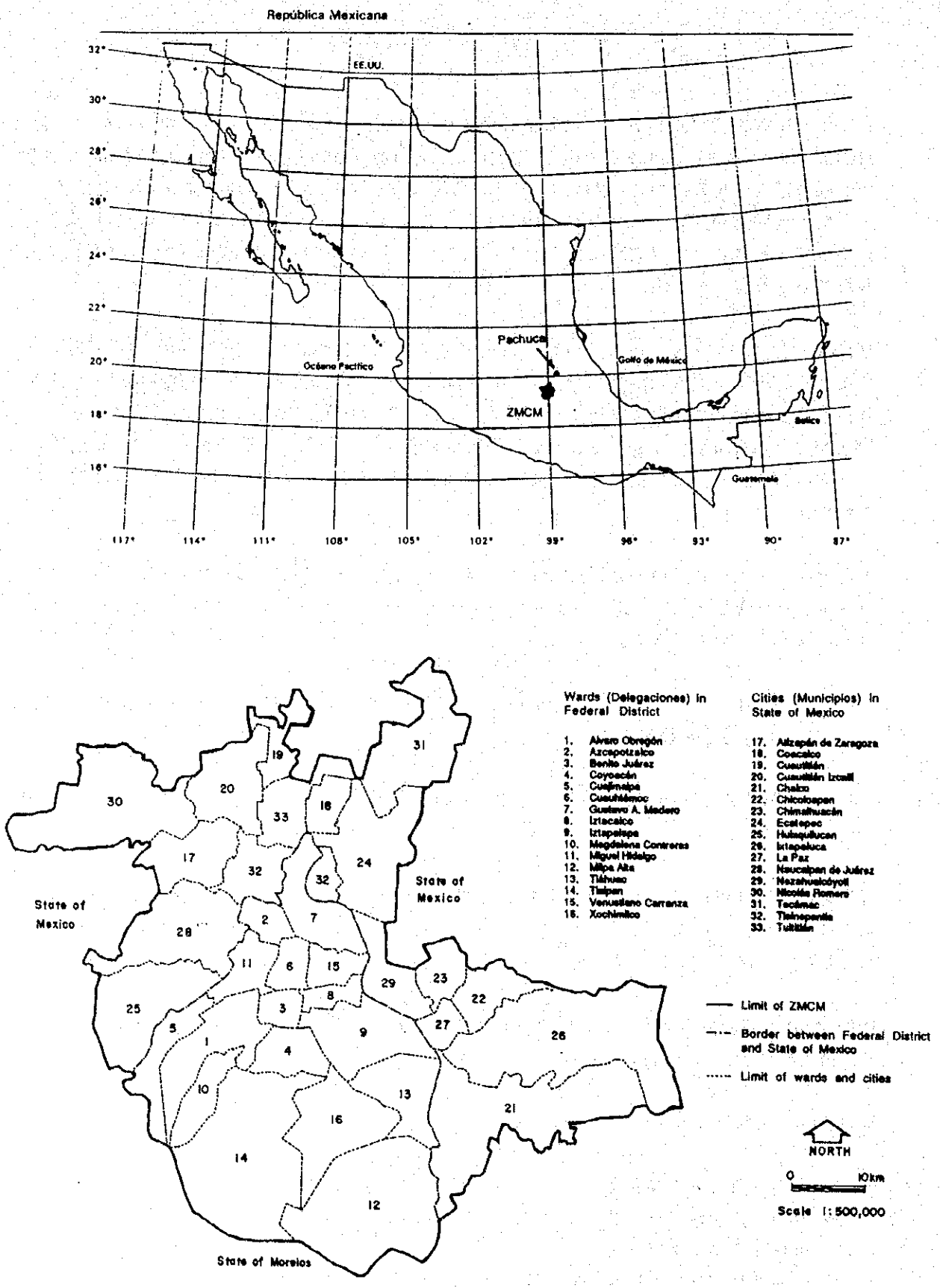
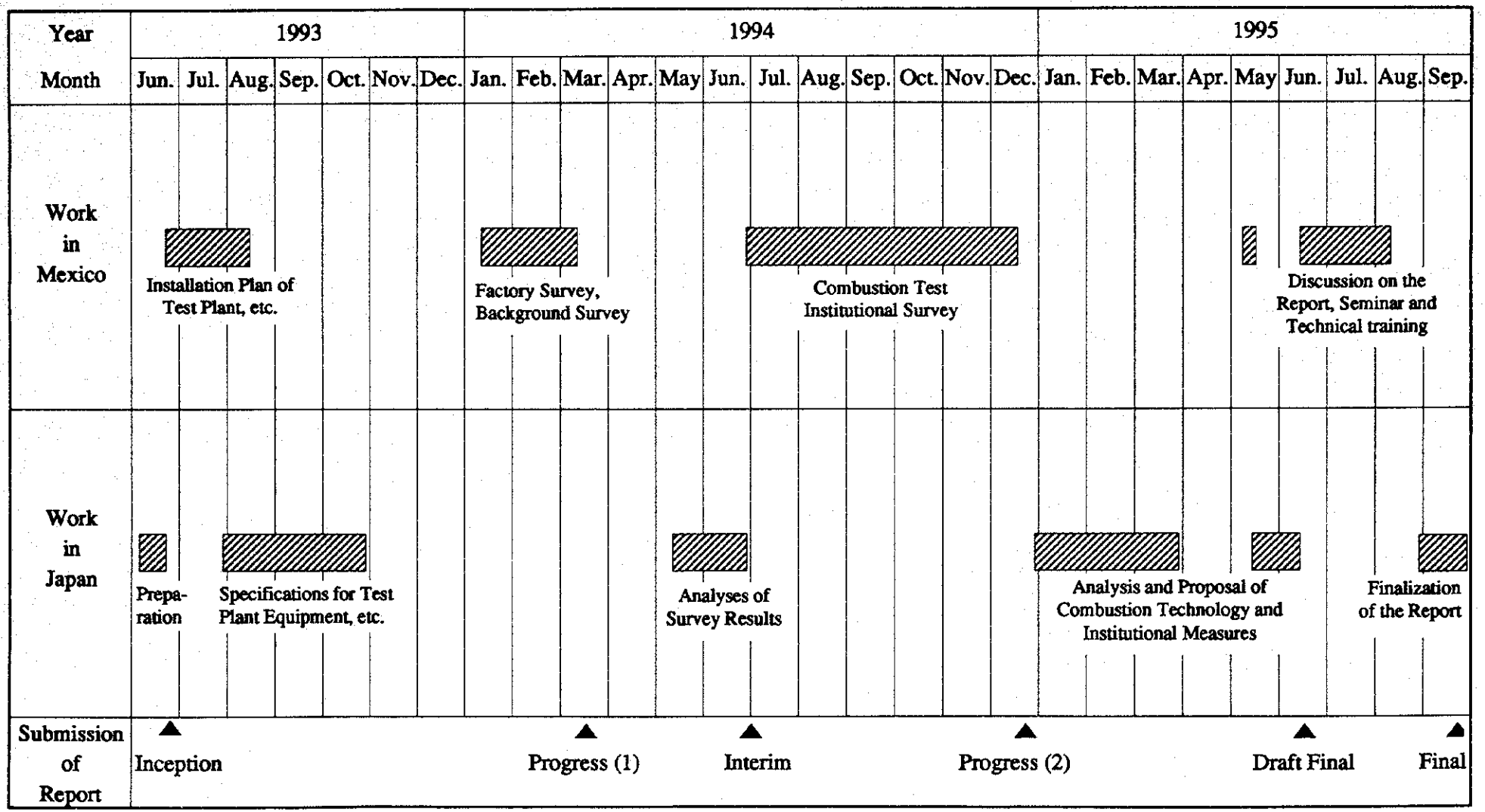



図1.1 調査対象地域（ZMCM）

表1.1　調査工程


Year
1993
1994
1995
Month
Jun. Jul. Aug. Sep. Oct. Nov. Dec. Jan. Feb. Mar. Apr. May Jun. Jul. Aug. Sep. Oct. Nov. Dec. Jan. Feb. Mar. Apr. May Jun. Jul. Aug. Sep.
Work in Mexico
Installation Plan of Test Plant, etc.
Factory Survey, Background Survey
Combustion Test Institutional Survey
Discussion on the Report, Seminar and Technical training
Work in Japan
Prepa-ration
Specifications for Test Plant Equipment, etc.
Analyses of Survey Results
Analysis and Proposal of Combustion Technology and Institutional Measures
Finalization of the Report
Submission of Report
Inception
Progress (1)
Interim
Progress (2)
Draft Final
Final

# 第２章　メキシコ市首都圏の大気汚染の概要と背景

## ２.１　　社会・経済状況

メキシコ市首都圏（ZMCM）の 1990 年の人口は約 1,500 万人であり、うち約 820 万人が首都連邦区（DF）に、約 680 万人がメキシコ州の17市（MCEM）に住んでいる。ZMCMの人口は、メキシコ合衆国の全人口約 8,100 万人の 18.5 % を占める。1980 年からの 10 年間に ZMCM の人口は 20 % 増加した。そのうち、 DF 内の人口増加が 2.6 % であったのに対し、MCEM 内では 52 % とめざましい増加であった。

製造部門のGDPにおけるZMCMの対全国シェアは、1980年の31%から1988 年までに 27% に落ちたといわれている。ZMCMにおける製造部門の主要な業種は、食料・飲料、機械、織物・衣料、パルプ・紙などである。

## ２.２　　エネルギー事情

### (1) 環境保護に係るエネルギー政策

メキシコ政府は首都圏の大気環境の保護のため、メキシコ市首都圏大気汚染対策総合プログラム（PICCA, 1990年10月）の基本政策より導かれた種々の対策を実施してきた。

まず、重油は硫黄含有が高いため1991年12月にZMCMへの供給を停止した。重油に代えて、大規模にエネルギーを消費するプラントには天然ガス、小規模なエネルギー消費施設にはガスオイルまたは軽油が供給されるようになった。軽油の硫黄含有率は直接脱硫法によって0.05%以下に削減された。

公共交通部門においては、1980年から1990年の間に生産されたトラックの燃料をガスに変更することが推奨され、すでに18,000台が変更済である。

1993年月12月、メキシコ政府は海外経済協力基金（OECF）の融資による重油脱硫プロジェクトの進展に基づき、ZMCMへのエネルギー供給計画を更新した。新供給計画は現在使われているガスオイルの代わりに1998年より水素化脱硫重油（H-oil）を供給することを提案している。

