

2.7 燃焼管理のための能力開発

2.7.1 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、ボイラーについてだけ「施設長」、「オペレータ」、「火夫」が指定されている（参考文献 G1）。この規則は国内のすべての関連する企業に適用され、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。

ボイラー以外の形式の燃焼設備は、今のところオペレータの能力について何の法的制約も受けない。ボイラー運転に関与するものの要件は、前述の規則により次ぎのように規定されている。

全ての資格者： 21歳以上であること

施設長： ① 本件と直接かつ十分に関わりのある専門課程の工学士の資格をもつもので、継続して少なくとも1年間は施設長の下で仕事をした経験のある者または、② 継続して少なくとも2年間、海軍または鉄道の機械技術者としての経験もしくは施設長としての勤務経験をもつ者

オペレータ： ① 3年以上の火夫経験がありその証明書を有するもので、かつ該当する筆記試験に合格することまたは、② 圧力容器の作業を熟知し、かつ筆記試験に合格した者で火夫の資格をもつ者

火夫： 6ヶ月以上の火夫経験があり、該当する筆記試験に合格した者

これらの特殊な人物は、労働省の社会安全総局に登録される。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。

2.7.2 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。コースの概要は下記の通りである。

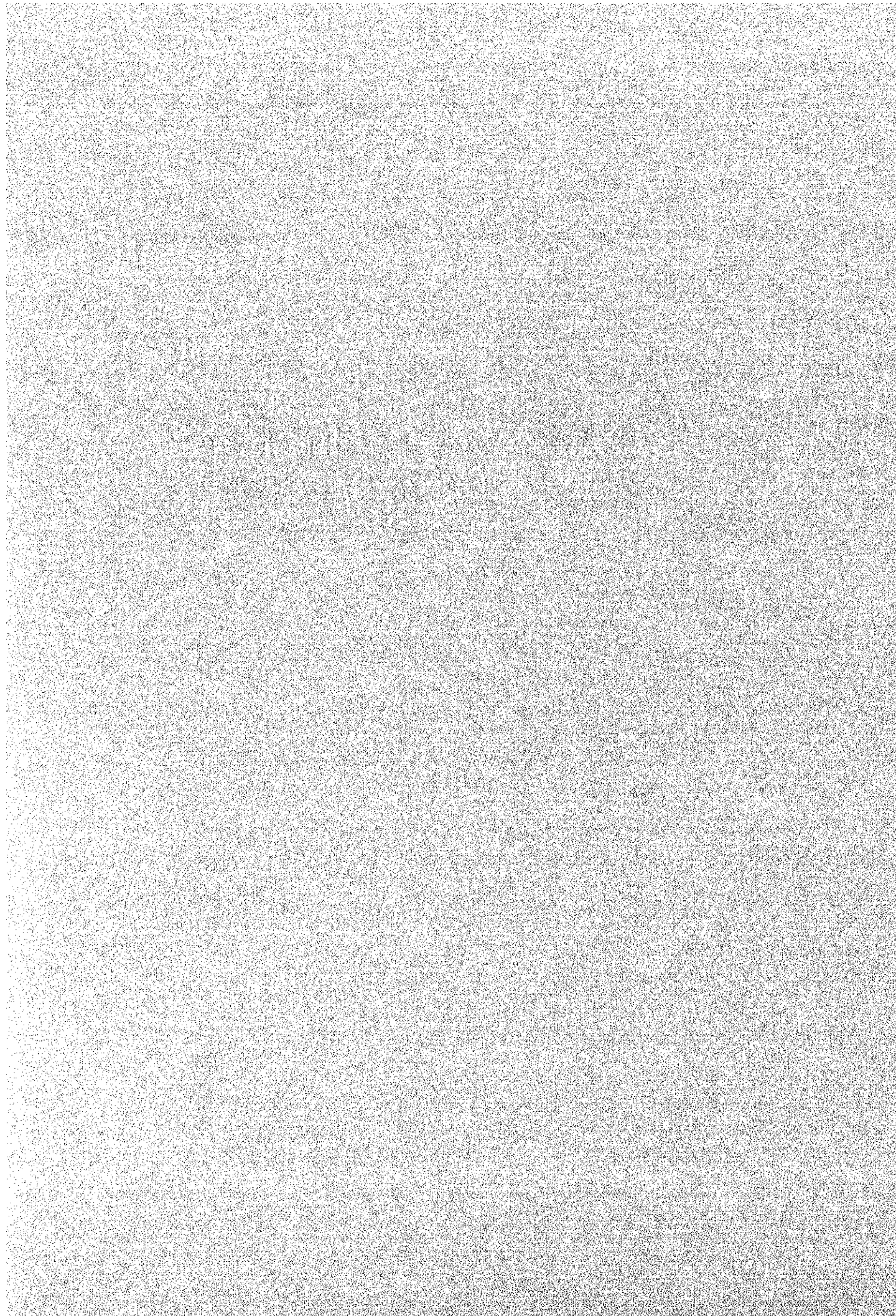
主 題 : ボイラー、直接加熱炉、電気炉の運転におけるエネルギー節約
講習形態 : 講義と実機を借りておこなう実習
講習期間 : 40時間（燃焼設備の種類ごとに1週間）
類 度 : 年1回（通常8月と9月）
受講対象 : 該当施設の運転もしくは保守に従事するもの
講 師 : 外部から招待（民間企業または国立研究所の専門家）

受講料 : 40 時間の講習あたり 1,500 新ペソ

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。

ATPAE と呼ばれる任意団体（エネルギー利用技能者・専門家協会）もまた、エネルギー節約と環境保護に関連したテーマの 1 週間セミナーを毎年開いている。

第3章 メキシコ市首都圏の 固定発生源の状況



第3章 メキシコ市首都圏の固定発生源の状況

首都圏の固定発生源である燃焼施設における燃焼管理および汚染物質の排出とその対策の実態を知るための調査を行った。より包括的な類似の調査は、1990年から1991年にかけてのJICAによる「大気汚染固定発生源対策計画調査」（以下「前回調査」と云う）で行われている。今回は、主としてボイラー施設を対象とし、前回調査時点からの改善状況および問題点を解析した。

3.1 調査の種類と対象の選定

前回調査では、都市開発・環境省（SEDUE）保有の数百企業の基本データおよびDDFとEDOMEX管轄の商業・サービス事業所のリストをもとに、以下のいずれかの条件にあてはまる約100の工場・事業所を選定し、訪問調査を行った。

- (a) 調査の実施細則で、診断調査を行うことになっている以下の25の工場または施設
 - 発電所（2）
 - 石油精製プラント（1）
 - 工業用ボイラー（10）
 - 特殊工業用炉（9）
 - 化学工場（3）
- (b) 工場として大規模なもの
- (c) 汚染物質の排出量の大きいもの
- (d) DDFとEDOMEXが監視責任を持つ商業・サービス事業所のうち、代表的と考えられるもの

なお、訪問調査を実際に行うことができたのは97企業であった。更に97企業より、上記（a）の条件にあてはまる施設を選定し、排ガスの測定を含む診断調査を行った。

今回は、調査の実施細則に従い、以下のような調査を行った。

(1) 工場概略調査

前回訪問調査を行った97企業から商業・サービス施設を除き、現在も稼働している工場に上記（b）と（c）の条件によりINEが選定した工場を加えた約100の工場を対象に、質問票によるアンケート調査を行った。しかし、有効な回答をしたのは47工場であった。

(2) 工場の診断調査

アンケート調査に回答した47工場のうち、ボイラーを保有する工場を主体に以下の25の工場を選定し、診断調査を行った。

- 1) 前回調査で診断調査を行った25事業所から、商業・サービス事業所、閉鎖された工場、および今回の調査に応じなかった工場を除き、更にガラス工場は1社を残して他は除いた合計16工場。
- 2) アンケート調査に回答した工場のうち、前述の (b) と (c) の条件によりINEが選定した9工場。

上記1)のうち、排ガスの自動測定を行っている工場を除いた13の工場においては、排ガス中のNO_x濃度等の測定も行った。

(3) 商業・サービス事業所ボイラーの診断調査

首都圏においてボイラーを使用する商業・サービス事業所のうちDDFとEDOMEXが選定した比較的大規模な10事業所を訪問した。この中から調査に応じなかった1事業所と、給水流量および燃料消費量を測定する計器がなく、ボイラー効率の算出など診断の不可能な4事業所を除き、他の5事業所のボイラーについて診断調査を行った。

3.2 アンケートによる工場の概略調査

3.2.1 調査の概略

アンケート調査を開始するにあたり、1993年8月12日に紙パルプ工業協会ホールにおいてINEによる説明会を開催したところ、30以上の企業より約50人の出席者があった。説明会では、出席者に対し、調査目的とアンケートの回答の方法について説明が行われた。なお、アンケートの質問項目と回答様式はData Bookに示す。また、出席しなかった企業に対しては、INEより後日質問票を送付した。1993年9月末までの回答期限内に、47の工場が合計143の燃焼施設に関して回答を提出した。

3.2.2 調査結果

調査結果の詳細はData Bookに示す。

NO_x排出削減と省エネルギーの観点から前回調査の状況と比べた場合、46工場の現在の状況は、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NO _x 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 |

3.3 工場の診断調査

3.3.1 調査の目的と方法

(1) 調査の目的

アンケートに応じて燃焼施設の情報を提供した47工場中、No.1～No.25の25工場（Data Book参照）について診断調査を行った。このうち、13工場（No.1～No.10およびNo.12～No.14）の燃焼施設において、煙道ガスの測定を行った。診断調査の目的は以下のとおりである。

- 1) 前回調査の結果との比較
 - ・ 燃焼機器の評価と更新の進展
 - ・ 燃料転換とこれに続くバーナの交換の現状
 - ・ 省エネルギー機器の有無
 - ・ 安全管理機器の現状
 - ・ 燃焼管理機器の現状
 - ・ 採用されたNO_x削減の方法
- 2) 前回調査の後に強化されたNO_x排出基準との比較
- 3) 燃焼効率の測定とその評価
- 4) 低酸素燃焼の現状とその評価

(2) 調査対象工場の分類

診断調査の対象となった25工場の使用燃料および燃焼施設による分類は以下のとおりである。

1) 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) 燃焼施設による分類

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

(3) 診断調査の項目と方法

- 1) 燃焼機器の評価
- 2) 燃料と燃焼状態の評価
- 3) 13工場の煙道ガスと燃焼効率の測定
- 4) 燃焼機器運転責任者との論議
- 5) 煙道ガス測定項目と機器
 - a. NO_x
 - ・島津製作所： NOA-305A ケミルミネッセンスタイプ
 - ・スパンガス： 292 ppm
 - b. 酸素、CO、未燃物（HC）、CO₂、燃焼効率
 - ・テレグインアナリティカルインストルメント： MAX 5
 - ・酸素用スパンガス： 20.9 % (大気)
 - ・CO用スパンガス： 909 ppm
 - ・可燃物（HC）用スパンガス： 3.5%
 - c. 排ガス温度：K 熱電対

6) 燃焼効率の計算

$$\text{効率} = 100 - K3 - (K1 \times T) / \{K2 \times (1 - O2/21)\}$$

- ここで、
- T：排ガス温度（℃）
 - O₂：排ガス中の酸素濃度（%）
 - K₁：燃料組成の補正係数
 - K₂：理論最大CO₂濃度
 - K₃：潜熱（湿損失）の補正係数

	K ₁	K ₂	K ₃
天然ガス	0.38	11.8	11.0
ガスオイル	0.56	15.6	6.0

3.3.2 診断調査の結果

診断調査の結果の概要を以下に示す。詳細は Data Book に記載してある。

(1) [No.1] 石油化学製品工場（A）

- 1) 施設の種類： プロセス用ボイラー（13トン/時）
（使用燃料：ガスオイル）
- 2) 調査時燃焼効率： 84 %
- 3) 採用しているNO_x排出低減方法： 重油からガスオイルに燃料転換（1992年に転換）
- 4) 排ガス測定器： なし

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者（年月日）：調査団（1994.2.1）

濃度（排出基準）：98ppm（150ppm）

6) 所見

イ) 排出NO_xは、現状NO_x規制値をクリアしている。

ロ) アンケート調査でのNO_x 321 ppmとの回答は、高すぎるので計測ミスではないかと考えられる。工場はこのような計測値をチェックせずに他の1、2号発電用ボイラーを休止した。

ハ) 燃料転換によるバーナーの改造もせず（改造の必要性を知らない）、かつ、ボイラー運転上の管理計器も不十分である（燃料流量計、圧力計は付いている）。

7) 推奨する対策

イ) 燃料転換に伴うバーナーの改造

（たとえば燃料に見合ったアトマイジングノズルの選定）

ロ) 安定稼働のための管理計器の充実

ハ) 省エネルギーのためエコノマイザー又はレキュペレーターの取付け

(2) [No.2] ゴム製品工場 (A)

1) 施設の種類： プロセス用ボイラー（12トン/時）
（使用燃料：ガスオイル）

2) 調査時燃焼効率： 74%

3) 採用しているNO_x排出低減方法

1992年にバーナーユニット全体を低NO_xバーナーに取換え

4) 排ガス測定器： 酸素コントロール装置

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者（年月日）：調査団（1994.2.2）

濃度（排出基準）：100ppm（150ppm）

6) 所見

イ) 排ガスの酸素コントロール装置を取付けているにもかかわらず、バーナーの燃焼状態が悪いため、有効利用されていない。

ロ) NO_xは規制値をクリアしているが、COの発生量が多く、煙突からの黒煙が視認できる状態である。

ハ) 全体的に装置、計器類及びメーカーカタログ等への通信が目立つ。

7) 推奨する対策

イ) 低酸素燃焼可能なバーナーの改造

ロ) ボイラー管理における技術者、オペレーターの質的向上

ハ) 使用済蒸気ドレンの回収

(3) [No.3] 石油化学製品工場 (B)

1) 施設の種類： プロセス用ボイラー (14 トン/時)
発電用ボイラー (28 トン/時)
(使用燃料：天然ガス)

2) 調査時燃焼効率 プロセス用ボイラー : 81 %
発電用ボイラー : 82 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法： 天然ガスへの燃料転換

4) 排ガス測定器： 酸素計の設置

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.3)
濃度 (排出基準) : プロセス用ボイラー : 60ppm (130ppm)
発電用ボイラー : 75ppm (120ppm)

6) 所見

イ) プロセス用ボイラーには省エネルギー設備は取付けられていないが、発電用ボイラーにはレキュペレーターを取付け、熱回収を図っている。

ロ) プロセス、発電用ボイラー共に、NO_xは規制値を十分にクリアしている。

ハ) 低NO_x対策、省エネルギー対策について、前向きの姿勢が見受けられる。

7) 推奨する対策

イ) プロセス用ボイラーの省エネルギー対策 (エコマイザー又はレキュペレーター)

ロ) 次の段階の低NO_x対策として、バイアス方式、蒸気噴霧方式を採用すれば、一層の効果が期待される。

(4) [No.4] 製紙工場 (A)

1) 施設の種類： プロセス用ボイラー (16 トン/時)
(使用燃料：天然ガス)

2) 調査時燃焼効率： 74 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法： 重油から天然ガスに燃料転換 (1992年に転換)

4) 排ガス測定器： 排ガス温度計

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.4)
濃度 (排出基準) : 55ppm (130ppm)

6) 所見

- イ) 燃料転換に伴い、ボイラーを更新している。また、バーナーには、シーケンス制御を取入れているが、ボイラーの管理計器は不備である。
- ロ) エコノマイザーを取付け、省エネ対策を行っている。
- ハ) 排ガス酸素濃度が8%と高い。
- ニ) ボイラー管理計器の必要性は十分に理解しているが、実行されていない。

7) 推奨する対策

- イ) エコノマイザーも含めたボイラー管理計器の充実
- ロ) 排ガス低酸素燃焼の努力 (使用バーナーは、酸素2%内外で運転が可能と思われる。)

(5) [No.5] 火力発電所 (A)

- 1) 施設の種類： 発電用ボイラー No.1、No.2 (各150トン/時)
発電用ボイラー No.3、No.4 (各350トン/時)
(使用燃料：天然ガス)
- 2) 調査時燃焼効率 発電用ボイラー No.1 : 69%
発電用ボイラー No.4 : 79%
- 3) 採用しているNO_x排出低減方法
発電所に設置の4基のボイラーは全て重油と天然ガスの混焼から天然ガス専焼に切替 (1991年9月)
- 4) 排ガス測定器： 排ガス温度計
- 5) 排ガス中のNO_x濃度
測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.7) 濃度 (排出基準)
: No.1ボイラー : 337ppm (100ppm)
: No.4ボイラー : 70ppm (100ppm)

6) 所見

- イ) No.1ボイラー
 - a. 訪問時、発電所側から提示された1993年9月の測定データによると、定格負荷の90%でNO_x 343 ppmである。今回の測定データは定格負荷の60%でNO_x 337 ppmとほぼ同じ高い値である。
 - b. NO_x値が高いのは、炉内に高温 (炉壁に灼熱がみられる) で燃焼ガスの滞留時間が長い部分が出現する構造が原因と考えられる。
 - c. 停止していたNo.2ボイラーも同じ構造で、NO_x濃度もアンケート調査票によると、No.1ボイラーと同様に高い値である。
 - d. COの発生は、ボイラーに取付けられた6基のバーナーの配置に起因するものと考えられる。
- ロ) No.4ボイラー
NO_x濃度は低く、低酸素でCOの発生も無い良好な運転状況である。

7) 推奨する対策

- イ) No.1、2ボイラーは、建設後40年を経過しており、発電効率は低く、NO_x濃度が高い。設備更新の時期にきているので、発電効率50%以上の最新型廃熱利用の複合ガスタービン(脱硝装置付)に設備を更新することが望ましい。
- ロ) No.3、4ボイラーは、NO_x濃度は低い排出量が多いので、EGRを導入し、より一層のNO_x低減を図ることが望ましい。

(6) [No.6] 紙製品工場 (A)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー No.1 (9.5 トン/時)
(使用燃料:ガスオイル)

2) 調査時燃焼効率 : 81 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法

- 1) 1991年に燃料を重油からガスオイルに転換
- 2) 沈殿物分散効果のある添加剤をガスオイルに混入

4) 排ガス測定器

定置式の測定器はなく、ポータブル型の燃焼試験器(ENERAC MODEL 2000)を所有し、燃焼効率、排ガス温度、酸素、CO、CO₂、NO_x、SO₂を測定する。

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者(年月日) : 調査団(1994.2.8)
濃度(排出基準) : 110ppm(150ppm)

6) 所見

- イ) 燃焼性は良く、煙が出る排ガス酸素の限界点は1.5%である。
- ロ) NO_xに関し、今回の測定結果の示すとおり規制値内であるが、当工場のNO_xへの関心は高く、70 ppm程度まで低減したいと日本の技術協力を要請された。
- ハ) エコマイザーの導入を計画しているが、ガスオイルであり、熱交換器の材質選定に注意が必要である。

7) 推奨する対策

- イ) エコマイザー設置
- ロ) 低NO_xバーナーの設置
- ハ) EGR及び蒸気噴霧等のNO_x低減技術導入
- ニ) 各種流量計を設置し、ボイラーの運転管理

(7) [No.7] 紙製品工場 (B)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラーNo.2、3、5 (各7.8 トン/時)
(使用燃料:ガスオイル)

- 2) 調査時燃焼効率 ボイラー No.2 : 86 %
 ボイラー No.3 : 87 %
 ボイラー No.5 : 83 %

3) 採用しているNOx排出低減方法： 重油からガスオイルへの燃料転換（1992年11月転換）

4) 排ガス測定器： 排ガス温度計のみ

5) 排ガス中のNOx濃度

測定者（年月日）： 調査団（1994.2.9）
濃度（排出基準）： No.2：134ppm（150ppm）
 No.3：113ppm（150ppm）
 No.5：147ppm（150ppm）

6) 所見

- イ) 燃料転換に伴うバーナーの改造がされていない。
- ロ) ボイラー管理計器（特に流量計）が付いていない。
- ハ) NOx排出基準はクリアしているが、130～140 ppm と高いため、負荷によっては規制値をクリアできない可能性が大。

7) 推奨する対策

- イ) ボイラー管理機器の充実（特に流量計）
- ロ) エコノマイザー又はドレン回収による省エネ対策
- ハ) 低NOx対策として蒸気噴霧への変更

(8) [No.8] 化学製品工場（A）

1) 施設の種類： プロセス用ボイラー（3.1 トン/時）
 （使用燃料：ガスオイル）

2) 調査時燃焼効率： 82 %

3) 採用しているNOx排出低減方法

1992年にボイラーは重油からガスオイルに、トリアセテート炉は軽油から軽油（50%）+ガスオイル（50%）に燃料転換

4) 排ガス測定器： なし

5) 排ガス中のNOx濃度

測定者（年月日）： 調査団（1994.2.9）
濃度（排出基準）： 200ppm（150ppm）

6) 所見

- イ) NOxは、規制値をオーバーしている。これは、燃焼室容積負荷及び断面積負荷が極端に高く、かつ、排ガス酸素濃度が高いことに起因する。

- ロ) ドレン回収を行って (50~60%)、省エネに努力している。
- ハ) トリアセテート炉は容量が少なく (10 t/h 以下)、対策の必要はない。
- ニ) ガスオイルから天然ガスへの燃料転換計画中である。

7) 推奨する対策

- イ) 低NO_x対策として、蒸気噴霧方式の採用、低NO_xバーナーの導入
- ロ) 各種流量計を設置し、ボイラーの運転管理

(9) [No.9] 化学製品工場 (B)

- 1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー No.3 (9.4 トン/時)
(使用燃料:天然ガス)
- 2) 調査時燃焼効率 : 82 %
- 3) 採用しているNO_x排出低減方法: 低NO_x対策は考えていない (新設時から天然ガス燃焼のため)
- 4) 排ガス測定器: ハンディータイプの計測器を設置 (NO_x、酸素、CO₂、CO、SO₂を測定)
- 5) 排ガス中のNO_x濃度
測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.11)
濃度 (排出基準) : 87ppm (130ppm)
- 6) 所見
イ) 今後の低NO_x対策のノウハウ収集に積極的である。
ロ) ドレン回収を一部実施しているが、回収量は不明である。
ハ) ガス流量計は、ガス会社 (PEMEX) との契約用流量計であり、各ボイラーには付いていないので、バーナー前にそれぞれ流量計を設置すべきである。
ニ) 給水流量計も付いていない。
- 7) 推奨する対策
イ) ドレン回収の推進
ロ) ボイラー管理計器 (特に流量計等) の充実

(10) [No.10] アルコール飲料工場

- 1) 施設の種類 : 発電用ボイラー No. 3225 (27トン/時)
発電用ボイラー No. 4884 (60 トン/時)
発電用ボイラー No. VU 60H (82 トン/時)
(使用燃料:天然ガス)
- 2) 調査時燃焼効率

No. 3225 :	80 %
No. 4884 :	78 %
No. VU 60H :	77 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法