### (2) エネルギーの消費

1992年における国内でのエネルギーの最終消費量は、645百万BOE（バレル原油当量：970ペタカロリー）であった。この量は国内総供給量の73%、一次エネルギー総生産量の46%に当たる。ZMCMにおける1993年4月から1994年3月までの１年間の総燃料消費量は、210百万BOE（320ペタカロリー）であった。

大気汚染物質の固定排出源は、工業および住宅・商業・公共ユティリティより成る。これら全体で最終消費用の全エネルギー供給量の約半分を消費している。ZMCM 内の工業部門における1992年8月から1993年9月までの期間の日平均燃料消費量はガソ

リン換算で11.29百万リッターであった。その燃料種類別比率は以下のとおりである。

| | |
|---|---|
| 天然ガス | 55.6% |
| LPG | 26.9% |
| ガスオイル | 12.8% |
| ディーゼル油 | 4.7% |

## 2.3 大気汚染の現況

### (1) 大気質の環境基準

メキシコの大気質環境基準を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 メキシコの大気質環境基準

| 汚染物質 | 平均化時間 (hr) | 濃度 |
|---|---|---|
| 二酸化硫黄 (SO2) | 24 | 0.13 ppm |
| 二酸化窒素 (NO2) | 1 | 0.21 ppm |
| 総浮遊粒子状物質 (TSP) | 24 | 275 $\mu g/m^3$ |
| 一酸化炭素 (CO) | 8 | 13 ppm |
| オゾン (O3) | 1 | 0.11 ppm |

メキシコでは、一般市民が大気汚染の程度を理解するための便宜として IMECA と呼ばれる指標が使われている。個々の汚染物質の大気中濃度を IMECA に変換するのは次ぎのような方法による。

a. 表 2.3.1 に示した大気質環境基準値を IMECA 100 とし、一方濃度ゼロを IMECA ゼロ とする。
b. 全ての人に危険をもたらす恐れのある下限の濃度を IMECA 500 とする。
c. 現実の濃度は、上記の 3 点を直線補間して IMECA 指数に換算する。

### (2) ZMCM における大気質の傾向

メキシコ市首都圏における $O_3$、$SO_2$、CO および $NO_2$ 濃度の 1991 年以来の月最大値を、IMECA 指数で表わしたものが図 2.3.1 である。

1992 年にセメント工場を除いて首都圏の工場への重油の供給が停止されて天然ガスとガスオイルとに切り替えられ、新型車への触媒コンバータの強制的な取り付けが開始された。これらの対策実施は効果があったようである。CO と $SO_2$ の月最大 IMECA 指数は、明らかに低下している。その値は 1993 年以降おおよそ 50 のレベルにある。しかし、$O_3$ については目立った改善は見られず、1993 年以降おおよそ 250 のレベルを上下している。$NO_2$ もまた改善されておらず、IMECA 指数 100 のあたりを上下している。

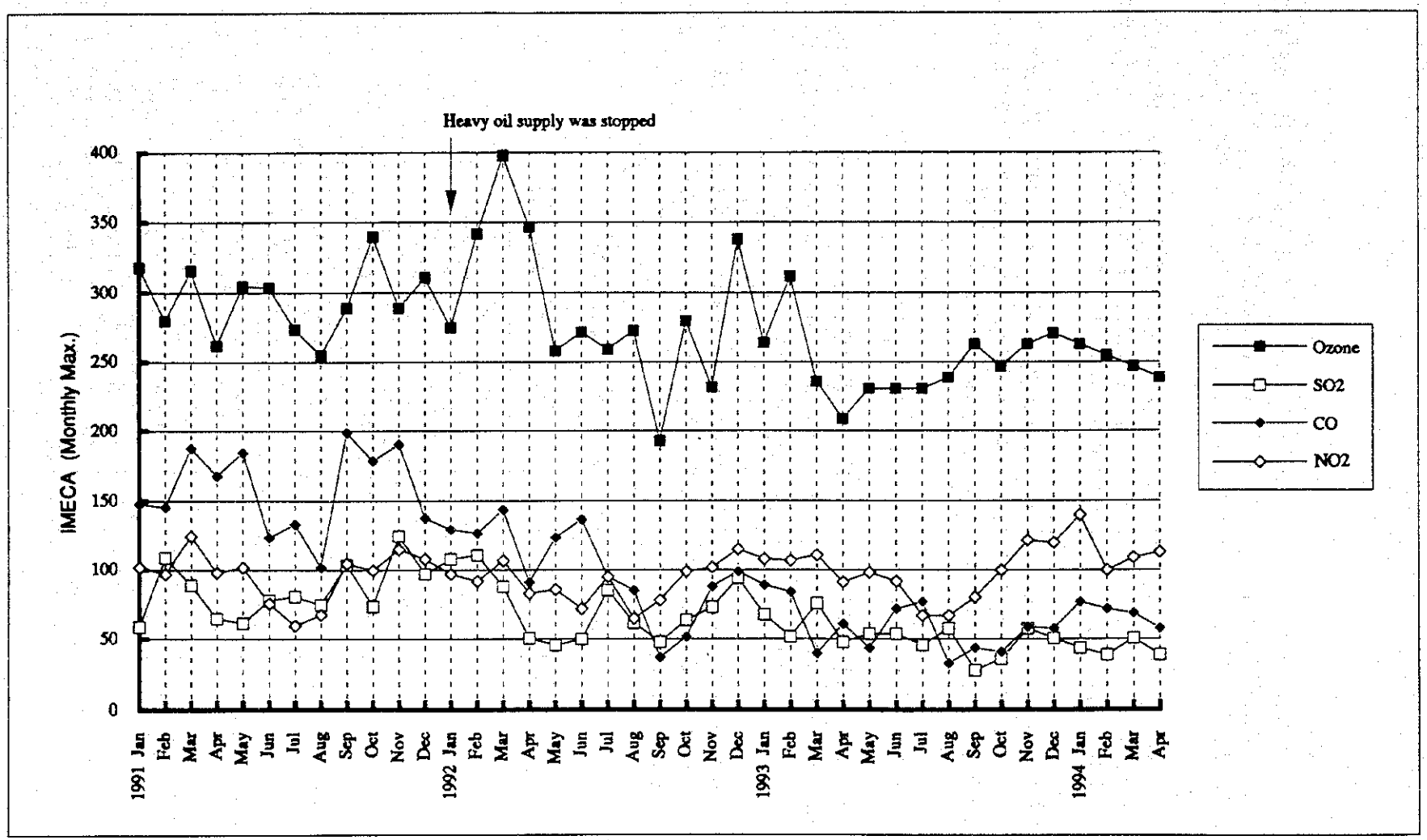



図 2.3.1 IMECA によるZMCMの大気質の推移（出典：文献 C2, C6）

## 2.4　大気質保全に係る制度的枠組み

### (1) 政府の組織

ZMCM における大気汚染問題を解決するために、「首都圏環境汚染防止管理委員会（METROCOM と略称）」と呼ばれる特別の委員会を組織した。この委員会は、首都連邦区庁、メキシコ州政府を含む１３政府機関の代表によって構成されている。

委員会は 1990年10月、メキシコ市首都圏大気汚染対策総合プログラム（略称 PICCA）を策定、発表した。恒久対策、暫定対策および季節対策からなる PICCA は、現在も中央政府、州政府および市政府により実施の途上にある。

全国的な環境保全に関しては、INE が筆頭の責任機関である。INEの環境基準化総局は、本調査のメキシコ側運営委員会の中心である。PROFEPA は、環境監視および関連規制に違反して環境条件を損なう行為の取締りを任務とする。

### (2) 固定発生源の排出基準

ボイラー等の燃焼施設に対する新しい汚染物質排出基準が 1994 年 12 月 2 日付で告示され、その翌日から施行された。 1993 年 11 月 18 日に告示された旧来の排出基準は、廃止されて新しい基準に置き換えられた。

ZMCM におけるボイラーに対するNOx排出基準改定の内容は表2.4.1に要約される。基準値は一旦緩められるが、最終的にはボイラー容量に応じて旧基準以上に 強化されるものがある。

表 2.4.1　ZMCM内のボイラーのNOx排出基準

| ボイラ容量 (MJ/hr) | 燃料種別 | 濃度（体積 ppm） | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 旧基準 | 1997年12月まで | 1998年1月から |
| 5,250以下 | 重油・ガスオイル | 適用せず | 適用せず | 適用せず |
| | 他の液体 | 適用せず | 適用せず | 適用せず |
| | ガス | 適用せず | 適用せず | 適用せず |
| 5,251～43,000 | 液体 | 150 | 220 | 190 |
| | ガス | 130 | 220 | 190 |
| 43,001～110,000 | 液体 | 140 | 180 | 110 |
| | ガス | 120 | 180 | 110 |
| 110,000超 | 固体 | 適用せず | 160 | 110 |
| | 液体 | 130 | 160 | 110 |
| | ガス | 100 | 160 | 110 |

出典：文献 B3, B6

## 2.5　大気汚染物質発生源の概要

ZMCM における固定発生源からの大気汚染物質の年間排出量は、文献によれば1989年時点で NOx の24%、SOxの78%、粒子状物質の65%を占めていた。この数値によれば、固定発生源は依然として SO2、粒子状物質および NOx の目立った発生源である。

ZMCM の製造業の数は 1988 年において約 3 万であり、そのうち約 2 万 2 千（72 %）は DF 内にあり、約 8 千（28 %）は MCEM 内にあった。企業の大きさ 4 階級別の内訳を表 2.5.1 に示す。

表 2.5.1　ZMCM における規模別製造業者数（1988）

| 規模種別 | 企業数 | | | 比 |
|---|---|---|---|---|
| | DF | MCEM | ZMCM計 | (%) |
| 大 | 326 | 405 | 731 | 2.4 |
| 中 | 553 | 249 | 802 | 2.7 |
| 小 | 4,741 | 1,253 | 5,994 | 19.9 |
| 零細 | 16,204 | 6,391 | 22,595 | 75.0 |
| 計 | 21,824 | 8,298 | 30,122 | 100.0 |

注　：企業規模は、従業員数によって次ぎのように分類される
　　大：　251 人以上　　中：　101 ～ 250 人
　　小：　16 ～ 100 人　　零細：　15 人以下
出典：文献 A2

## 2.6　固定発生源の監視状況

### (1) 公的監視の結果

「メキシコ盆地工業監査プログラム」が 1992 年 7 月に開始された。このプログラムは、ZMCM 内のすべての工業による大気汚染物質排出の計測を年一回行い、その結果を INE へ強制的に報告させるものである。このプログラムの第一歩は、INE へのレポートの提出であり、第二段階として PROFEPA が工場の監査を行う。監査は、提出された汚染物質排出の一覧表が規定の書式を満たしているか、また報告されたデータが真実であるかを確認する。重要な違反が判明した場合、企業は部分的または全面的な操業の一時停止を命じられる。

1992 年 8 月から 1993 年 7 月までのあいだに PROFEPA は、工場監査プログラムのもとで 8,363 件の有効な監査を実施した。この企業数は、メキシコ市首都圏企業総数の 28 % に過ぎないが、大中規模の企業で監査を受けたものは各々 836 社、1,004 社あって、メキシコ市首都圏の汚染物質固定発生源の大半がカバーされている。

上記の監査の結果、542 社（6 %）が重要な違反に対して操業停止を命ぜられ、6,598 社（79 %）が軽度の違反と認められ技術的助言を与えられた。問題無しと認められた企業は 1,088 社（13 %）に過ぎなかった。

(2) 計測サービス会社の能力

メキシコ市首都圏にあるすべての製造企業は、大気汚染物質排出の計測とその結果の INE への報告義務がある。たいていの中小企業は計測器や資格のある計測担当者を持たないため、排出の計測は通常計測サービス会社に委託される。

この業務に従事する計測会社は、INE に登録することが求められる。しかし、登録された計測会社の中にも権威づけられた計測器をもたず、また、校正用の標準ガスを持たない会社がかなりある。ある工場が誤った計測によって、排出基準に違反していると間違って認定される事態が時々生ずる。計測会社、計器、標準ガスに適用される監査と資格証明の制度および計測技術者の資格証明制度等の早急な立法化が望まれる所以である。

## 2.7 燃焼管理のための能力開発

(1) 燃焼設備オペレータの現行免許制度

燃焼設備の運転に関与する者について、法的には蒸気発生器および高圧容器の検査規則によって、ボイラーについてのみ「施設長」、「オペレータ」、「火夫」が指定されている。労働省は、蒸気発生器および高圧容器の生産、修理、運転を監視する権限をもつ。特定の規模と設置場所に該当するボイラーは、規則に定められた資格者によって運転されなければならない。

(2) 任意のオペレータ能力開発

法の要請を満たす以外に、オペレータの任意の能力開発が様々な機関によって実施されている。CONAE すなわち国家エネルギー委員会は、燃焼設備の運転におけるエネルギー節約の推進のための講習コースを提起している。

この講習コースのほかに CONAE は、より長期の技術者再教育コースやメキシコ自治大学の協力によるコンサルタント技術者のためのエネルギー効率評価コースを開いている。

# 第３章 メキシコ市首都圏の固定発生源の状況

## ３．１　調査方法

### (1) アンケートによる工場の概略調査

前回のJICAによる固定発生源対策調査（1990－1991年）で調査した工場を主たる対象として、今回も調査を実施した。1993年９月末までの回答期限内に、４７の工場が全部で１４３の燃焼設備に関して有効な回答を提出した。

### (2) 工場の診断調査

アンケートに応じた４７工場中２５工場で診断調査を行った。このうち、１３工場の燃焼施設に対して、煙道ガスの測定を行った。診断調査対象工場の使用燃料及び設備による分類は下記のとおりである。

1）２５工場の使用燃料による分類

| | |
|---|---|
| ガスオイル | ９工場 |
| 軽油 | ４工場 |
| 天然ガス | １２工場 |

2）２５工場の燃焼機器による分類

| | |
|---|---|
| 水管ボイラー | １５工場 |
| 煙管ボイラー | ７工場 |
| ガラス溶融タンク窯 | １工場 |
| ロータリーキルン | １工場 |
| 反射炉 | １工場 |

燃焼施設の診断調査の目的は以下のとおりである。

a．前回のJICA調査の結果との比較（設備の全体的または部分的改善、燃料、燃焼管理装置）

b．前回のJICA調査後に強化されたNOx排出基準との比較

c．燃焼効率の測定とその評価

d．低酸素燃焼の現状とその評価

### (3) 商業・サービス用ボイラーの診断調査

工場の概略及び診断調査に加え、商業・サービス施設におけるボイラの現地調査を行った。調査施設は、病院２件、ホテル、製薬工場、スポーツセンタ各１件であった。

## 3.2　結果のまとめおよび考察

### (1) 燃焼設備の現状

#### 1) 燃焼管理装置の設備状況

ボイラーの安全および低NOx運転に必要な燃焼管理装置普及状況を４２社９４施設についてサンプリング調査した。調査対象には軽油ボイラー１１基、ガスボイラー５０基、ガスオイルボイラー３３基を含んでいる。これらの企業は、大中規模工場及び大規模非製造業を代表している。燃焼管理装置の設置状況は、主としてアンケート調査結果によって把握した。

a．水面計、低水位遮断装置、自動給水装置

これらの装置は燃焼室及び煙道の過熱を避けるために取り付けられ、一体となってボイラー内の水位を安全な水準に保つ。

これらの装置は調査した94施設中、89％以上に設置されていた。この設置比率はかなりよい水準であるが、ガスオイルボイラーに限ると、相対的に低い79％という設置比率であった。ガスオイルボイラーに対する低NOx運転の必要性は、ガスボイラーに比べてより切実なので早急に改善する必要がある。

b．蒸気圧計

ほとんどすべての調査対象施設に設置されていた。

c．給水流量計、油流量計、ガス流量計

これらの流量計は、単位時間あたりの給水量と燃料消費量を同時に計測することにより、ボイラー効率を知るために不可欠である。油ボイラーへの給水流量計の設置比率は不十分であり、とくに軽油ボイラーには全く設置されていなかった。給油流量計も設置比率が低い。ガスボイラーはいずれの計器も設置比率が84％以上であった。

d．火炎検出器、遮断弁ユニット

火炎検出器は、正常燃焼による火炎の存在を検出するものであり、これが火炎を検出できないときには、燃料遮断弁ユニットに信号を送って燃焼を直ちに停止する。火炎が存在しないあいだに燃焼室に燃料を送り続けると、次回の点火時に爆発の可能性があるので、この機能は安全運転にとって致命的に重要である。これらの設置比率は,平均してそれぞれ85％及び88％であった。

e．空気圧力センサ、調整器後圧力計、油圧力計、ガス圧力計（調整器後及びバーナ吸入部）

上記の各種装置の設置比率は、各々61％,74％,77％,98％,98％であった。油ボイラー

用の空気圧力センサ及び調整器後圧力計の普及率は目立って低く、中でも軽油ボイラーは最悪で、空気圧力センサの設置比率が 27 %、調整器後圧力計の設置比率が 36 % であった。これに比べて油圧力計、ガス圧力計の設置比率は相対的に高かった。

f．油温度計

油温度計の設置比率は平均して 50 % とまだ低い状態にあった。

g．霧化蒸気圧力計

霧化蒸気圧力計の設置比率は平均して 61 % と依然として低かった。

h．ガス圧力限界スイッチ

この装置は、ガス圧力検出器として機能するとともに、ガス圧力が下限を下回ったり上限を上回ったりした場合には、遮断弁ユニットに信号を送る。ガス圧力限界スイッチの設置比率は 86 % に達していたが、その切実な機能の故に一層の普及が依然として期待される。

2) メキシコ市首都圏におけるボイラーの年齢

メキシコ市首都圏のボイラーは概して高齢であり、アンケート調査結果による平均年齢は20年であった。最多年齢階級は 20年から 30年（1964年から 1973年に建造）のもので全体の 35 % を占めていた。

3) 排出制御と省エネルギーにおける改善

NOx排出削減と省エネルギーの観点から前回のJICA調査時の状況と比べた場合、現在の状況は、以下のとおりである。

| | |
|---|---|
| 1) 何ら改善をしていない | 1 工場 |
| 2) 燃料供給側が燃料を変更したことによる改善 | 17 工場 |
| 3) プラント側主導の細かい燃焼制御による改善 | 5 工場 |
| 4) 低NOxバーナ及びEGRなどの制御機器の自発的な設置による改善 | 16 工場 |
| 5) 制御機器を設置したがほとんど改善が見られない | 1 工場 |
| 6) 低NOxバーナ及びEGRなどの制御機器を現在オーダーしている | 2 工場 |
| 7) 省エネルギー機器を既に設置しているか、現在オーダーしている | 4 工場 |

(2) 燃焼設備の運転条件

1) 燃焼状態

メキシコ市首都圏における固定発生源の燃焼状態は、端的にいって低負荷過剰空気条件にあることが観察された。1994 年の冬季に調査団の調べたところでは、半数のボ

イラーが定格容量の 60 % 以下で運転していた。

燃焼設備の低負荷運転が大気汚染の低減に寄与することは確かであるが、同時に設備の運転効率は下り、少なからぬ経済的損失を生じている。CONAEによれば、メキシコのボイラーの平均的な効率はおよそ 60 % である。ちなみに日本では、メーカーによって通常 86 % が保証され、所有者はこれをさらに向上させようと努力している。

各種設備の運転時の平均酸素濃度は 5.0 % 以上であり、その内ガス燃焼の設備では最大の14 % であった。ボイラー以外の炉の排ガスは、燃焼排気のみならず加工材料の周囲の空気をも含む傾向にあるので、ボイラーに比べて管理がしにくいものである。目標とする排ガス中の酸素濃度の範囲は、日本の経験からするとボイラーに対して 4 ± 1 % と考えられる。

2) NOx 排出の状況

アンケートに対する NOx 濃度に関する答えは、0 ppm から 2,000 ppm の範囲に分布していた。大きいほうの数値についていえば、金属やセラミックスなどの加工用の超高温を必要とする工業炉で現われる可能性がある。一方、10 ppm またはそれ以下という最小の数値は、意図的に排ガスを希釈しない限りめったに現われる値ではない。このような疑わしい回答のあった施設は１６基もあった。

幾つかのボイラーでは現在の排出基準を超えていた。しかし、これらを所有する企業は、ボイラーの更新や EGR の導入或いは燃料のガスへの転換などの独自の対策計画を持っていた。この点を考慮すると、供給される燃料が現在と変わらなければ、たいていの小型ボイラーは 1998年 1 月 1 日から実施される新しい排出基準を達成することが可能であろう。

3) オペレータの燃焼管理技能

有資格オペレータの実際の配置状況をアンケート調査の中で質問した。ボイラー運転に関して有資格者配置の義務の有る４１社のうち、90 % 以上が当然ではあるが「有資格者有り」と答え、ただ１社が「無し」と答えた。有資格者配置の義務のない企業でも４社が有資格社を配置していた。調査結果から見て、労働省の規則は関係者によってほぼ完全に守られていると考えられる。

(3) 総括と考察

1) ボイラー負荷決定における問題

診断調査の対象のうち 37 % については燃料流量を計測する方法が無く、ボイラー負荷を求めることができなかった。それゆえ NOx 濃度にかかわる燃焼状態の評価は不