イ) No.4884にEGRを取付け、その他100トンボイラーは取付け工事中である。

ロ) No. Vu-60IIはEGR設置準備中、100トンボイラー取付け完了後に取付け工事をする。

4) 排ガス測定器

各ボイラーへの切替測定が可能な連続式自動測定器(NO_x、CO、CO₂、酸素、SO₂を計測メーカーは、ALTECHシステムである)が設置されており、現在テスト中である。

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者(年月日) : 調査団(1994.2.14)

濃度(排出基準) : No.3225 : 110ppm(120ppm)

No.4884 : 34ppm with EGR(120ppm)

No.VU-60II : 97ppm(120ppm)

6) 所見

イ) No.4884にEGRが付いているが、EGR量が多く、COの発生が320ppmと高い。

ロ) COに対する認識がうすい。

ハ) ボイラー運転に伴う管理計器はほぼ充実している。

ニ) 4~10月は、ガスオイル燃焼もしくはガス・ガスオイル混焼であるが、大気汚染警報ができれば、天然ガス燃焼にすることに決めている。

7) 推奨する対策

イ) 全ボイラーEGR取付けの早期実現

ロ) EGR量の適正化の推進(排ガス中COは0ppmを目標とすること)

(11) [No.11] セメント工場

1) 施設の種類 : セメント焼成キルン No.7、No.9
(使用燃料:重油)

2) 調査時燃焼効率 : 測定せず

3) 採用しているNO_x排出低減方法

No.7は対策をしていない。No.9は1992年にPILLARD ROTAFLAM低NO_xバーナに交換

4) 排ガス測定器

No.7、No.8(定修中)、No.9計3本のキルン全て1991年11月に導入したデータログにより排ガス成分は常時管理されている。

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者(年月日) : 当工場(1994.2.15)

濃度(排出基準) : No.7 : 343ppm

No.9 : 320ppm

なお、セメント焼成キルンのNO_x排出基準値は定められていない。

6) 所見

- イ) メキシコ首都圏で唯一重油（バンカーC）を使用している工場である。
- ロ) データロガーによる排ガス分析データは、INEに提出される。

7) 推奨する対策

- イ) SPキルンにプレカルサイナーを取付け、クリンカークーラーからの熱風をプレカルサイナーに導くダクトを新設し、省エネルギーに努める。
- ロ) 低空気比燃焼に努力する。

(12) [No.12] 紙製品工場 (C)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー No.1 (8トン/時)
(使用燃料: ガスオイル)

2) 調査時燃焼効率 : 85 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法 : 1991年12月、重油からガスオイルに燃料転換

4) 排ガス測定器

定置式の測定器はなく、隣接する同社小型カートン部門工場ボイラーと共有のポータブル型燃焼試験器 (ENERAC 2000) による測定

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.16)
濃度 (排出基準) : 65ppm (150ppm)

6) 所見

- イ) オペレータは、小型カートン部門工場と同じであり、NO_x低減、省エネに関心が高い。
- ロ) 煙突内部にコイル型のエコノマイザーを設置 (材質カーボンスチール)
- ハ) 排ガス分析データによると、酸素、NO_xともに問題はない。
- ニ) エコノマイザーのない小型カートン部門工場ボイラに比べ、エコノマイザーを取付けたこのボイラーの排ガス温度は 180℃と低い、腐蝕防止のため 160℃以下にしないこと。

7) 推奨する対策

- イ) 低NO_xバーナー
- ロ) EGR、蒸気噴霧等のNO_x低減技術導入が望ましい。
- ハ) 給水流量計を設置し、ボイラー効率の測定を含めたボイラーの運転管理を行うこと。

(13) [No.13] 製紙工場 (B)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (45.4 トン/時)
(使用燃料: 天然ガス)

2) 調査時燃焼効率 : 72 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法

工場側は、現状NO_x、COとも規制値以下であるので必要ないと言っているが、NO_x排出基準をオーバーしており、低減対策は必要である。

4) 排ガス測定器

NO_x、CO、SO₂、酸素自動連続測定システム (ALTECH システム) が1993年7月に設立されテスト中であるが、NO_x標準ガスが一週間前より空瓶となっている。

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.17)

濃度 (排出基準) : 140ppm (120ppm)

6) 所見

イ) アンケート調査のNO_xの低すぎる値は計測業者の責任であるとしている。

ロ) ドレンを回収しており、省エネに積極的である。自動連続測定器を導入する等、大気汚染対策にも前向きな姿勢が見られるが、天然ガス燃焼にしてはNO_x、CO共に規制値をオーバーしているため、バーナーの交換が望まれる。

7) 推奨する対策 : バーナーをリング式に交換する。

(14) [No.14] 化学製品工場 (C)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー B (15.5 トン/時)

プロセス用ボイラー D (6 トン/時)

(使用燃料 : 天然ガス)

2) 調査時燃焼効率 ボイラー B : 78 %

ボイラー D : 79 %

3) 採用しているNO_x排出低減方法 : 天然ガス燃焼のため、当面考えていない。

4) 排ガス測定器 : オルザット分析計

5) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 調査団 (1994.2.18)

濃度 (排出基準) : No. B : 77ppm (130ppm)

: No. D : 88ppm (130ppm)

6) 所見

イ) アンケート調査時の排ガス分析の計測方法にミスがあった。

ロ) 今回の排ガス計測では、NO_x、COともに規制値はクリアしている。

ハ) 化学専門のエンジニアが多く、ボイラーのエンジニアは1人であり、ボイラー6基を所有する事業所にしてはエンジニア不足である。

ニ) 省エネ対策があまりされていないが、レキユベレーターの取付け計画がある。

7) 推奨する対策

イ) レキュベレーター導入により、燃焼用空気温度が高くなるため、NO_x値が上昇すると思われるので、蒸気噴霧等の低NO_x対策が必要である。

ロ) ボイラー管理計器（特に流量計）の充実

(15) [No.15] 金属製品工場 (A)

1) 施設の種類 : アルミニウム溶解炉 (20 トン/チャージ)
(使用燃料: 天然ガス)

2) 採用しているNO_x排出低減方法: 天然ガス使用のためなし

3) 排ガス測定器: なし

4) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 測定会社 (定期的)

濃度 (排出基準) : 10ppm程度 (なし)

5) 所見

イ) 排ガス測定は測定会社に委託して定期的に行っている。

ロ) 排ガスの管理は、この小容量炉の煙突を通して行っている。

6) 対策

イ) NO_x濃度は低いので、対策の必要はなし。

ロ) 燃料流量計を設置して燃焼効率の管理を行う。

(16) [No.16] 繊維工場

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (8.3 トン/時)
(使用燃料: ガスオイル)

2) 採用しているNO_x排出低減装置

1991年秋に PEMEX より重油の供給は不可能になるとの通知により、燃料を重油からガスオイルへ切り換えた。

3) 排ガス測定器

スモークテスター、ガス検知管、MAX 5、ばい煙測定装置 (全てポータブルタイプ)

4) 排ガス中のNO_x濃度

測定者 (年月日) : 測定会社 (不明)

濃度 (排出基準) : 3.8ppm (150ppm)

5) 所見

イ) ボイラーを管理していた人が退職し、後継者がまだ決まっていない。調査団の質問に

に対する回答は、十分な技術的背景がないので信頼できない。

ロ) ボイラーの安全管理は信用できない。

ハ) 排ガスNO_x濃度は3.8 ppm との回答であるが異常に低い。プラントから測定を委託されているコンサルタントに測定データの正当性を質問したが、具体的回答はなかった。

ニ) ガスオイルから天然ガスへの変更を計画中である。

6) 推奨する対策

イ) ボイラーの運転とメンテナンス用の技術職員を養成する。

ロ) 必要な制御装置の設置によるボイラー効率の改善。

(17) [No.17] 紙製品工場 (D)

1) 施設の種類 : 発電用ボイラー (107 トン/時)
(使用燃料:天然ガス)

2) 採用しているNO_x排出低減方法

このプラントは、天然ガスしか使用しておらず、ボイラーの排出ガスは規制をクリアしている。そのため、NO_x低減対策は現在行っていない。しかし、将来のより厳しい規制にそなえて、でき得る対策をボイラーメーカーと共に検討している。

3) 排ガス測定器: 酸素、CO₂、SO₂、NO_xを測定できる Bacharach #300 がある。

4) 排ガス中のNO_x濃度

測定者(年月日) : 当工場 (1993.11)

濃度(排出基準) : 90ppm (100ppm)

5) 所見

イ) 排ガス酸素濃度が6%と、天然ガスのみ燃焼にしては高い。酸素濃度3%での運転が望ましい。

ロ) このプラントは、エコマイザーとドレン回収装置を持つなど省エネルギーに熱心である。

ハ) ボイラー管理計器はほぼ充実している。

6) 推奨する対策

低酸素運転ができるようにバーナを改善する。

(18) [No.18] ガラス工場 (A)

1) 施設の種類 : グラスファイバー用溶解炉 (30.5 トン/日)
(使用燃料:天然ガス)

2) 採用しているNO_x排出低減方法: 酸素バーナーの使用

3) 排ガス測定器: 酸素計

4) 排ガス中のNOx濃度

測定者（年月日）：測定会社（1994.1）
濃度（排出基準）：6ppm（なし）

5) 所見

- イ) 1993年より、総合3ヶ年計画に基づき、省エネルギーと大気汚染対策（排ガス抑制と粉塵抑制）の研究を行っている。
- ロ) 炉の耐火レンガが著しく損傷している。耐火レンガは1,500℃までの規格であるが、炉の温度は1,550℃である。
- ハ) 酸素バーナーの採用は、NOx排出低減及び省エネルギーに大きく貢献した。現在の排ガスNOx濃度は6ppmと報告されている。以前のJICAの調査時は1,200ppmであった。このプラントによれば、酸素バーナーによる高温燃焼のため、総エネルギーとして5%の節約となっている。しかし、2)の耐火レンガの対策が必要となっている。

6) 推奨する対策

- イ) 炉体の修復とより高温に耐えうるレンガの使用
- ロ) 適切な建造法による炉体精度の改善

(19) [No.19] 化学製品工場（D）

1) 施設の種類： 加熱炉 (200 トン/チャージ)
プロセス用ボイラー (4.4 トン/時×2)
プロセス用ボイラー (6.2 トン/時)
(使用燃料：天然ガス)

2) 採用しているNOx排出低減方法： 天然ガスのみを使用している。

3) 排ガス測定器：

ENERAC 2000（ポータブルタイプ）がある。これは、排ガスの酸素、CO、CO₂、NOx濃度の測定と、燃焼効率の測定に使われている。

4) 排ガス中のNOx濃度

測定者（年月日）：当工場（1992.12）
濃度（排出基準）：加熱炉：酸素17%で500ppm（なし）
ボイラー：測定値なし（130ppm）

5) 所見

イ) 加熱炉

- a. 1992年12月に、炉の天井高さが5mから3.5mに変更された。結果として、燃料消費原単位がトン当たり150m³から115m³へ減少し操業効率は改善した。
- b. 1994年1月の煙道ガス測定データでは、ばいじん濃度が規制値をクリアしている。
- c. 省エネルギーに関して、グループ企業間で会合が定期的に行われている。話題は、排ガス利用などの施設の改善で、効果的な対策が実現されている。
- d. 4基の各ガスバーナーに対してガス流量計が設置されている。

ロ) プロセス用ボイラー

天然ガス専焼へ切り換えた後、対策は取られていない。

6) 推奨する対策

イ) 加熱炉

- a. 燃焼効率が上がれば、NO_x濃度も上昇する。NO_x減少は、費用効果を考慮の上、進められるべきである。
- b. 壁面からの熱ロスを減ずるため、炉壁には良質の耐熱材を使う。

ロ) プロセス用ボイラー

省エネルギー対策として、給水温度を上げるエコノマイザーの設置

(20) [No.20] 化学製品工場 (E)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (6.0 トン/時)
(使用燃料:天然ガス)

2) 採用しているNO_x排出低減方法

天然ガス用のこのボイラーは、新しく設置されたものである。軽油用の古いものは、現在休止中であるが、緊急時代替用として残している。

3) 排ガス測定器

NO_x、CO、CO₂、SO₂濃度測定用の連続排ガス測定器があり、酸素濃度計と温度計も設置されている。

4) 排ガス中のNO_x濃度

測定者(年月日) : 当工場(1994.2.8)
濃度(排出基準) : 43ppm(130ppm)

5) 所見

- イ) ボイラー運転制御は、ボイラー効率の測定も含め、行われている。
- ロ) 省エネルギー及び燃焼効率の向上は、新設ボイラーによって達成されており、ボイラー効率は91%である。
- ハ) このプラントは、熱管理と大気汚染対策に熱心なようである。

6) 推奨する対策 : 特になし

(21) [No.21] ゴム製品工場 (B)

1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (3.1 トン/時と 2.0 トン/時)
熱媒プロセス用ボイラー (1.15 Gcal/時)
(使用燃料:軽油)

2) 採用しているNO_x排出低減方法

1992年に燃料を軽油に切換えた。それ以来、排ガスNO_x濃度は、排出規制をクリアしている。

3) 排ガス測定器

- イ) NO_x、CO、CO₂、酸素濃度と燃焼効率を測定できるハンディータイプの測定器 (Test Term 製) がある。
- ロ) オルザット分析計がある。

4) 排ガス中のNO_x濃度

- 測定者 (年月日) : 当工場 (1994.2.8)
- 濃度 (排出基準) : 3.1トン/時ボイラー : 104ppm (150ppm)
2.0トン/時ボイラー : 139ppm (なし)
熱媒ボイラー : 73ppm (なし)

5) 所見

- イ) プラント全体の生産工程・省エネルギーの見直しを行っており、電気・水道・燃料消費の20%削減を目標に努力している。
- ロ) ボイラーの省エネルギーを考慮しつつ、蒸気管の断熱を施し、ドレン回収を強化している。
- ハ) このプラントは、流量計のような測定器を使ったボイラーの運転管理の必要性を良く認識しており、次の段階でそのような装置の設置を考えている。
- ニ) 以上から、このプラントは、省エネルギーとこれらの測定を実施することについて良く理解しているように思われる。

6) 推奨する対策

- イ) ドレン回収向上
- ロ) ボイラー管理計器、特に流量計の設置

(22) [No.22] 製紙工場 (C)

- 1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (60 トン/時)
(使用燃料: 重油)

- 2) 採用しているNO_x排出低減方法
このプラントは、首都圏外にあり、許可を得て重油を使用している。

3) 排ガス測定器

- NO_x、SO₂、CO、CO₂、酸素濃度を測定できる連続排ガス測定器の設置を現在計画している。

4) 排ガス中のNO_x濃度

- 測定者 (年月日) : 当工場 (1994.2)
- 濃度 (排出基準) : 150ppm (230ppm)

5) 所見

- イ) 以下の省エネ対策を実施している。
 - a. レキュベレーターを設置
 - b. 蒸気管及び他の管の熱絶縁

- c. 排ガス酸素濃度の観点で、バーナーの校正を行っている。
- ロ) 必要な燃焼管理装置の中で、低水位遮断器がない。必要な安全管理装置の中でフレアムアイがない。これらは、ボイラー運転の安全性に欠けていることを示す。
- ハ) ばいじん濃度は277 ppmで、規制値(300 mg/Nm³)以内であるが相対的に高い。将来、より厳しい規制が実施された場合、このプラントのばいじん排出量は、規制をクリアできないであろう。

6) 推奨する対策

- イ) ボイラー燃焼管理計器の十分な備え
- ロ) 集塵器の設置などのばいじん排出削減対策

(23) [No.23] ゴム工場

- 1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (0.94 トン/時)
(使用燃料: 軽油)
- 2) 採用しているNO_x排出低減方法: なし
- 3) 排ガス測定器: 排ガス温度計(バイメタル式)が設置されているだけである
- 4) 所見
 - イ) このボイラーは、小規模のため、排出基準の適用を受けない。排ガスNO_x測定の記録はなし。
 - ロ) プラントによれば、ボイラーの保守管理は、バーナーの燃焼を調節管理するサービス会社にまかせてある。しかし、メンテナンス会社は、その仕事をできる能力があるのか疑問である。
- 5) 推奨する対策
 - イ) 給水流量計、給油流量計を設置し、燃料消費原単位の管理
 - ロ) ポータブル酸素濃度計を使つての排ガス酸素濃度の管理

(24) [No.24] ゴム製品工場 (C)

- 1) 施設の種類 : プロセス用ボイラー (3.13 トン/時)
(使用燃料: 軽油)
- 2) 採用しているNO_x排出低減方法: 1992年に燃料を重油から軽油に切替えた。
- 3) 排ガス測定器: ポータブルタイプの測定器が使用されている。
- 4) 排ガス中のNO_x濃度
測定者(年月日) : 当工場(不明)
濃度(排出基準) : 40ppm (150ppm)
- 5) 所見
 - イ) ドレン回収は、ほぼ100%行われている。蒸気管の断熱、漏れは定期的に検査・修繕さ

れている。

ロ) このプラントは、軽油からLPGへの燃料切換えを望んでいる。しかし、NOx、ばいじんとともに規制値をクリアしているため、その必要はないと思われる。

6) 推奨する対策： 給水流量計と給油流量計の設置によるボイラーと燃料消費原単位の管理

(25) [No.25] 火力発電所 (B)

1) 施設の種類： 発電用ボイラー U-1 (476 トン/時)
発電用ボイラー U-2 (504 トン/時)
発電用ボイラー U-3 (504 トン/時)
発電用ボイラー U-4 (905 トン/時)
(使用燃料：天然ガス)

2) 採用しているNOx排出低減方法

4つのボイラー全てが天然ガス専焼である。U-1では、EGRを採用している。

3) 排ガス測定器

4つのボイラー全てに、NOx、酸素、CO濃度と温度を測定する連続排ガス測定器が設置されている。

4) 排ガス中のNOx濃度

測定者(年月日)：当プラント(不明)
濃度(排出基準)：U-1：55ppm(100ppm)
U-2：35ppm(100ppm)
U-3：40ppm(100ppm)
U-4：120ppm(100ppm)

5) 所見

イ) 排ガス酸素濃度は、発電用ボイラーとしては高い(U-1、2、3は4%、U-4は6%)。

ロ) U-4の排ガスNOx濃度は120ppmと規制値を超えている。

ハ) 発電単位出力当りの燃料消費量の観点から操業を管理することが理想的である。

6) 推奨する対策

イ) EGR等によるU-4ボイラーのNOx排出量の削減

ロ) ボイラー効率と発電コスト原単位の組織的管理

3.4 商業サービス事業所ボイラーの診断調査

3.4.1 調査施設

商業・サービス事業所のボイラーの診断調査を行った。調査施設は下記のとおりであり、DDF及びEDOMEXによって提案された10事業所を訪問し、給水量と燃料消費量を測定し得る施設を選択した。

No.	事業所	訪問日(1993)	従業員数(労働者)
48	病院 (A)	7月28日	610 (558)
49	病院 (B)	7月29日	132
50	ホテル	7月30日	850
51	医薬品製造所	8月3日	170 (107)
52	スポーツ クラブ	8月7日	214

3.4.2 調査結果

調査結果の概要は下記のとおりであり、詳細はData Bookに記載してある。

(1) [No.48] 病院 (A)

1) 調査設備： 水管ボイラー No.1、No.2、No.3 (各 1.96 トン/時)
(使用燃料：ガスオイル)

2) 所見

Queen City エンジニアリング社製の水管ボイラー3基が、病院のユーティリティ用に設置され、訪問時2基が運転中で、1基は50%負荷で燃焼量を固定し、他の1基で負荷変動に対応する運転方式であった。1990年に燃料を重油からガスオイルに転換したが、バーナは重油仕様のまま運転している。燃焼状態は空気比が高く輝炎で、炎の先端に一部炭粒燃焼がみられ、ガスオイル燃料の霧化粒径の粗いことがわかる。

3) 推奨する対策

- a. バーナ空気ノズル及び油吐出口をガスオイル用に交換し、燃料粒径を微細化し、一次及び二次ダンパを調節、低空気比運転を行う。
- b. 低NO_xバーナ、蒸気霧化の採用
- c. 病院側コメントの通り、ボイラーを更新する。

(2) [No.49] 病院 (B)

- 1) 調査設備： 炉筒煙管ボイラー No.1 (9.4 トン/時)
炉筒煙管ボイラー No.2 (2.5 トン/時)
炉筒煙管ボイラー No.3 (1.5 トン/時)
炉筒煙管ボイラー No.4 (5.5 トン/時)
(使用燃料：軽油)

2) 所見

Cleaver Brooks 社製炉筒煙管式ボイラ 3 基及び Power Master 社製炉筒煙管式ボイラ 1 基が、病院のユーティリティ用に設置され、訪問時は No. 1 の 1 基が自動運転中であつた。空気霧化の半内部混合型のバーナで、重油仕様のままのノズルを使用している。燃焼用空気は、送風ダクトにリンクする可変スリットで量を制御され、スワラーを経てノズルに至る。ノズルの噴射範囲に近接する円周上に穴明き板が取付けてある。燃焼室前部に耐火材が敷設されていることから、広角で噴霧した場合には、燃焼時、耐火材が赤熱状態となり、NO_xが高濃度になる可能性がある。

重油から軽油への燃料転換時、霧化媒体を空気から自己発生蒸気に切換えテストしたが、激しい振動燃焼が発生し、再び空気霧化に復したとの説明があつた。これは、霧化蒸気にドレーンの混入が多いことが原因であり、再度蒸気霧化燃焼の試みを提言したい。ノズル近辺に多孔板をもつ現有のノズルと低NO_x蒸気霧化用ノズルとの比較検討が望まれる。

4 基とも、煙突頂部に簡易集じん器が設置されている。以前重油焚きの時、ボイラ室周辺の道路、自動車上にアシッドマッドが降下したため、対策として取付け、かなりの効果があつたとのことである。

3) 推奨する対策

- a) 軽油仕様にバーナノズルを変更し、最適な空気比で運転
- b) 低NO_xバーナの使用
- c) 排ガス再循環、蒸気噴霧の採用
- d) 給油流量計、給水流量計を各ボイラごとに取付け、常時ボイラ効率のチェックと省エネ対策を行うこと。

(3) [No.50] ホテル

- 1) 調査設備： 炉筒煙管ボイラー No.2 (7.84 トン/時)
(使用燃料：LPG)

2) 所見

Cleaver Brooks 社製炉筒煙管式ボイラ 3 基が、ホテルのユーティリティ用に設置され、

No. 1 及び No. 2 は LPG 専焼、No. 3 は軽油専焼予備機である。訪問時は No. 2 の 1 基が自動運転中であった。

燃焼状態は、火炎中心部が透明で、バーナタイル出口付近から燃焼が始まり、紫赤色炎である。燃焼室熱負荷は 1×10^6 kcal/m²h を超え、また、燃焼室の内壁がバーナから約 1.5 m の奥行まで耐火材で形成されていることにより、耐火材が赤熱状態となるため、NO_xが高水準になる可能性がある。

3) 推奨する対策

- a. 低NO_xバーナと蒸気霧化の採用
- b. 地下2階ボイラ室に可燃性ガス検知警報器を設ける。
- c. 各ボイラごとに、燃料流量計、給水流量計を取付け、常にボイラ効率をチェックし、省エネルギー対策を行う。