可能であった。

2） NOx 濃度、CO 濃度、ボイラー負荷に関する排出基準の問題点

1994 年 12 月以降 CO の排出規制が最終的に廃止された。この結果、定格負荷での NOx 濃度が排出基準値を若干上回った場合に、ボイラー負荷を 60 % かそれ以下に下げ 、CO濃度を上げて幾分不完全燃焼ぎみにすることによってNOx濃度を下げることができるという問題がある。

3） 計量証明制度の創設

ほとんどの中小施設においては、排ガス中の汚染物質濃度の測定は、民間測定会社に委託されている。しかし、これらの測定会社の保有する計測器や標準ガスに対する証明制度は無い。二、三の工場は、誤った高い計測値を政府に報告した結果として、操業率を厳しく制限されたことがある。計量事業の監視と資格証明の早急な制度化が望まれる所以である。

4） 良質燃料への転換の状況

a．天然ガスへの転換
前回のJ ICA 調査においては、調べた97社の359施設のうち 、35 % はもっぱら天然ガスを使っていた。今回の調査で調べた47社の140施設ではこの比率が60 % に増加していた。

b．ガスオイル及び軽油への転換
液体燃料を使用する施設の比率は 40 % となって、重油が大量に使われていた前回調査時から大幅に減少した。このうち軽油を使う施設は、軽油が高価なためわずか８基（全体の 5.7 %）であった。燃料を重油からガスオイルまたは軽油に変えた幾つかの施設では、バーナノズルもバーナチップも変えていなかった。

5） 過剰空気による不適当な燃焼

アンケート調査対象の１４３施設のうちわずか１５施設（10 %）が、排ガス中酸素濃度 4 % 以下で運転されていた。ZMCM のプラントの大半は過剰空気燃焼をしており、エネルギー節約のためにも一層の努力が求められる。

# 第４章　燃焼試験プラントによる燃焼試験

## ４．１　試験の概要

### (1) 試験設備

供試ボイラー及び主要な付帯設備は、日本で製作され、メキシコに輸送された。ボイラーの主要な仕様は次のとおりである。

| | |
|---|---|
| 名称 | タカオ FTN-30 |
| 種類 | 炉筒煙管式蒸気ボイラ |
| 燃焼方式 | 加圧順流３パス式燃焼 |
| 定格蒸発量 | 3.6 t/h |
| 定格出熱量 | $1.94 \times 10^6$ kcal/h |
| 最高使用圧力 | 10 kg/cm$^2$ |
| 常用圧力 | 7 kg/cm$^2$ |
| 伝熱面積 | 49.6 m$^2$ |
| 胴径 | 1,924 mm |
| 全長 | 4,500 mm (前・後煙室を含む) |
| 燃焼室容積 | 2.409 m$^3$ |
| 燃焼室容積負荷 | $926 \times 10^3$ kcal/m$^3$/h |
| 通風方式 | 強制通風 |
| ボイラ制御方式 | 全自動制御式 |

メキシコ市首都圏は海抜約 2,240 mの高地であるため、地上０mで設計されたボイラをメキシコ盆地で使用する場合定格能力の 70 %で使用するのが一般的である。
今回の燃焼試験を行ったパチューカ市にあるＩＭＰの実験室の高度は約 2,400 mで、メキシコ市の海抜に近似しており、燃焼用空気は海抜０mの平地での体積の1.32倍が必要である。従って燃焼用空気を送り込むファンの能力も、バーナ、ボイラ等の圧力損失を考慮して安全係数を掛け、更に 1.32 倍として設計した。

### (2) 供試燃料

・ガスオイル　（基本Ｎ分720ppm）
・軽油　（基本Ｎ分270ppm）

天然ガスの燃焼試験も予定していたが、供給工事の遅れのため、実施できなかった。

尚、燃料のN分の分析値は、ＮＯｘの削減方法を検討する上での最も基本的なデータの１つなので、正確に分析する必要がある。日本製の標準油サンプルについて、調査団とIMPがそれぞれの方法で分析した結果、以下のとおり大きな差異があった。

| 標準値 (ppm) | 調査団分析値 (ppm) | IMP分析値 (ppm) |
|---|---|---|
| 5,890 | 5,940 | 2,998 |

注：この分析に用いた標準サンプルは、重油の窒素含有量分析のための標準として日本石油協会が認証しているもので、最も信頼できるサンプルとして日本の石油関連企業・団体で広く用いられている。当標準サンプルの日本石油協会による認定書はDataBookの中に示してある。

いかなる分析方法でも常に標準検体を用いてクロスチェックを行う必要がある。

(3) 供試バーナ

・油用標準型バーナ　：　内部混合型アトマイザ及びスワラの組み合わせにより、安定した火炎を形成 するバーナ
・油用低NOx型バーナ(1)　：　還元雰囲気燃焼させるため、自己再循環機能をもつ
・油用低NOx型バーナ(2)　：　自己再循環機能及び二段燃焼機能をもつ
・油用低NOx型バーナ(3)　：　還元燃焼させるための二段燃焼機能をもつ
・油用改造型低NOxバーナ　：　標準型バーナを自己再循環機能をもつよう改造

(4) 試験操作パラメータ

試験においては、以下のパラメータを変化させて、それによる排ガス中のNOx濃度の変化を把握した。

1) 排ガス中酸素濃度（発煙初期あるいは一酸化炭素発生時の酸素濃度、３％、５％、７％）

2) 噴霧条件（燃焼温度、ノズルの角度、霧化媒体）

3) 予熱空気温度（室温、80～100 ℃、約 150℃）

4) 燃焼室負荷（定格負荷の約50％、70％、90％、つまり燃料負荷120 ℓ/h、160 ℓ/h、200 ℓ/h）

5) 省エネルギー運転（空気予熱器、エコノマイザ、ボイラ水連続ブロー装置の稼動、非稼働）

6) 排ガス再循環（ＥＧＲ）

7) 蒸気噴射

8) ガスオイル中の窒素分

(5) 測定項目

1) 排ガス測定項目（CO、$CO_2$、$SO_2$、$O_2$、NOx、ダスト、排ガス流速、排ガス温度）

2) 燃焼コントロール関連測定項目（オイル流量、オイル温度、ガス流量、ガス温度、ガス圧力、蒸気流量、霧化蒸気圧力、噴霧オイル圧力、エコノマイザ出入口ガス温度及び給水温度、空気予熱器出入口温度、燃焼効率）

## 4.2 燃焼試験の結果

(1) 各種燃焼方法、技術のNOx低減効果

油用標準型バーナを用いて各種燃焼方法、技術手法によるNOx低減効果を試験した結果は次のとおりである。

1) 霧化媒体のNOx濃度に対する影響

軽油、ガスオイルの両燃料とも、空気霧化に比べ蒸気を使用する方が、NOx濃度レベルは低い。160ℓ/hの軽油燃焼の場合、酸素濃度の低い部分では、NOx濃度は半減し、酸素濃度が上がるにつれてその差は小さくなり、その差は10％以下となった。一方、ガスオイルの場合は、中間の酸素濃度域でその差が大きくなり、35～41％となった。なお、空気霧化でガスオイルを使用する場合、NOx排出基準110ppmを越えるケースがあった。

2) 酸素濃度のNOx濃度に対する影響

蒸気霧化の場合、酸素濃度の減少とともにNOx濃度レベルの低下が見られる。一方、空気霧化の場合は、明確な濃度レベル減少は見られない。

3) 燃焼負荷のNOx濃度に対する影響

負荷によるNOx濃度レベルの差は明確ではなく、特に、低空気比燃焼域でその差は小さい。

4) 燃焼用空気温度のNOx濃度に対する影響

燃焼用空気温度の上昇とともに、NOx濃度レベルは直線的に上昇し、常温に比べ136℃に予熱した場合、15～20％濃度レベルが上がることが示された。ガスオイルの燃焼では100℃以上に予熱するとNOx排出基準の110ppmを上回った。

5) バーナノズルの角度のＮＯｘ濃度に対する影響

ノズルの角度を変えた時のＮＯｘ濃度は、噴霧角度の大きい 70° のチップでは、酸素濃度の高い部分でＮＯｘ濃度レベルが高く、角度の小さい 50° のチップでは、酸素濃度の低い部分でＮＯｘ濃度レベルが高くなった。60° のチップは、全域でＮＯｘ濃度レベルは低く、このボイラに最適であることが確認された。

6) 排ガス再循環（ＥＧＲ）のＮＯｘ濃度に対する影響

ＥＧＲ率の上昇とともに確実にＮＯｘ濃度レベルは下がり、図 4.2.1 及び表 4.2.1 に示したように、軽油の場合 42 %のＮＯｘ削減率が得られたが、ガスオイルの場合 22 %であった。ＥＧＲは、燃料中Ｎ分に起因するフューエルＮＯｘの低減には効果が少ないことが示された。

表 4.2.1　ＥＧＲ率とＮＯｘ削減率の関係

| EGR比 (%) ＼ 燃料 | NOx 削減率 (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 15 | 20 | 25 | 28 |
| 軽油 | 24 | 31 | 38 | 42 |
| ガスオイル | 12 | 16 | 20 | 22 |