(4) [No.51] 医薬品製造所

1) 調査設備： 乾燥用ボイラー (1.17 トン/時)
(使用燃料：軽油)

2) 所見

横置多管式ボイラで、蒸気は薬品の乾燥に使用されている。回転霧化バーナ（ロータリーバーナ）で、霧化燃料の粒径は粗い。燃焼室熱負荷は 23×10^4 kcal/m²h と低く、概念上NO_xも低水準と思いがちであるが、設計ボイラ効率 70 %、実機では 60 % 台であり、また、構造上考えられる熱分布の不均一がNO_x濃度を押し上げる可能性もある。

3) 推奨する対策

- a. ボイラ効率の向上
- b. 自然通風を押し込通風にして、酸素濃度を正確にコントロールする。
- c. ボイラの更新

(5) [No.52] スポーツクラブ

1) 調査設備： 水管ボイラー No.2 (9.0 トン/時)
ボイラー (5.0 トン/時)
(使用燃料：ガスオイル)

2) 所見

Babcock & Wilcox de Mexico 社製蒸気ボイラで、蒸気は温水プール他クラブ内施設のユーティリティーに使用されている。訪問時、No. 2 のボイラが運転中であった。バーナはメキシコシティーで多く使用されている Y ジェット、蒸気霧化の外部混合型

であり、これは内部混合型ノズルに比べてNO_xが高くなる傾向にある。

燃焼状態は、50%負荷以下で過小負荷燃焼の際多く見られる通称ヤツデ燃焼を示し、それ以上の負荷になると火炎がまとまってくる。したがって、50%以上の負荷で運転することが望ましい。燃焼用空気の偏流が原因で、火炎は均一でなく、片寄っている。訪問調査中、定格（最大）に近い負荷で燃焼してもらったが、それでも燃焼室後半部にはかなりの余裕が見られた。

当施設にはオルザット分析計があるが、排ガスの定期的測定は測定会社が行っている。過去の排ガス測定データは、空気過剰燃焼であることを示している。

バーナユニットは、米国COEN社の改造型で、日本でも中容量ボイラに数多く使用されている。キャップの近辺は負圧のゾーンが形成され、バーナシールド前面への燃焼ガスの戻りが大きい。負荷は小さいが、ノズルがNO_x濃度が高くなり勝ちな外混型であり、さらに酸素濃度が6~9%の過剰空気燃焼であることをあわせて考えると、NO_xは排出基準値ギリギリか、若干上回る程度であると推定される。

3) 推奨する対策

- a. 前回調査時指摘と同様、低酸素燃焼を行うこと。
- b. バーナアトマイザーの低NO_x化を検討する（内部混合への変更）。
- c. バーナスロート部の燃焼用空気を均一化するように検討する。
- d. 給油流量計をボイラごとに取付け、ボイラ効率の向上、省エネルギーについて検討する。

3.5 問題点および考察

3.5.1 燃焼設備の現状

(1) 燃焼管理装置の設備状況

燃焼設備は、一般的に燃焼管理装置を必要とする。これらの装置は設備の運転状況を検出・報知し、操作因子を調節または運転モードを変える機能を持っている。ボイラーの安全および低 NOx 運転に必要な最小限の燃焼管理装置の組み合わせを、表 3.5.1 にボイラーの燃料種別に示す。低 NOx 燃焼技術が導入される場合には、自動燃焼管理装置は所期の目的をより効率的かつ安定的に達成することに役立つ。

表 3.5.1 ボイラー用燃焼管理装置一覧

燃焼管理装置、略号	燃料別適応ボイラー	
	油ボイラー	ガスボイラー
水面計 WL	○	○
低水位遮断装置 LW	○	○
蒸気圧力計 SP	○	○
自動給水装置 AW	○	○
給水流量計 WF	○	○
火炎検出器 FE	○	○
遮断弁ユニット SV	○	○
空気圧センサ AP	○	○
調整器後圧力計 PR	○	○
給油流量計 OF	○	
油温度計 OT	○	
油圧力計 OP	○	
霧化蒸気圧力計 ASP	○	
遮断弁後ガス圧力計 PS		○
バーナ吸入ガス圧力計 GPB		○
ガス圧力限界スイッチ GPL		○
ガス流量計 GF		○

メキシコ首都圏のボイラーにおける上記の装置の普及状況をアンケートにより調査した。回答のよせられた42社の94ボイラー施設で、内訳は軽油ボイラー11施設、ガスボイラー50施設、ガスオイルボイラー33施設である。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、診断調査を実施した少数の企業を除いて、原則としてアンケートによって把握した。調査の結果は、表 3.5.2 に示すとおりである。

表 3.5.2 調査した企業における燃焼管理装置の状況

燃焼管理装置		ボイラ種別装置個数			ボイラ種別装置設置率 (%)			
		軽油用	ガス用	ガスオイル用	軽油用	ガス用	ガスオイル用	平均
水面計	WL	11	48	30	100	96	91	95
低水位遮断装置	LW	11	47	26	100	94	79	89
蒸気圧力計	AW	10	48	31	91	96	94	95
自動給水装置	SP	11	48	31	100	96	94	96
給水流量計	WF	0	32	15	0	64	45	50
火炎検出器	FE	11	46	23	100	92	70	85
遮断弁ユニット	SV	7	47	29	64	94	88	88
空気圧センサ	AP	3	39	15	27	78	45	61
調整器後圧力計	PR	4	48	17	36	96	52	74
給油流量計	OF	1	-	18	9	-	55	43
油温度計	OT	5	-	17	45	-	52	50
油圧力計	OP	7	-	27	64	-	82	77
霧化蒸気圧力計	ASP	5	-	22	45	-	67	61
遮断弁後ガス圧力計	PS	-	49	-	-	98	-	98
バーナ吸入ガス圧力計	GPB	-	49	-	-	98	-	98
ガス圧力限界スイッチ	GPL	-	43	-	-	86	-	86
ガス流量計	GF	-	42	-	-	84	-	84

燃焼管理装置の普及状況は、以下のとおりである。

1) 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る。設計水位より低い水面によって生ずる異常過熱は、火炎及び煙に接触する部分に変形や、はなはだしい場合には破裂による損傷に通じる。これらの装置は一体となって、ボイラー内の水位を安全な水準に保つ。

これら3つの装置全てを設置している施設は調査した94施設中89%であった。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おける低NOx運転の必要性は、ガスや軽油用ボイラーよりも高いことからこれらの管理装置の設置比率を早急に高める必要がある。

2) 蒸気圧力計

この装置は、発生した蒸気の圧力を示し、ガスオイルやさらに重質の油の点火に適したレベルに達したか否か、設計安全圧力を超えているかあるいは超えようとしているか否かを知ることができる。この装置は、ほとんどすべての調査対象ボイラーに設置されていた。

3) 給水流量計、給油流量計、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してボイラー効率を知るために不可欠である。給水流量計の油ボイラーへの普及状況は不十分であり、軽油ボイラーでゼロ、ガスオイルボイラーで45%であった。給油流量計も設置比率が低い。一方、ガスボイラーはいずれの計器も設置比率が84%をこえていた。

4) 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が送られ続けると、次の点火時に爆発の可能性があるため、この機能は安全運転にとって決定的に重要である。これらの平均設置比率は、それぞれ 85 % 及び 88 % であった。

5) 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）

適切な燃焼空気圧は燃料圧力とともに正常な燃焼の必須の要素である。両方の要素は、圧力計の指示にしたがって燃焼状態を効率的かつ低 NO_x 状態に保つように制御される。同様の見地から上記の油圧力計及びガス圧力計もまた燃焼を最適状態に管理する必須の装置である。これらの装置のうちガス圧力計（調整器後及びバーナ吸入部）は、もっぱらガスボイラー用で、安全運転のために使われる。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よかった。

6) 油温度計

この装置は、ガスオイルや重油などの予熱温度を監視し調節するために必要である。最適な油の霧化には、最適な空気燃料混合比と最適な油温度の条件が必要である。設置比率は平均して 50 % とまだ低い状態にあった。

7) 霧化蒸気圧力計

油の霧化媒体として蒸気を使う場合、蒸気の圧力は霧化された油粒子の寸法に影響する。霧化を NO_x 削減の見地から最適に管理するためにこの装置は必要である。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。

8) ガス圧力限界スイッチ

燃料ガスの圧力は、下限と上限以内の安全範囲に管理される必要がある。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期待される。

(2) メキシコ首都圏におけるボイラーの年齢

メキシコ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。ボイラーの年齢構成の分布状況は図 3.5.1 に示すとおりであり、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。

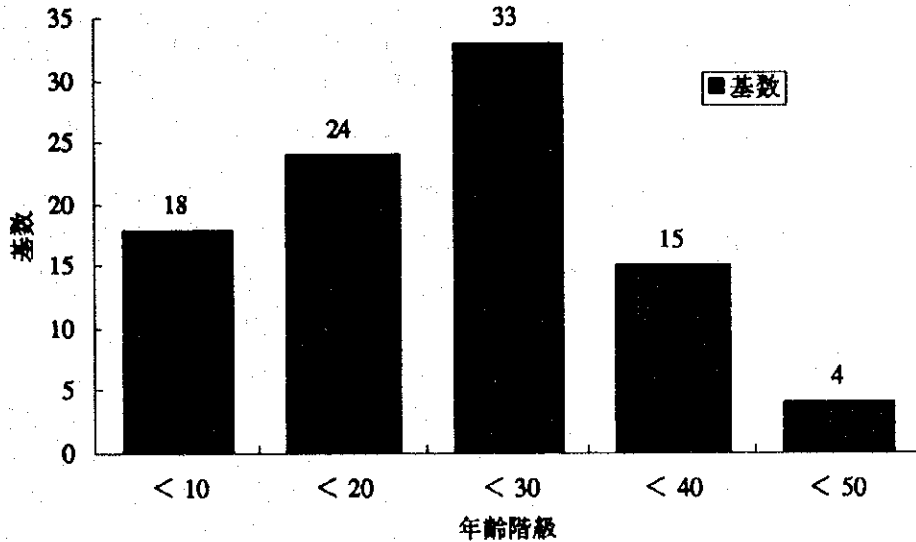


図 3.5.1 ボイラー年齢分布

3.5.2 燃焼設備の運転条件

(1) 燃焼状態

メキシコ首都圏における固定発生源の燃焼状態は、端的に低負荷過剰空気条件にあることが観察された。負荷率は当然に生産計画及び気圧によって変わるものであるが、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。この原因として考えられるのは、1) 古くなって性能が低下した 2) 近年の経済停滞 3) メキシコ首都圏における冬季の大気汚染の危機を防ぐために、法令によって産業における燃料消費が抑えられる、などである。

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がり、毎時間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する。

もう一つの特性である排ガス中の酸素濃度については、計 92 施設のアンケート調査及び診断調査の結果、表 3.5.3 に示すような状況であった。

表 3.5.3 調査団による排ガス中の酸素濃度調査結果

燃料	燃焼設備	設備件数	酸素濃度 (%)	
			範囲	平均
軽油	ボイラー	4	5.1 ~ 12.6	7
	炉	2	2.5 ~ 11.0	7
ガス	ボイラー	33	2.1 ~ 10.2	5
	炉	29	4.5 ~ 21.0	14
ガスオイル、重油	ボイラー	22	3.0 ~ 16.5	6
	炉	2	6.5 ~ 14.3	9

各種設備の平均酸素濃度は 5 % 以上であり、その内ガス燃焼の設備は最大の 14 % であった。工業用炉の排ガスは、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、排ガス中の酸素濃度が炉の構造に左右され、ボイラーに比べて管理がしにくいものである。ガスオイルボイラーもまた軽油ボイラーなどに比べて排ガス中の酸素濃度が高い。燃焼設備の熱損失のうちで最大の原因は煙突からの排気であるから、排ガス中の余剰酸素はその 4 倍の窒素ガスをともなうだけに、燃焼を正常に保てる限り少なければ少ないほど好ましい。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 $4 \pm 1\%$ と考えられる。メキシコ首都圏のボイラーは、総じて排ガス中の酸素濃度を下げる余地があり、とりわけガスオイル及び重油ボイラーはそうである。

(2) NO_x 排出の状況

メキシコ首都圏の固定発生源からの NO_x 排出の現状を、アンケート調査及び診断調査によって調べた結果のあらまは、表 3.5.4 に示すとおりであり、次のような特徴を示していた。

表 3.5.4 NO_x 排出濃度調査結果

燃料	燃焼設備	設備件数	平均 NO _x 濃度 (ppm)	排出基準超過設備件数
軽油	ボイラー	2 (3)	46 (105)	0
	炉	1	108	-
ガス	ボイラー	26 (12)	89 (103)	4 (1)
	加熱器、乾燥機等	10	66	-
	高温炉	12	620	-
ガスオイル 重油	ボイラー	12 (8)	143 (121)	1 (0)
	高温炉	2	320	-

注) : 1) () 内は診断調査によるデータで、他はアンケート調査による。

2) 回答された NO_x 濃度データのうち、10ppm 程度やそれ以下の異常に低いものは除外した。

1) アンケートで報告された NOx 濃度のばらつき

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低濃度は、純酸素バーナを使用している施設を別として、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値が報告された施設は 16 基もあった。

アンケートに回答された測定結果のデータは、一般に、測定をプラント所有者から委託されたコンサルタントによって用意されたものである。これらの測定データには信頼性に問題があるものがあるが、それら以外の NOx 濃度のデータは、調査団が診断調査の中で得た結果と目立った差異は見られなかった。

2) NOx 濃度の水準

アンケートによるボイラーの燃料別 NOx 平均排出濃度はおよそ 50~150 ppm の範囲にあり、ガスオイル及び重油ボイラーで高かった。個々のプラントのデータに関していえば、幾つかのボイラーは現在の排出基準を超えていた。即ち、ガス焼きボイラー 26 基のうちの 4 基及びガスオイル及び重油ボイラー 11 基のうち 1 基である。

新しい NOx の排出基準が 1998 年 1 月から実施されると、表中の 39 基のボイラーのうち 8 基は、何らかの対策を抜きにしては基準に合致しなくなる水準にある。しかし、これらの企業は、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を計画している。この点を考慮すると、燃料の構成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。

工業炉の NOx 濃度はボイラーの約 2 倍と相対的に高いが、機能・構造上の要求から見てこれを解決するのは難しい問題である。この種のプラントに求められるのは、低 NOx 燃焼技術の導入だけでなく、抜本的な製造工程の変更もしくは工場移転である。

(3) オペレータの燃焼管理技能

メキシコにおけるオペレータの燃焼管理技能は、労働省によって安全確保の見地から資格認定されている。資格授与は「オペレータ」、「火夫」等の特定の免許への応募者に対する試験および学歴並びに実務経験の評価によって行われる。メキシコでは、蒸気発生器及び高压容器取締規則によって、ボイラーの所有者はその設備の運転のために、免許をもつ人物を任命しなければならないことになっている。

この二つの運転技能の観念すなわち安全確保と省エネルギーは、低 NOx 運転の導入にとって基本的な要素である。従って、これらの点において資格を授けられたオペレータは、低 NOx 運転の習得に適応しやすいと考えられる。有資格オペレータの実際の

配置状況を知るために、アンケート調査の中でプラント所有者に質問した。調査した企業は、法により有資格者の配置が強制されるもの41社、炉、乾燥機、加熱器などボイラー以外の設備を稼働しているため法的な強制を受けないもの12社からなっていた。

その企業が何らかの有資格者を配置しているかという質問に対する答えを、有資格者配置の義務の有る無しで区別して示すと下記の通りである。

有資格者配置の義務有り	計：	41社
	有資格者有り：	38社
	有資格者無し：	1社
	無回答：	2社
有資格者配置の義務無し	計：	12社
	有資格者有り：	4社
	有資格者無し：	5社
	無回答：	3社

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無しの企業でも4社が有資格者を配置していた。調査結果から見て、労働省の規制は殆どの関係者によって守られていると考えられる。調査された企業における有資格者の配置人数は、表3.5.5に分類して示すとおりである。

表 3.5.5 調査した企業における免許オペレータの配置人数

免許者配置義務の有無	免許者数	企業数		
		施設長	オペレータ	火夫
配置義務有り	1人	2	8	7
	2人以上	1	14	13
	計	3	22	20
配置義務無し	1人	0	2	3

低 NOx 燃焼技術を普及させるに当っては、「施設長」クラス及び「オペレータ」クラスに対する研修が有効と考えられる。これらの職種階層は、安全運転に関する十分な知識と経験を持っていると思われ、それゆえ低 NOx 燃焼技術に対する適応力があると思われる。

3.5.3 総括と考察

(1) ボイラー負荷決定における問題

工場の診断調査において燃料流量計または他の簡易な方法（燃料タンクの液面測定）によって確認されたボイラー負荷は次のようにクラス分けされる。

<u>ボイラー負荷</u>	<u>工場数</u>	<u>ボイラー基数</u>
80 % 以上	2	2
70～79 %	2	5 (うち 4 基は火力発電用)
60～69 %	3	3
59 % 以下	10	12
不明	8	13

上記のとおり、13基（37%）のボイラーについては燃料流量および給水量を計測する方法が無いため、ボイラー負荷を決定することができず、NO_x 濃度にかかわる燃焼状態の評価は不可能であった。

(2) NO_x 濃度、CO 濃度、ボイラー負荷に関する排出基準の問題点

燃焼負荷率が定格容量よりかなり低い場合には、NO_x 濃度もまた低下する。メキシコの排出基準においては、NO_x 濃度とボイラー負荷率との関係が明示されていない。加えて、COの許容濃度が 400 ppm もの高い値であったところ、1994 年 12 月以降規制が最終的に廃止された。この結果、定格負荷での NO_x 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当局の検査に対処できる。調査団の調査中にも多くのプラントが明らかにそのような運転を行っていた。COはNO_x の還元効果が高いので、こうした操作によって排出基準を満たすことができる。従って、これは排出基準の抜け穴と見られ、意図的な規制逃れを許すものである。

(3) 計量証明制度の創設

排ガスの自動連続測定システムの設置された火力発電プラントなどを除く、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、民間コンサルタントに委託されている。しかし、これらの民間コンサルタントの保有する計器や標準ガスの証明制度は無い。二三の企業は、不合理な計測値を報告されて困っていた。問題は、これらの企業が誤った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である。問題点の幾分かは計測会社の仕事の質に由来するであろう。計量事業の監視と資格証明の制度化が早急に必要である。制度化の内容には、標準ガスの監視及び計器の正確さ（ゼロドリフト、スパンドリフト、線形性、吸着量）の監視を含める必要がある。

(4) 良質燃料への転換の状況と付随する問題

1991年12月の政府決定により、メキシコ首都圏への重油の供給は1992年春から停止され、ガスオイル及び軽油に転換された。この燃料転換に伴う燃焼施設の状況を以下に要約する。

1) 天然ガスへの転換

今回のアンケート調査の結果は、天然ガスへの転換がかなり進展したことを示している。前回のJICA調査における1990年の訪問調査においては、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。今回のアンケート調査では、この比率が調べた47社の保有する140施設の60%に増えていた。しかしながら、天然ガスを使っていながら2工場では調査時点の排出基準を満足していなかった。それらは、発電所(工場No.5)の古い1号ボイラー(150 t/h)と、製紙工場(工場No.13)の水管式中型ボイラー3基(各45.4 t/h)である。

調べたボイラーの燃焼効率は、天然ガス燃焼にしては一般的に低かった。燃焼量とボイラー負荷が低ければ、燃焼効率がある程度下がるのは止むを得ない。それでも十分な燃焼管理対策により、燃焼効率を目標の90%に近づくように改善すべきである。

2) 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%となっており、重油が大量に使われていた前回調査時から大幅に落ち込んだ。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。

調べた施設のうちボイラー1基がNO_x排出基準を超えていた。それは、化学プラント(工場No.8)に取り付けられた、A社製の煙管ボイラー(3.1 t/h)であった。製紙会社(工場No.7)のやはりA社製の煙管ボイラー5号機(7.8 t/h)は、排出基準を超えてはいなかったがこれに近いNO_x濃度であった。A社製のボイラーは、一般的に燃焼効率が良いものであるが、燃焼室の容積と断面積が小さいために、燃焼負荷率が定格容量の70%以上になるとNO_x濃度が高くなる傾向にある。それゆえ負荷率60%以下が望ましい。

燃料を重油からガスオイルまたは軽油に変えた工場で、バーナノズルもバーナチップも変えなかったのは次ぎの通りである。

- a) 石油化学製品工場(A)(蒸気霧化)
- b) 石油化学製品工場(B)(油バーナは非常時を除いて使われておらず、もっぱら天然ガスが使われている)
- c) 火力発電所(A)(油バーナは非常時を除いて使われておらず、もっぱら天然ガスが使われている)
- d) 紙製品工場(B)(ガスオイルの空気霧化)
- e) アルコール飲料工場(計測時は天然ガス燃焼だけで油バーナは使われてい

かった)

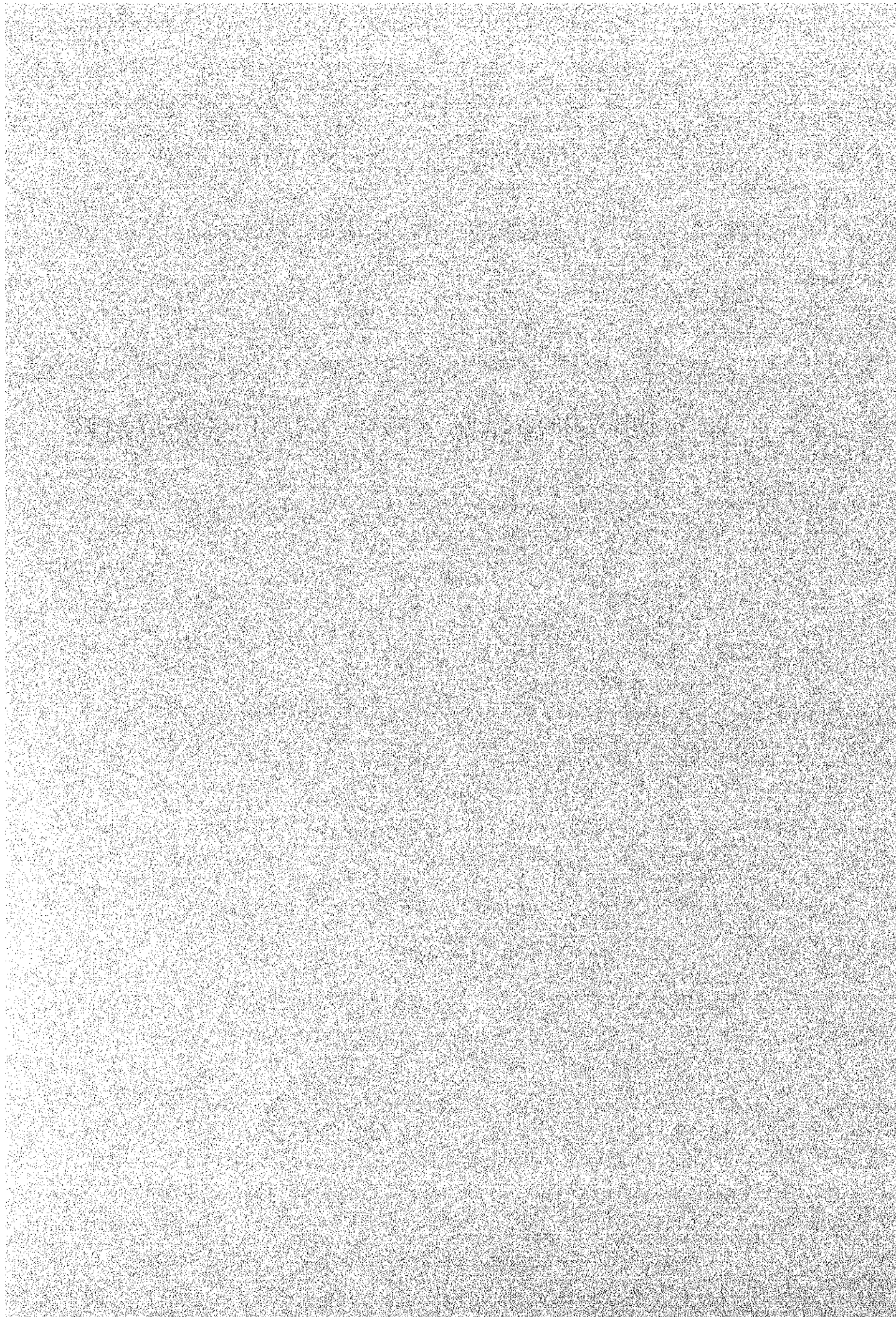
- f) 繊維工場（会社側の説明では、コンサルタントの意見によりバーナノズルもバーナチップも変えなかった
- g) 製紙工場（C）（会社側の主張では、施設は ZMCM の外にあるので ZMCM に適用される規制は当てはまらない）
- h) ゴム製品工場（C）（軽油の空気霧化）