標準バーナ、燃料負荷　160 ℓ/h

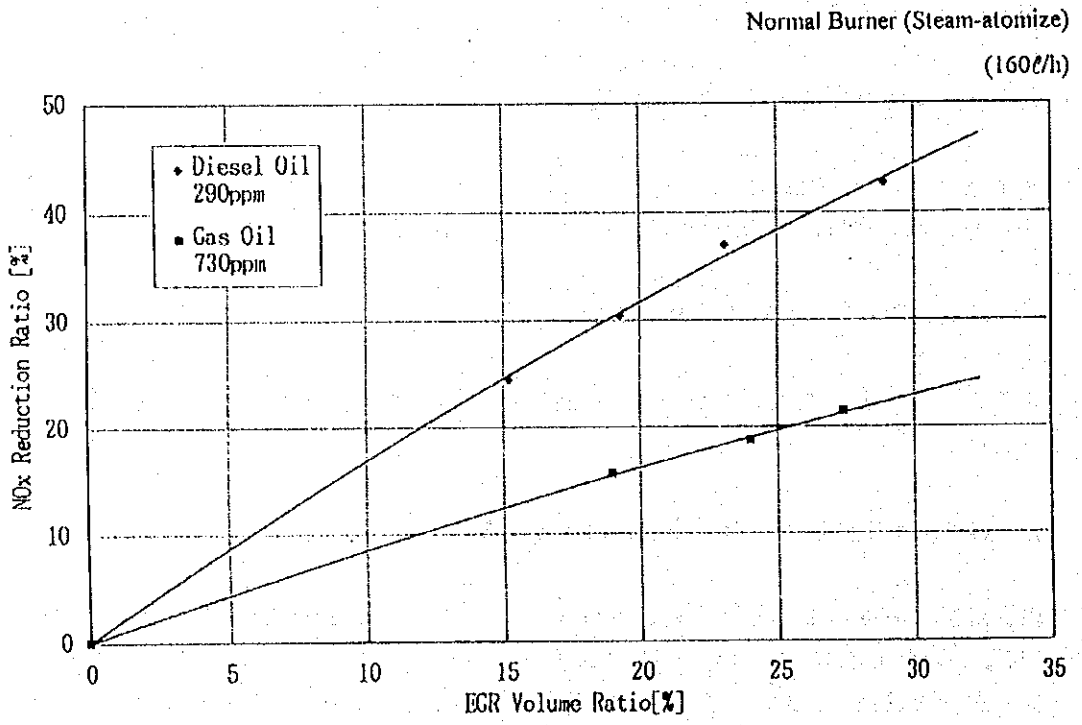



図４．２．１　燃料窒素分に応じたEGRのNOx 低減効果
（通常バーナ、蒸気霧化　燃料負荷160 ℓ/h）

7) バーナノズルの位置のＮＯｘ濃度に対する影響

バーナノズルを適正位置から 100 mm手前に引くことにより急速拡散燃焼となること及びフレームの一部がバーナタイルに当たるために、ＮＯｘ濃度レベルが約20％上がった。

8) 混合方法のＮＯｘ濃度に対する影響

霧化の代表的な方式である内部混合式と外部混合式について、霧化蒸気圧力、酸素濃度を変えてＮＯｘ濃度を比較した。

内部混合式は、霧化蒸気圧力によるＮＯｘ濃度の差はほとんどなく、メキシコ市首都圏で広く使用されている外部混合式では、霧化蒸気圧力が高まるとともにＮＯｘ濃度も高くなり、ガスオイル燃焼で 2 kgf／$cm^2$を超えると110ppmを超えることが多くなった。

9) 霧化蒸気圧力のＮＯｘ濃度に対する影響

工場診断調査によれば、メキシコ市首都圏におけるボイラは、かなり高い霧化蒸気圧力で運転されているのが認められたので、適正な霧化蒸気圧力を見つけることにより、ＮＯｘの発生を低減できる可能性がある。

10) 蒸気噴射のＮＯｘ濃度に対する影響

蒸気噴射法は、今回の試験では燃料油における低ＮＯｘ手法としての効果は確認されなかった。

(2) 低ＮＯｘバーナの効果

標準型バーナを基準としたＮＯｘ低減効果は、表 4.2.2に示すとおりであった。

表4.2.2　標準型バーナを基準とした各バーナのＮＯｘ削減率

| | 酸素濃度 3% | | 酸素濃度 5% | |
|---|---|---|---|---|
| | 軽油 | ガスオイル | 軽油 | ガスオイル |
| 標準バーナ | 60 ppm<br>- | 92 ppm<br>- | 64 ppm<br>- | 103 ppm<br>- |
| Low NOxバーナ (1) | 47 ppm<br>22 % | 84 ppm<br>9 % | 55 ppm<br>14 % | 96 ppm<br>7 % |
| Low NOxバーナ (2) | - | 78 ppm<br>18% | - | 93 ppm<br>7 % |
| Low NOxバーナ (3) | 44 ppm<br>27 % | 66 ppm<br>26 % | 51 ppm<br>20 % | 72 ppm<br>30 % |

注）　燃料負荷　160 ℓ /h
上段：ＮＯｘ濃度 (ppm)　下段：ＮＯｘ削減率 (%)

表により次のような削減ができることが示された。

低ＮＯｘバーナ(1) は、軽油で 14 ～ 22 %、ガスオイルで 7～9 %
低ＮＯｘバーナ(2) は、ガスオイルで 18～19 %
低ＮＯｘバーナ(3) は、軽油で 20 ～ 27 %、ガスオイルで 26 ～ 30 %

二段燃焼を原理とした低ＮＯｘバーナ(3) が、高いＮＯｘ削減率を示したが、標準バーナを含め、実施予定のＮＯｘの新排出基準値である 110ppmをクリアすることが可能である。ただし標準バーナは、燃焼負荷200 ℓ /h では酸素濃度を下げ、ＮＯｘ排出基準を越えないよう注意する必要がある。

排ガス中の酸素濃度を下げると、表 4.2.3に示すようにＮＯｘ削減率はさらに拡大する。

表 4.2.3　排ガス中の酸素濃度を下げた時のＮＯｘ削減率

単位：%

| 排ｶﾞｽ中O2 / バーナ | 軽油 | | ガスオイル | |
|---|---|---|---|---|
| | O2 : 3% | O2 : 発煙限界 | O2 : 3% | O2 : 発煙限界 |
| 標準 | 14 | 20 | 11 | 22 |
| Low NOx (1) | 13 | 28 | 10 | 26 |
| Low NOx (2) | - | - | 10 | - |
| Low NOx (3) | 10 | 16 | 5 | 9 |

注：燃料負荷160 ℓ /h
削減率は排ガス中の酸素濃度 5%の時の濃度と比較して求めた。

燃料負荷を120ℓ/h 及び200ℓ/h に変化させた場合も、蒸気霧化による燃焼の排ガス中ＮＯｘ濃度は酸素濃度によらず110ppm以下であった。

(3) 省エネルギー対策とその効果

供試ボイラーと同規模のボイラーで、燃料負荷160ℓ/hを定常運転条件とする仮想のボイラーについて、対策効果を以下に推定する。

1) 空気比の改善による効果

空気比を1.49から1.07に削減した場合の経済的効果およびＮＯｘの削減効果を燃焼試験をもとに推定した。空気比の改善による経済的効果は、燃料代の節約額として、次のように試算される。

ガスオイル　：　18,720ℓ／年×0.133 US$/ℓ = 2,490 US$／年
軽油　　：　18,720ℓ／年×0.236 US$/ℓ = 4,418 US$／年

空気比の改善によるＮＯｘの削減効果は、次のようにおよそ30%と推定される。

ガスオイル　：　29.6%
軽油　　：　30.1%

なお、アンケート調査によると、メキシコ市首都圏の液体燃料を使用しているボイラの燃焼排ガス中の酸素濃度は、算術平均で 6.83 %である。市内の現在の設備が、低空気比燃焼に対応が可能であれば、相当の効果を得られるものと推察される。ただし、低空気比燃焼のためには、当然管理用計器並びに管理技術者が必要となる。

2) エコノマイザによる効果

エコノマイザによる排ガスの保有熱回収を次の条件で行った場合、

エコノマイザ入口温度　236℃
エコノマイザ出口温度　110℃

以下のように燃料費の5.6%削減が可能と推定される。

ガスオイルの場合　：　30,960 ℓ/y×0.133 US$/ℓ = 4,118 US$/y
軽油の場合　　：　40,320 ℓ/y×0.236 US$/ℓ = 9,516 US$/y

日本製エコノマイザの参考国内価格（耐酸・耐熱ガラス製の場合 40,000 US$、ステンレス製の場合 15,000 US$）をもとに、設備投資費を回収するに要する年

月を試算すると、次のとおりである。

| エコノマイザ材質 | ガスオイル | 軽油 |
|---|---|---|
| ガラス製 | 9.8 年 | 4.2 年 |
| ステンレス製 | 3.7 年 | 1.6 年 |

（設備費には、日本における価格例で、輸送費、関税、据付け費、周辺配管ダクト費、金利は含まれていない。）

3) エアヒータによる効果

本プラントに設置したエアヒータは、内部熱源である発生蒸気を使用している。エアヒータ入口温度38 ℃、出口温度143 ℃とした場合の効果は、3.8 %の熱回収に相当する。

一方、エアヒータの熱源を燃焼排ガスの保有熱から回収する場合 、燃料中の硫黄分による酸腐蝕を考慮する必要があるため、排熱の回収率が低下することは否めない。燃焼排ガス温度 140℃、予熱空気温度 100℃と仮定すると保有熱の回収率は、2.2 %となる。燃料節約額は、ガスオイルの場合 2,107 US$／年、軽油の場合 3,738 US$／年と推定される。一方、日本製のエアヒータの参考価格は 24,000 US$ であるから、設備投資の回収に要する期間は、ガスオイルの場合で 11.4年、軽油の場合で6.4年と見こまれるため経済性に乏しい。

エアヒータは、燃焼排ガスの保有熱を回収できる反面、燃焼用空気温度の上昇により、ＮＯｘ濃度が高くなる。試験結果によると、常温（36～37℃）から 100℃に予熱するとＮＯｘ濃度は、ガスオイルの場合 10.4 %、軽油の場合 14.9 %それぞれ増加した。

4) その他の省エネルギー対策の効果

供試ボイラには、ブロー水からの熱回収装置が取り付けられている。連続ブロー装置は本来、ボイラ内の不純物濃度を下げる目的で、給水ポンプが動作した時に一定量のボイラ水を排出する装置であるが、同時に排水のもつ保有熱により給水を予熱する。この装置による年間の燃料節約量及び節約コストは、次のとおりである。

| | | | |
|---|---|---|---|
| ガスオイルの場合 | 15,840 ℓ/y | 2,107 US$/y | (2.2%) |
| 軽油の場合 | 15,696 ℓ/y | 3,704 US$/y | (2.2%) |

熱回収型ブロー装置の日本国内の参考価格を 7,000 US$とすると、2～3 年で装置費は回収できると試算される。

## 4.3　バーナの改造

### (1) 改造の経緯

燃焼試験の結果、燃料中のN分が増加すると、排ガス再循環による低NOx化燃焼では十分な効果が得られないことが明確となり、高N分の燃料には低NOxバーナの必要性が高い。しかし、低NOxバーナは価格が高いため、中小規模企業にとっては所有するボイラー用にこれを導入することは、資金面から容易ではないと考えられる。低NOxバーナのうち、自己再循環方式は、炉筒内で排ガス再循環及び還元燃焼をするため、フューエルNに対し効果的であり、しかも、改造が容易であるためこの方式を採用し、標準型バーナの改造試験を行うこととした。

### (2) 改造の考え方

標準型バーナの基本的構造を損わずに、還元雰囲気燃焼をさせるための自己再循環機能を付加するように改造した。

### (3) 試験結果と評価

N分 3,500 ppm程度のガスオイル（160 ℓ/h）を標準バーナで燃焼させた場合、排ガス中のNOx濃度は、酸素濃度が3%の時 260～280ppmとなるが、改造した自己再循環バーナは、同一条件で 200～220ppmと、20%程度の濃度低下となり、市販の低NOxバーナに匹敵する効果が得られた。

改造費は、おおよそ 6,000 US$であり、低空気比燃焼による燃料費の節約2～3年分の充当で対応が可能である。
しかし、各企業の所有するバーナは、それぞれ形状をはじめ仕様が異なるので、改造を実施する際は、排ガスの循環と還元燃焼が確保できるように十分注意する必要がある。

# 第5章　メキシコ市首都圏における燃焼技術改善の提案

以上に述べた首都圏の固定発生源の診断調査および燃焼試験の結果より、メキシコ市首都圏の固定発生源におけるNOxの削減および省エネルギーのための燃焼技術の改善に関して、提案を行う。
5.1節は、燃焼試験結果を踏まえた提案であり、ボイラーにおける液体燃料の燃焼を対象としている。5.2節はボイラーにおける天然ガス燃焼に関し、主として既存の知見に基づいて留意事項を提案する。5.3節は首都圏におけるボイラー以外の主要なNOxの排出源である特定の工業用炉について、既存のNOx削減方法のうち、有効と考えられるものを提案する。

## 5.1　燃焼試験から得られた結論

これまでに行われた軽油とガスオイルに関する燃焼試験の結果、メキシコ市首都圏における燃焼技術の改善のために、以下のような提案をする。

### (1) 低 NOx 燃焼技術

#### 1) 軽油焚きボイラ

窒素分 270 ppm の軽油で試験したところ、蒸気霧化の場合はもちろんのこと、空気霧化であっても排ガス中の NOx 濃度は、排出基準の 110 ppm をこえることはなかった。したがって、軽油を燃料とするボイラーに関しては、特別な NOx 削減対策は必要無いと考えられる。しかし、NOx の総量を削減する見地から、またエネルギー節約の見地から、燃焼技術の改善がなされることが望ましい。

#### 2) ガスオイル焚きボイラ

窒素分 720 ppm のガスオイルで試験したところ、標準型のバーナでは条件次第では、排ガス中の NOx 濃度が排出基準の 110 ppm をこえる場合もあることがわかった。試験に用いたボイラおよびバーナは、両者のバランスを考慮に入れて設計され、かつ全ての管理用計器も整った条件のもとに熟練者によって運転された。こうした条件は、メキシコ市首都圏における一般のボイラがおかれている条件より恵まれたものと考えられる。一般のボイラが負わされている可能性のある不利な条件を考慮に入れると、ガスオイル焚きボイラには何らかの低 NOx 燃焼技術の導入を必要とする場合があると考えるべきである。燃焼試験の結果、ガスオイル焚きボイラに有効と判定された主な低 NOx燃焼技術は次ぎのものである。

イ) 蒸気霧化の導入　　空気霧化方式のバーナを改造する必要があるが、この切り替えによって試験では最大で30 ～ 40 % の NOx 削減が見られた。

ロ）標準型バーナの改造　自己再循環機能をもたせるように改造することにより、最大で20 % の NOx 削減が見られた。

ハ）低空気比燃焼　空気比を 1.49 から 1.07 に下げるとNOx 排出濃度は 30 % 削減できる。現状で使われている空気比が大きい場合は、これを低く抑えることは NOx 対策として有効である。但し、そのためには燃焼管理用の計器が必要になる。

ニ）低 NOx バーナの導入　3 種類の低 NOx バーナを試験したところ、7 ～ 30 % の NOx 削減が見られた。NOx 削減効果は、空気比を下げると大きくなる傾向にあるので、これの性能を十分に発揮させるには、空気量を制御する注意深い運転が求められる。

ホ）EGRの導入　排ガス再循環装置を追加設置する。試験では、最大で約 22 % の NOx 削減が見られた。

上記技術のうち、イ）蒸気霧化の導入、ロ）標準型バーナの改造、およびハ）低空気比燃焼は、比較的少ない設備投資で導入できるので、中小規模のボイラに適していると考えられる。この3 種類の技術は、経済的には有利な反面、追加部品を既存のボイラ構造に適合させる点が技術的に難しい。一方、ニ）低 NOx バーナの導入、およびホ）EGRの導入は、前述の 3 種類の技術に比べて設備投資額が大きくなるので、中規模以上のボイラに採用される可能性が大きい。経済的な負担は比較的大きくなるが、技術的な難しさは小さいので、より確実な効果が期待できる。

(2) 省エネルギ運転技術

省エネルギ運転は、そもそもの狙いを燃料の節約に置いているが、燃料の節約即ち排ガス量の削減であるから、 NOx 排出量もまた削減できる。試験ボイラにおいて、低空気比運転、エコノマイザ、空気予熱等の省エネルギ運転技術について調べたところ、目に見える経済効果および NOx 削減効果の得られることが示された。これら運転技術は、結果として生産コストの削減をもたらすだけに、導入のインセンティブが高いので、メキシコ市首都圏における燃焼技術改善の一つの核として位置付けられるべきものである。

1）　適正空気比による燃焼

ZMCMの固定発生源の中で特に多くの燃焼施設に共通して高濃度のＮＯｘ排出の原因となっているのは、空気過剰燃焼である。調査した燃焼施設のうち、排ガス中の酸素濃度が 4％以下のものはアンケート調査対象の１４３施設中の１５施設（10％）と少なく、1990－1991年に実施された前回のJICA調査時点に比べてあまり改善されていない。空気比と排ガス損失との関係、空気比とＮＯｘ濃度との関係をよく理解し、省エネルギーとＮＯｘの排出削減に努力することが望まれる。

空気比を適正化するために留意すべき点は、以下のとおりである。

空気比が適正であるか否かは、排ガス中の酸素濃度を分析することにより確認できるが、日常管理では炎や煙の状況を観察して調節しなければならない。煙突から出る煙を観察し、かすかな黒煙を発生する状態より少し多目に空気量を調節する。

ガスオイルや軽油を燃焼している場合、正面のノゾキ窓から見て、やや黒っぽい中心のまわりにまぶしく輝く炎が安定した形で存在するときは、適正空気比に近い。

空気量が適正値より少なめになると、炎の先端付近が黒みを帯び、ススが発生するようになる。一方、空気が過剰のときは、火炎が極端に短くなり、枝状の炎が激しく動揺する。炎の色も白色に近い黄色になる。

標準空気比の設定には、燃料の種類、負荷率、制御装置の構成などを考慮しなければならない。日本における空気比の判断基準を表 5.1.1 に示す。この値は、表の負荷率の範囲で定常操業を行っているときについて定めたものである。

表 5.1.1 日本におけるボイラの標準空気比

| 類型 | | 負荷率 (%) | 標準空気比 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 固体燃料 | 液体燃料 | ガス燃料 | 高炉ガスおよび他の副生ガス |
| 火力発電所ボイラ | | 75～100 | 1.2～1.3 | 1.05～1.1 | 1.05～1.1 | 1.2 |
| その他のボイラ | 蒸発量：30 t/h超 | 75～100 | 1.2～1.3 | 1.1～1.2 | 1.1～1.2 | 1.3 |
| | 蒸発量：10 ～ 30 t/h | 75～100 | - | 1.2～1.3 | 1.2～1.3 | - |
| | 蒸発量：10 t/h未満 | 75～100 | - | 1.3 | 1.3 | - |

出典：文献 D8

2） 伝熱の改善

ススやスケールの伝熱面への付着は著しくボイラの熱効率を低下せしめるので定期的な掃除が必要である。

3） 排ガスの熱回収

ボイラにおいては、空気比を適正に保ち、伝熱面の汚れを少なくして排ガス温度が上昇しないようにすることが基本である。それでもなお排ガス温度が高い場合は、排ガスの排熱をエコノマイザや、空気予熱器により回収して、給水や燃焼用空気を予熱し、全体としての熱効率を高めるようにする。

4) 放熱防止

ZMCM内のボイラでは、ボイラまわりの給水管、バルブ、フランジ等については、保温されていないことが多い。放熱防止のため、できるだけ保温するのがよい。

5) 日常管理

ボイラの省エネルギーを進めるためには、必要な計器を備え、運転日誌に記録して日々の運転状態を把握する必要がある。蒸発倍数、給水温度、排ガス温度、排ガス中酸素濃度などについては、長期傾向のわかるようなグラフを作り、異常の早期発見に役立てる。

## 5.2 天然ガス燃焼における低ＮＯｘ燃焼法

諸般の事情で天然ガス供給工事が大幅に遅れ、本格的な天然ガスの燃焼試験は行えなかった。したがって、天然ガス燃焼における技術的なポイントを以下に述べる。

### (1) 低ＮＯｘの手法

天然ガス燃焼ボイラにおける低ＮＯｘ燃焼法としては、以下の方法が考えられる。

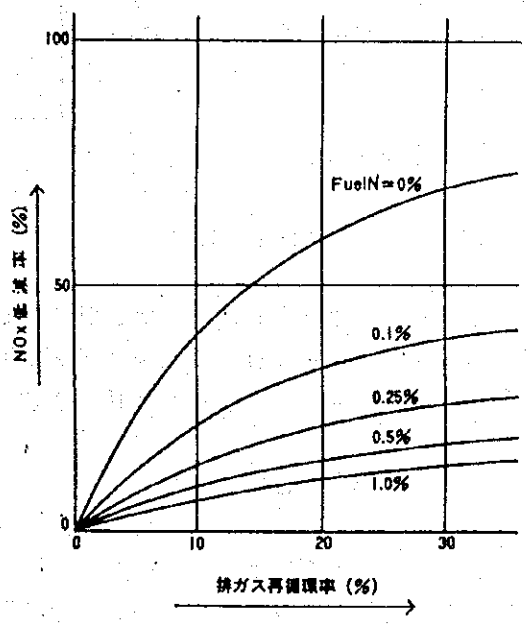
a) 低ＮＯｘバーナの性能アップ
b) 既存バーナを利用した各種低ＮＯｘ燃焼法の組合せ
c) 低ＮＯｘバーナ＋低ＮＯｘ燃焼法

低ＮＯｘバーナ以外の低ＮＯｘ燃焼法としては、排ガス再循環（ＥＧＲ）が、天然ガス燃焼にとって最も効果的と考えられる。

### (2) EGR の効果

1) ＮＯｘ低減効果

ＥＧＲ法によるＮＯｘの低減率は、図 5.2.1 に示すように、燃料中のＮ分の減少とともに大きくなり、Ｎ分をほとんど含まない天然ガス燃焼に有効であることがわかる。ＮＯｘ低減効果はＥＧＲ率 10 %で平均 40 %、EGR率20 %では平均 60 %程度である。