PEMEX と IMPによれば、強制的な燃料転換の時には各地区ごとに何箇所かで説明会をひらいて、事故や燃料の浪費を防ぐためにバーナノズルを交換するよう警告したとのことである。しかしながら、公式通知が十分に行き渡らなかったと見え、調査した 25 社のうち 8 社はバーナノズルを交換していなかった。調査団は、上記 8 社のうち b)、c)、e) を除く 5 社に注意を促した。除外した 3 社は、燃料転換以前にはガスと油を混焼していたが、今はガスだけを燃している。とりわけ d) と h) のプラントは、高濃度の NO_x を生成する傾向のある A 社製のボイラを使い、かつ空気霧化を採用しているので注意と指導が求められる。

(5) 過剰空気による不適当な燃焼

排ガス中の酸素濃度が 4 % 以下で運転されていた燃焼施設は、アンケート調査で調べた 140 基のうちわずか 14 基（10 %）、診断調査において対象とした 69 基のうち 11 施設（15.9 %）であった。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一層の努力が求められる。レキュペレータの取り付けられた中大型ボイラーには、レキュペレータへの空気の侵入があるため、サンプリング位置をレキュペレータの後方にした場合などに見かけ上酸素濃度が高くなる。このような場合やその他の特殊なケースをのぞいて、燃焼室の出口における酸素濃度が 4 % 以上のときは、燃焼管理が不適当でありかつ燃料を浪費していると判断される。講習会など各種の方法によって空気比の適正管理をさらに進める必要がある。

第4章 燃烧試験プラントによる燃烧試験



第4章 燃焼試験プラントによる燃焼試験

4.1 メキシコ市首都圏における燃焼条件

メキシコ市首都圏は海拔約 2,240 m の高地であるため、空気密度は海拔 0 m の平地に比較すると 77 % しかなく（空気中の濃度は 21 % と不変であるが）、平地並みの空気量と燃料の比率で燃焼させると不完全燃焼を起こす。すなわち、メキシコ盆地では同一量の燃料に対し、海拔 0 m の平地より $760 \text{ mmHg}/580 \text{ mmHg}=1.31$ 倍の空気量を送り込まないと、完全燃焼しない。これは海拔 0 m で校正された熱線風速計の場合にも適用されることで、2,400 m の高度では空気密度に比例して 32 % 低く表示される。

メキシコ首都圏で販売されている自動車の場合、最近ではエンジンに気圧センサーが取り付けられ、高度の変化に連動して空燃比が自動制御され、不完全燃焼を防止することが可能となった。しかし、80 年代前半までの自動車は、キャブレターの空燃比が海拔 0 m で調整されたまま、販売店によって何の調整もされずにメキシコ盆地で使用され、メキシコの大気汚染を更に悪化させていた。

固定発生源の各種燃焼室も同様で、海拔 0 m で設計されたものは燃焼用空気を 1.31 倍多く送り込んで燃焼させることを予測して設計していないため、定格（最大）燃焼を行った場合、ボイラー後部ののぞき窓より燃焼室の状況を観察すると、火炎が燃焼室いっぱい to 充満する状態となり、燃焼室容積が狭くさえ感じられる。通常地上 0 m で設計されたボイラーをメキシコ盆地で使用する場合も、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、気圧は 570~580 mmHg（8 月の平均 574 mmHg）である。メキシコ市の海拔に近似しており、燃焼用空気量は海拔 0 m の平地に対し 1.32 倍とメキシコ市とほぼ同量が必要である。従って燃焼用空気を送り込むファンも、バーナ、ボイラー等の圧力損失の合計値に安全係数を掛け、更に 1.32 倍したものが設計された。

4.2 燃焼試験プラントの概要

4.2.1 配置図とフローシート

燃焼試験プラントの配置図とフローシートはData Bookに示す。

4.2.2 主な設備

燃焼試験プラントの主な設備は以下の通りである。

(1) ボイラー本体

名称	タカオ FTN-30
種類	炉筒煙管式蒸気ボイラー
定格蒸発量	3.6 t/h
定格出熱量	1.94×10^6 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
蒸気温度	飽和温度 (常用 169℃)
給水温度	20℃
燃焼方式	加圧順流 3パス式燃焼
燃焼室	モリソン波形貫通炉筒
燃焼室寸法	最小径 0.95 m × 外径 1.06 m × 全長 3.40 m
燃焼室容積	2.409 m ³
燃焼室容積負荷	926×10^3 kcal/m ³ /h
ボイラー制御方式	
蒸気圧力主制御	缶体圧力検出によるバーナ燃焼量比例制御 (空気量と燃料)
比例制御範囲	負荷 20~100% (バーナ仕様による) 20%以下は ON-OFF 制御
水位制御	電極式水位検出器による ON-OFF 制御
胴径	1,924 mm
全長	4,500 mm (前・後煙室を含む)
通風方式	強制通風

(2) 硬水軟化装置

硬水軟化方法	イオン交換法
処理能力	5 m ³ /h
樹脂量	600 t

(3) 薬液注入装置

注入量	60 ml/min
-----	-----------

(4) 軟水タンク

容積	4.2 m ³
----	--------------------

- (5) 連続ブロー装置
- | | |
|-----------|---------------------|
| 種類 | 給水熱交換式 |
| 流量 (ブロー水) | 600 t/h |
| 給水 | 8 m ³ /h |
- (6) サイレンサ
- | | |
|-------|-----------------|
| 流量 | 3,000 kg/h |
| 標準減音量 | 65 dB(10m で) 以下 |
- (7) 節炭機 (エコノマイザ)
- | | |
|------|-------------------------------|
| 種類 | E C G 型耐熱ガラス管エコノマイザ |
| 最大負荷 | 3.6 t/h |
| 回収熱量 | 103,000 kcal/h |
| 伝熱管 | ガラス管 50 mm (直径) × 3.2 mm (厚さ) |
| 伝熱面積 | 22.6 m ² (ガラス管) |
| 有効長 | 720 mm × 200本 |
- (8) 蒸気加熱式エアヒータ
- | | |
|------|----------------|
| 交換熱量 | 108,000 kcal/h |
| 材質 | SUS 304 |
- (9) 電気式サクシオンヒータ：燃料油の貯蔵タンク及びサービスタンク用
- (10) オイル移送ポンプ (ストレーナー共)：貯蔵タンクからサービスタンクへ移送
- (11) 燃料ポンプユニット：重質油・軽質油 2 系統式ストレーナー・オイルヒータ付
- (12) 全自動燃焼制御装置 (全自動比例制御)：油並びに天然ガス燃焼用各 1 基
- (13) 補機盤
- (14) 制御機盤：燃焼機器コントロール用
- (15) 自動給水加減装置
- (16) 押込送風機 (消音ケース付)
- | | |
|----------|--|
| 種類 | ターボペーン型、片吸込片持軸受電動直結 |
| 風量 | 87.5 m ³ /min (20℃) |
| 転速度 | 3,510 r.p.m. |
| 単位体積ガス重量 | 0.916 kg/m ³ (20℃、580 mmAq) |
- (17) 給水用ポンプ
- | | |
|----|------------------------|
| 種類 | 縦型多段タービンポンプ |
| 容量 | 5.1 t/h × 110 m、4.0 kw |

- (18) 給水用インjekター
- (19) 給水用流量計・給油用流量計（予熱オイル用とガスオイル用）
- (20) コンプレッサー
- | | |
|---------|----------------------|
| 最高圧力 | 7 kg/cm ² |
| 吐き出し空気量 | 1,250 l/min |
| 空気タンク容量 | 32 l/min |
| 回転数 | 1,000 r.p.m. |
- (21) 排ガス再循環ダクト：コントロールダンパ付
- (22) スチームヘッダー
- (23) スチームウォーマー（200 l ドラム缶用）
- | | |
|----------|--|
| 蒸気圧力（常用） | 5 kg/cm ² G |
| 伝熱面積 | 胴部：1.24 m ² 、缶底：0.24 m ² |
- (24) 油用標準型バーナ（蒸気霧化装置付）
- | | |
|------------|--------------------------------|
| 霧化方式 | 空気・蒸気切替 |
| 混合方式 | 内部混合式 |
| バーナ容量 | 240 kg/h |
| 油噴霧圧力 | 3.5 kg/cm ² （バーナ入口） |
| 霧化用蒸気圧力 | 4.5 kg/cm ² |
| 霧化用蒸気消費量 | 3.5 kg/h |
| 油粘度（バーナ入口） | 20 cSt 以下 |
- (25) 油用低NO_x型バーナ(1)
- | | |
|--------|---------------------------|
| 種類 | 自己再循環還元燃焼 |
| 霧化方式 | 蒸気（コールドスタート時は空気） |
| 混合方式 | 内部混合式 |
| バーナ容量 | 240,000 kcal/h |
| 油噴霧圧力 | 5.0 kg/cm ² 以上 |
| 霧化蒸気圧力 | 4.0 kg/cm ² 以上 |
- (26) 油用低NO_x型バーナ(2)
- | | |
|------------|------------------------|
| 種類 | 自己再循環二段燃焼 |
| 霧化方式 | 蒸気（コールドスタート時は空気） |
| 混合方式 | 内部混合式 |
| バーナ容量 | 240 kg/h |
| 油噴霧圧力 | 4.0 kg/cm ² |
| 霧化蒸気圧力 | 5.0 kg/cm ² |
| 油粘度（バーナ入口） | 20 cSt 以下 |