出典：文献 B11

図５．２．１　EGR率および燃料中の窒素分とNOx 低減率の関係

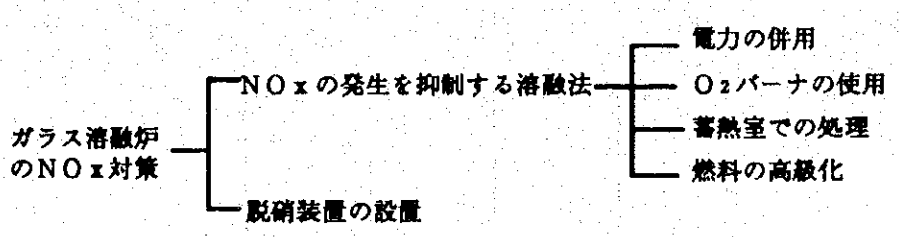
2）省エネルギー効果及び安全対策

ＥＧＲによる省エネルギー効果は、他の因子（たとえば適正空気比）の効果に比べると小さい。安全対策として、排ガス混合後の燃焼用空気の酸素濃度が 16 %を下回らないように、常に燃焼用空気の酸素濃度の測定を行うことが必要である。

## ５．３　特定の工業用炉のＮＯｘ削減方法

### (1) ガラス溶融炉

メキシコ首都圏で最も高濃度のＮＯｘを排出している工場は、ガラス工場であり、他の都市に比較して工場数も多い。
ガラス溶融炉では、ガラスの温度を 1,500℃以上の一定温度に保たなければならない。ボイラにおける低ＮＯｘ燃焼法の多くは、結果的に火炎温度を低下させることに依存しているので、これらの適用は不可能である。
ガラス溶融炉のほとんどは、蓄熱室（一部換熱方式もある）をもち、排ガスの保有熱によって燃焼用の２次空気の加熱を行い、炉内温度の上昇、燃料の節約を図っている。
下記にガラス溶融炉のＮＯｘ対策を示す。




1) 燃料－電力併用炉によるＮＯｘの低減

一般に、電力の併用割合を増加すれば、炉は小型になるので、燃焼室での燃焼ガスの滞在時間も短くなり、かなりのＮＯｘの低減が期待できる。メキシコ市首都圏では、或るガラス工場が実機運転を行っており、良好な結果を得ている。

2) 酸素バーナによるＮＯｘの低減

窒素分を含まない天然ガス燃焼において、燃焼用空気の代りに酸素を使用したＮＯｘ低減法を上記ガラス会社が開発し、１９９３年より実機運転を行っている。

同社のガラス溶融炉のＮＯｘ濃度は、前回のJICA調査時（1990年）1,226 ppm （O2 5%換算）であったが、今回訪問時では僅か 60 ～ 70 ppm と驚異的な低下を示していた。この成功は、合成ゼオライトを用いた空気中の窒素と酸素の分離が容易に行える方法が開発され、安価な酸素が入手可能となったことに負うところが大きい。

3) 蓄熱室内でのＮＯｘの低減

エクソンによって開発されたアンモニアを還元剤として用いる無触媒プロセスがあり、これを蓄熱室内の出口付近の 750～1,000 ℃の温度領域に適用すると、60～90 %程度ＮＯｘの低減が可能であるといわれる。

尿素水溶液噴霧による方法は、蓄熱室出口付近の1,000℃前後の温度領域に 20 %尿素水溶液を噴霧する方法で、30 ～ 40 %程度のＮＯｘの低減 は可能である。

(2) ロータリーキルン（セメント）

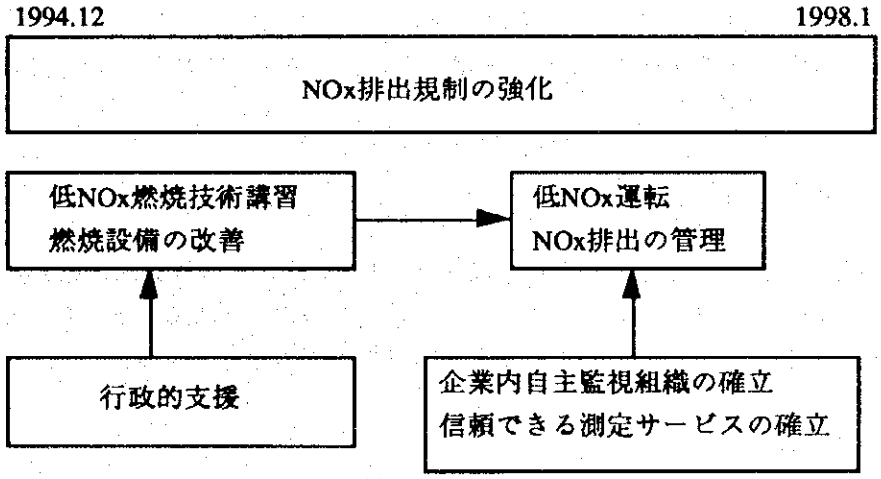
セメント焼成用ロータリーキルンにおいては、燃料原単位も改善され、かつ、ＮＯｘを低減するＮＳＰ型キルン（ネオ・サスペンション・プレヒーター型キルン）が開発されている。これは、燃焼改善による低ＮＯｘ技術であるが、このサスペンション・プレヒーターの前にガスジェネレーターと呼ばれる燃焼室を設け、ここで発生したＣＯ、H2等の還元性ガスとセメント原料の触媒作用によって脱硝するいわゆる非選択還元法をＮＳＰ型キルンと組み合せた技術が開発され、実用化されている。60 %程度の脱硝率が得られており、大型の付属装置が必要ないので、経済的負担は小さい。

# 第6章　低NOx燃焼技術の普及および制度強化のための提案

メキシコ市首都圏における固定発生源の特質は、使用する燃料、設備仕様、数量、運転状況などの面から把握された。これらの固定発生源に適した低NOx燃焼技術も、パチューカでの試験で燃料の種類別に確かめられた。本章では、メキシコ市首都圏に適した各種の燃焼技術を普及し、もって法にもとづくNOx排出規制を達成してゆくために必要な措置を提案する。

メキシコにおいては、低NOx燃焼技術の導入は未だ緒についた段階であり、一方排出監視の体制も十分に整っていない。従って、低NOx燃焼技術の普及は、排出監視体制の整備と一体として進めてゆく必要がある。この両面を並行的に推進してゆくには相当の期間を要すると考えられるが、ここでは目標の時期を、NOxなどの排出基準が強化される1998年1月とする。

提案の目的は、その目標時期までに大多数の固定発生源が新しい排出基準を達成できるようになることである。この目的を達成するために提案する以下の各種措置は、下図に示すような相互の関連をもっている。




提案する低NOx燃焼技術普及および制度強化のための措置

## 6.1　NOx 排出削減のためのボイラーオペレータの育成

### (1) 技術的改善の必要性

安全とエネルギー節約にかかわるオペレータの能力開発は、既に制度化されかつ実施されてきた。低 NOx、低ばい煙燃焼技術もまた、排出基準達成のために同様に普及することが期待されるが現状の基準達成状況は必ずしも満足なものではない。

一方で排出基準は 1994 年 12 月に改定され、新しい基準のもとでは、最終段階でZMCMに適用される NOx 排出基準は、ボイラー容量 5,250 ～ 43,000 MJ/hr（およそ 2.4 ～ 19 ton/hr）に対しては 190 ppm 、ボイラー容量 43,000 MJ/hr以上（およそ 19 ton/hr 以上）、に対しては 110 ppm と規定されている。

小型ボイラーに適用される 190 ppm という排出基準値は、ガス、軽油、ガスオイルのボイラー所有者にとっては達成は難しくないと考えられるが、110 ppmという基準の達成は、低NOx燃焼技術の採用なしでは不確実である。

そのため、特に大型のボイラーを設置している多くの企業は新基準を満足させるためにNOxの削減対策の採用を考慮中である。しかし、NOx削減のための施設の運転にはオペレータの技能向上が不可欠であり、そのため、特に43,000MJ/hr以上のボイラーの運転に従事する人々に対して技術訓練を行うことを提案する。

(2) 導入すべき技術

技術訓練の対象となる燃焼技術は、容量 43,000 MJ/hr 以上の大型ボイラーで、ガス、軽油、ガスオイルを使用するものが 110 ppm の NOx 排出基準に合致するためのものを主体とする。

訓練コースの主題として、次の 4 項目を推奨する。

a. 燃焼過程における NOx とばい煙の発生機構
b 汚染物質削減の原理とその応用（軽油・ガスオイル焚き：SRG+EGR、ガス焚き：EGR）
c. 汚染物質を削減する運転方法（実習を含む）
d. 省エネルギー運転

燃料の種別を問わずボイラー共通の低 NOx 運転方法は、低空気比運転であり、その効果を、訓練コースのなかで体験させる。空気比の違いによる火炎の目に見える差異もまた示し、受講者がその後その技術を応用する際の助けとする。

(3) 育成の初期段階

本調査の中で行われた技術セミナーは、メキシコにおけるボイラーオペレータの能力開発の初期段階における技術講習として位置付けられる。技術講習のプログラムは、NOx 削減の知識とボイラーに関連した運転技能に重点を置いた。これらの主題は講義と実習によって効率的に習得されるようにした。

参加企業の選定は INE によってなされ、コースへの参加者は、その企業によって「施設長」、「技術者」、「オペレータ」、管理職などから選ばれた。全ての受講者は使用燃料によって、軽油、ガスオイル、ガスの 3グループに分けられ、各々に異なる実習メニューを与えられた。講習には21の民間会社以外に9政府機関も含めて76名が参加し、個々の参加者はコース終了後、INEおよびJICA連名の講習修了証を授与された。

(4) 育成の次期段階

低 NOx 、低ばい煙燃焼技術に関する能力開発は、燃焼設備の大半を占めるボイラーオペレータに求められるところが大きい。総量削減の効率を考慮して、訓練コースの受講者は、首都圏で19 ton/hr 以上のボイラー運転に従事する者、あるいは大中企業のボイラー運転に携わる者であることを提案する。この計画の潜在受講者数は、各社一人を派遣するものと仮定して約 1,500人と見込まれる。

講義と実習からなるコースの一単位の継続期間は、10人の参加者に対して0.5週間と見込まれるので、企業から派遣される全体で 1,500人の見込み参加者の講習を終えるには 75 週間を要する。したがって、講習が直ちに始められかつ切れ目なく行われるならば、新しい排出基準が効力を発揮すると定められた 1998年 1 月 1 日までに、予定された講習をおおむね完了することができるであろう。

講習は、INE を軸とし、関連する政府機関の協力によって実施することを提案する。固定発生源の規制に関連する他の政府当局は、それぞれの権限事項の分野で講習に協力することを期待する。実際の協力としては、講義と技術的な実習を部分的に担当すること及びコースに必要な施設、燃料その他の材料などの提供が考えられる。

## 6.2 NOx 対策に係る制度の強化

(1) 企業の低NOx燃焼技術導入への支援

低 NOx 燃焼技術の実用には、設備と運転に関する幅広い知識と経験が必要とされるので、メキシコではまだ十分に普及していない。したがって、低 NOx 燃焼技術のための支援策の重点は、低 NOx 燃焼設備に関する技術情報の提供及び運転訓練の機会を提供することである。

実際の低 NOx 燃焼技術の導入に対しては、投資と操業の段階別に以下の支援策を提案する。

1) 設備改善の投資に対する支援
   a. 減税あるいは低利融資（休止中）
   b. 可能な改善の方法の提示（産業界横断的な相談機関による）
   c. 有能な納入業者の紹介（産業界横断的な相談機関による）
   d. 投資計画の評価への助言（産業界横断的な相談機関による）
   e. オペレータ訓練のコースの紹介および離職中の有能なオペレータの紹介（産業界横断的な相談機関による）

2) 運転技術への支援
   a. オペレータの講習（INEを中心とする政府機関による）
   b. 操作マニュアルへの助言（産業界横断的な相談機関による）
   c. 有能な測定会社の紹介（INE、SINALPによる）

設備改善の投資段階の支援実施主体は、これに関心のある民間の産業界が組織する、任意参加の相談機関に受け持たせるのがふさわしい。一方運転技術への支援は、人材、器材などの保有状況から見て、政府機関が中心となってこれに当たるのが適切と考えられる。支援策の実施に要する費用は、政府機関、産業界横断的な相談機関及び支援の受益者による相応の分担とすることを推奨する。

(2) 企業内自主監視組織の確立

ボイラー所有者にとって排ガスの質の実態を知ることは、正常運転を保持するためのみならず、排出規制で指定された項目に関する定期的な運転記録を INE に提出するためにも必要である。計測はあらゆる種類の管理の出発点であるから、ボイラー所有者は計器と計測技術の取得が要求されている。

自主監視組織の役割は、排ガス組成が排出基準に適合するかどうか検査することである。監視組織の長としてこれにふさわしいのは、会社の所有者に代わってその工場を代表する工場長である。監視の実務を行うには、排ガス組成の計測と汚染削減対策の両方にまたがる有資格専門家が必要である。これらの専門家は「汚染対策技師」とも呼ぶべき職分である。汚染対策技師配置の需要に応えるために、権威ある免許制度が必要である。

日本では、特定工場における公害防止組織の整備に関する法律が 1971年に制定された。この法律で特定された工場は、1993年３月時点で総数約２万社の特定工場が、約４万人の免許を持った公害防止管理者を自主監視組織の長として政府に登録していた。登録された公害防止管理者のほかに約４３万人が免許を受け、工場における自主監視組織のメンバーとして汚染対策に従事してきた。こうした努力によって、大気汚染防止法違反で起訴される事件はここ数年来皆無であった。

(3) 固定発生源用の信頼しうる測定サービスの確立

前節で述べた企業内自主監視組織を確立することは望ましいことではあるが、普及には時間もかかり、また小規模工場を含めた全体に適用するのは難しい面もある。そこで企業内自主監視組織の機能のうちの排ガス計測を外部に委託することによって上記制度を補完してゆくことが現実的な対応となる。

個々の企業はPROFEPA の監視にそなえて自らの NOx 排出状況を継続的に把握しておく必要がある。中小企業向きの自主監視の方法は、企業の負担で外部の専門家に委託する方法である。そのためには委託される計測会社が質的に満足な水準に達していなければならず、責任ある機関の認証が必要である。この点で、計測サービスの水準は現在十分とは言えないので、以下に記述する要素システムを開発することが不可欠である。

1) 計器の公的検定制度

排出基準は、規制対象物質の濃度決定法を規定しているが、計器の要件を明確には述べていない。すなわち、公認の計測方法に使われる計器の詳しい要件は明文化されて

いない。そこで信頼できる計測サービスの不可欠の要素である公的検定制度の確立に向けて、次のような構成要素が必要と考えられる。

a. 責任機関とその地方支部
b. 検定対象計器、 検定方法と許容公差、検定有効期間と検定済みの標示
c. 関連法で規定された商行為における検定を受けていない計器の使用禁止

2) 計測標準の供給システム

計測の信頼性を確保するための一つの要素としてトレーサビリティがある。これは「測定結果が、一般的に国際または国家標準のような適切な標準に対して切れ目の無い比較の連鎖によって関連づけられるという性質」と定義されるもので、計測標準を国中に供給するシステムを設立することによって実現する。メキシコにおける計測標準の供給システムに関する課題は、標準物質の供給制度にある。

すべての標準物質を国家の最高校正機関すなわち国家計量センターが供給することは、理想的とはいえ実現は難しい。そこで国家最高校正機関の機能を一部分下位の機関に委任し、正確さも信頼性も損なうこと無く標準物質の標定を行うべきである。この権威ある校正機関の階層構造が、国内における計測のトレーサビリティを築く基礎と考えられる。

3) 計測サービス会社及び個人の免許制度

計量と標準化に関する法律には、他人に対して正確かつ公平な計測を行う二種類の団体（認定ラボ、検定ユニット）が規定されている。しかし、SECOFI の認可と排ガス監視のための INE への登録とは、今のところ実質的に相互の関連がない。SECOFI による認可団体の数は、未だに少なく、INE の管轄する計測需要には応えられない。

そこで、INE に関連する分野での認可団体を増やすこと、また、INE の計測会社登録制度を SECOFI の認可制度と連動させることを提案する。

併せて、計測活動を技術面で指揮する主任技術者の特別な資格制度を創設することである。計測サービスを行おうとする会社にはすべて、計測グループの長としての能力を備えた免許技師を任命する義務をもたせることを提案する。

# 第７章　結論と勧告

## ７.１　　燃焼技術

燃焼試験とメキシコ首都圏の固定発生源調査の結果及び既存の知見に基き、首都圏の固定発生源における大気汚染物の排出とエネルギー消費の現況を改善するため、以下のことを勧告・推奨する。

(1)　低空気比

メキシコ首都圏における燃焼施設の大半は過剰な燃焼用空気で運転されている。空気比を適正に保つことにより、NOxの排出削減と燃料の節約を計るべきである。

(2)　軽油使用ボイラー

軽油燃焼のボイラーは、特別のNOx削減対策を行わなくても、1998年から適用される新しいNOx排出基準を満足することができると考えられる。しかし、NOx排出の総量削減と燃料の節約の観点から、燃焼技術の一層の改善が望ましい。自己再循環型低NOxバーナと排ガス再循環の導入が望ましい。

(3)　ガスオイル使用ボイラー

ガスオイル燃焼のボイラーでは、通常バーナを使用する場合、運転条件によっては新NOx排出基準値を超えることがあることが明らかになった。

比較的大型のボイラーには、低NOxバーナとEGRの導入が最も望ましい。これらには比較的高額の投資が必要になるが、運転上のむずかしさは少ないので、確実な効果が期待できる。

中小企業のもつ比較的小型のボイラーに推奨する対策は： 1) 燃料の空気霧化方式に代えて蒸気霧化方式を導入する、2) 既存のバーナを排ガスの自己再循環型バーナに改造する、3) 低空気比で運転する（これは全ての種類のボイラーに共通）、などである。これらの方法は相当の効果があり、高額の投資を必要としない。但し、現在のボイラーに追加部品を適合させるため、相応の注意を要する。

(4)　天然ガス使用ボイラー

天然ガス燃焼のボイラーは、特別な問題なしに新排出基準を達成することが出来よう。しかし、首都圏のNOx排出総量の削減のため、全ての汚染源で努力が望まれる。そのため、自己再循環型低NOxバーナとEGRの導入を推奨する。これらは天然ガスのように窒素含有量の小さい燃料には最も効果的なNOxの削減方法である。

(5)　省エネルギー

適切な省エネルギー対策は、経済的な効果のみならず、汚染物質の排出削減をももたらす。この内では、低空気比による燃焼が最も基本的な対策である。これに加えて、排ガスとブロー温水の

熱回収、伝熱面での熱損失の防止、および放散熱の最小化などの推進を推奨する。

(6) 燃焼と安全の管理計器

ボイラーの運転と安全の確保に関わる測定・管理計器の首都圏での設置状況は十分とは云えない。この状況は1990年－1991年に行われた前回のJICA調査のときと余り変わっていない。これらは適正な運転を行うための基本的な道具なので、設置の推進を勧告する。

## 7.2 実施促進措置

上記に勧告・推奨した燃焼技術の普及には、適切な制度的支援が必要である。物理的な対策の実施を支援する策として以下を推奨する。

(1) オペレーターの育成

勧告・推奨した燃焼技術を実践してゆくために、燃焼施設の運転に従事する職員の能力開発が必要である。そのため、講義と実習から成る訓練プログラムを作り、関係する政府・民間組織が協力して実施すべきである。本調査のために設置した燃焼試験プラントは、この訓練プログラムで有効に活用することができよう。

(2) 投資と運転への支援策

燃焼施設の改善とその運転に対する企業への支援は投資と運転の両段階で必要になる。

投資段階では以下の策を推奨する。
- 減税または低利融資
- 可能な改善の方法の提示
- 有能な納入業者の紹介
- 投資計画の評価への助言
- オペレーター訓練のコース紹介および離職中の有能なオペレーターの紹介

施設運転の段階では以下の策を推奨する。
- 訓練プログラムの実施
- 操作マニュアルの作成への助言
- 有能な測定会社の紹介

(3) 企業内自主監視組織

政府の排出規制を受ける汚染物質排出施設を持つ企業は自主的な監視組織を確立することを推奨する。この組織は排ガス中の汚染物質濃度や施設運転に必要となる他のパラメータの測定を行い、必要な改善策を計画する。中小企業では排ガスの測定は中々困難なので、日々の運転に必要なパラメータの測定以外は、当局から認定された専門会社に委託することも出来よう。

(4) 信頼できる測定サービスの確立

上述のように、信頼し得る測定会社が多くの企業にとって必要になる。このサービスの現状は必ずしも満足なものとは云えない。現行の汚染関連パラメータの測定に関する法制度を以下の点で強化することが必要である。

- 測定会社と個人の検定制度
- 測定器の検定制度
- 測定のための標準物質の検定制度