- (27) 油用低NO_x型バーナ(3)
- | | |
|------------|----------------------------------|
| 種類 | 二段燃焼 |
| 霧化方式 | 蒸気(コールドスタート時は空気) |
| 混合方式 | 内部混合式 |
| バーナ容量 | 240 kg/h |
| 油噴霧圧力 | 6.0 kg/cm ² 以下(バーナ入口) |
| 霧化蒸気圧力 | 4.5 kg/cm ² 以下(バーナ入口) |
| 油粘度(バーナ入口) | 20 cSt 以下 |
| 一次/二次空気比 | 70%/30%(ダンパー全開時の流量比) |
- (28) 天然ガス用標準型バーナ
(フレイムアイ、上下限スイッチ、ガス遮断弁ユニット等安全管理計器含む)
- | | |
|-------------|-------------------------------|
| バーナ容量 | 2.45 × 10 ⁶ kcal/h |
| ガス圧力(バーナ入口) | 0.2 kg/cm ² |
- (29) 天然ガス用低NO_x型バーナ
(フレイムアイ、上下限スイッチ、ガス遮断弁ユニット等安全管理計器含む)
- | | |
|-------------|-------------------------------|
| タイプ | 自己再循環燃焼 |
| バーナ容量 | 2.45 × 10 ⁶ kcal/h |
| ガス圧力(バーナ入口) | 0.5 kg/cm ² |
- (30) ドラム缶用オイルポンプ
- | | |
|-----|----------|
| 口径 | 40 mm |
| 揚程 | 20 m |
| 揚水量 | 18 ℓ/min |
- (31) 煙道(ダクト)
- (32) 煙突
- (33) オイル種類別貯蔵タンク・サービスタンク
- | | |
|-----------|-----------------------|
| 貯蔵タンク容積 | 8m ³ 2基 |
| サービスタンク容積 | 1.2 m ³ 2基 |
- (34) 脱硫装置(ファンスクラバー)
- ・ファンスクラバー

処理風量	100 m ³ /min
回転数	2,000 rpm
材質(接ガス部)	SUS 316
 - ・循環洗浄ポンプ

揚水量	0.55 m ³ /min
材質(接ガス部)	SUS 316
 - ・ミストセパレータ

噴射水量	300~450 ℓ/min
材質(接ガス部、液部)	SUS 316、SUS 316L

(35) 脱硫排水処理装置、再循環装置

pHコントローラ
動力式フィルター
コンプレッサー
電子比重計
アルカリ用ポンプ
循環ポンプ
かく裨器

(36) 燃焼排ガス分析装置

サンプリングプローブ	SUS 316 10 μ フィルター、温度コントロール式
加熱導管	20 m テフロンチューブ、温度コントロール式
試料前処理装置	テフロンフィルター、除湿器付
NO _x 自動測定器	減圧型化学発光法、NO ₂ → NO コンバータ付 測定範囲 (0-50, 0-100, 0-250, 0-500, 0-1,000 ppm)
SO ₂ 自動測定器	非分散型赤外線吸収法、測定範囲 (0-1,000, 0-5,000 ppm)
CO 自動測定器	非分散型赤外線吸収法、測定範囲 (0-1,000, 0-2,000 ppm)
CO ₂ 自動測定器	非分散型赤外線吸収法、測定範囲 (0-10, 0-20 %)
O ₂ 自動測定器	ジルコニア式、測定範囲 (0-0.5, 0-5, 0-10, 0-25 %)

(37) データ処理装置及びデータ処理ソフト

パーソナルコンピュータ	32 bit、486sx、RAM 4MB、HD 84MB、3.5 inch FDD ×1
モニター	14 inch カラーディスプレイ
プリンター	24 ドット、マトリクス方式
A/Dコンバータ	12 bit、32 チャンネル
ソフトウェア	ANACOMP4
記録計	12 チャンネルドット式

4.3 燃焼試験の概要

4.3.1 使用燃料とバーナ

(1) 供試燃料

燃焼試験に使用した燃料は次の通りである。

- ・ガスオイル（各濃度のN分を含む）
- ・軽油
- ・残留炭素を添加したガスオイル

表 4.3.1にロットNo.1 のガスオイルと軽油のスペック（IMP提供）を示す。調査団による分析結果は、4.4.5節に示す。

表 4.3.1 軽油およびガスオイルのスペック（ロットNo.1）

項目	単位	軽油	ガスオイル
比重 (20/4)	℃	0.8455	0.8860
引火点	℃	117	131
流動点	℃	-6	-12
動粘度 (40℃)	cSt	4.11	9.66
動粘度 (60℃)	cSt	2.68	5.44
真発熱量	BTU/LB(kcal/kg)	18,319(10,177)	18,153(10,085)
残留炭素 (Rams bottom法)	W/W%	0.07	0.23
水及び残留物	V/V%	<0.05	0.20
C	W/W%	85.95	85.59
H	W/W%	13.46	12.56
O	W/W%	0.10	0.10
S	W/W%	0.47	1.57
N	W/W%	0.028	0.075
灰分	W/W%	0.00018	0.0006
不溶性物 (C5)	W/W%	<1	<1
Na	μg/g	0.95	-
Ni	μg/g	<0.02	-
V	μg/g	<0.5	-

(2) 供試バーナ

試験に使用したバーナは以下の通りである。

- ・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NO_x型バーナ(1): 還元雰囲気中で燃焼させるため、自己再循環機能をもつ。
- ・油用低NO_x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NO_x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NO_xバーナ

4.3.2 試験項目と方法

(1) 排ガス中酸素濃度

低NO_x燃焼の最も単純な方法は、排ガス中の残留酸素濃度を低下させることである。燃焼試験は、以下の4つのレベルの酸素濃度で行った。

- ・発煙初期あるいは一酸化炭素発生時の酸素濃度
- ・3%酸素濃度
- ・5%酸素濃度
- ・7%酸素濃度

これらの濃度のうち、5%濃度はメキシコのNO_x排出基準の中で規定されている基準濃度であるが、診断調査を行ったプラントの多くは7%程度であった。燃焼試験結果の報告に際して、NO_x濃度の測定値は、特別のことわりがない限り基準酸素濃度5%での値に変換した。

(2) 最適噴霧条件の検討

1) 燃焼温度

- a. 軽油：室温
- b. ガスオイル：当初試験は室温で行われたが、ガスオイル中の多量の浮遊物質により、オイルポンプのストレイナーがたびたび目詰まりを起こしたので、メキシコ側が燃料加熱ユニットを設置し、その結果ポンプユニットの温度は45～55℃へと上昇した。

2) ノズルの角度

バーナノズルの角度は、バーナの構造により50～75°の範囲で変化させ、NO_x濃度への影響を試験した。

3) 霧化方式

メキシコ市で広く使用されている空気と蒸気霧化の両方に関して、NO_x濃度の試験

を行った。

(3) 予熱空気温度のNO_x濃度への影響

燃焼排ガスの保有熱を燃焼空気に回収することは、エネルギーを節約する上で一般的な方法であるが、燃焼空気の温度が上昇するにつれて、NO_x濃度も増加する。この試験では、蒸気による空気予熱器を使用し、室温、80～100℃、約150℃の3つの燃焼空気温度条件で試験を行った。

(4) 燃焼負荷のNO_x濃度への影響

燃焼室容量負荷と燃焼室断面負荷のNO_x濃度への影響を調べるため定格負荷の約50%、70%、90%、つまり燃料の消費量、120 l/h、160 l/h、200 l/hで試験を行った。

(5) 燃料中のN分のNO_x濃度への影響

燃料中のN分がNO_xに変換する割合は、燃料中のN分が低くなるにつれて高くなり、N分が高くなるにつれて低くなる。ガスオイルにトリエチレンテトラミン (TETA) を添加し (IMPが準備)、燃料中のN分を変化させて燃焼試験を行った。燃料サンプルのN分の分析は、調査団とIMPがそれぞれ異なった方法で行った。

(6) 省エネルギーとNO_x濃度

この試験プラントには、燃焼排ガスの保有熱などを回収する方法として、上述した蒸気による空気予熱器の他、エコノマイザも設置されている。両方とも一般的な省エネルギー設備である。これらの装置が稼動している時のボイラー効率を計測し、それに対応したNO_x濃度との関係を検討した。なお、熱回収型のボイラー水連続フロー装置を省エネルギー技術の移転を目的として設置した。

(7) 排ガス再循環 (EGR) 試験

排ガス再循環 (EGR) は、NO_x濃度を低下させる効果的な方法の1つであるが、燃料中におけるN分が高くなると、NO_x削減率は低下し、その効果を失うことになる。この試験では、軽油とN分濃度が異なる数種のガスオイルを使用して、EGRを使用しないデータと比較することによりEGRのNO_x削減効果を調べた。

(8) 蒸気噴射試験

この試験では、炉内に蒸気を噴射し、NO_x濃度への効果を調べた。

(9) 油用標準型バーナの改造

油用低NO_xバーナ(1)に採用されている自己再循環機能は、比較的容易に通常バーナに付加できると考えられるので、メキシコ市における既存バーナの改善の可能性をさぐるため、油用標準型バーナに自己再循環装置を取り付けて改造し、試験を行った。

4.3.3 測定項目と方法

(1) 排ガス測定関連項目と方法

CO	非分散型赤外線分析法
CO ₂	非分散型赤外線分析法
SO ₂	非分散型赤外線分析法
O ₂	ジルコニア式
NO _x	減圧型化学発光法
ダスト	スモークテスト及びリングルマン法
排ガス流速	ピトー管
排ガス温度	熱電対

試料はサンプリングプローブと150℃の加熱導管を通り、前処理装置へと送られ、ドレン・水分・ダストが除かれ、分析計へ導かれる。

(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	
エコマイザ	: 入口ガス温度、出口ガス温度、入口給水温度、給水出口温度
空気予熱器	: 入口空気温度、出口空気温度
燃焼効率(燃焼効率測定器)	

4.3.4 機器の設置と燃焼試験の工程

機器の設置と機能検査、燃焼試験および燃料分析の工程は以下のとおりである。

(1) 機器の設置と機能の検査

1) 機器の設置(7月1日~8月5日)

メキシコ側による基礎、配線、配管、給水工事に平行して、JICAによって購送さ

れた種々の機器の設置を、調査団員現地指導のもとに行った。

2) 機器の試運転 (8月8～11日)

設置された機器を電源と接続し、モーターの回転、スイッチ、軟水の硬度等の試験、および必要な校正を行った。

3) ボイラー耐圧試験 (8月12日)

ボイラー内部を水で満たし、圧力を規定値 16 kgf/cm^2 に上げ耐圧試験を行った。

4) バーナ点火とソーダ煮によるボイラー内部の洗浄 (8月15、16日)

軽油を使用して油用標準型バーナに点火し、ボイラーの機能を確認した。さらに、ボイラーの内側のオイルや不純物を取り除くため、水酸化ナトリウム (NaOH) によるソーダ煮を行った。点火前に、オイル給油管の洗浄と耐圧試験を行った。

5) ボイラー安全制御装置の機能確認 (8月17日)

標準的なセッティング状態で各安全制御装置が正しく機能するか、メキシコ側のカウンターパートの立ち会いのもと、チェックを行った。これらは、安全弁、低水位遮断器スイッチ、低水位警報器、オイル圧力低下スイッチ、フレイム検出器、霧化圧力低下スイッチ、送風機トリップブレーカー等である。その後、安全弁のアジャスターをロックした。

(2) 燃焼試験

1) 油用標準型バーナによる試験 (その1、8月18、19日)

試験従事者が試験設備に慣れるため軽油で試験を行った。

2) 油用低NO_x型バーナ(1)による試験 (その1)

- a. 8月22～24日 バーナ交換
- b. 8月25～27日 軽油を使用しての試験
- c. 8月29日～9月5日 IMPが準備したN分濃度の異なる数種のガスオイルを使用
しての試験
- d. 9月6日 ボイラー効率測定

3) 油用低NO_x型バーナ(2)による試験

- a. 9月7、8日 バーナ交換
- b. 9月8日 軽油を使用しての試験
- c. 9月9～16日 N分濃度の異なる数種のガスオイルを使用しての試験
- d. 9月19日 1次/2次空気流量測定
- e. 9月20～27日 N分濃度の異なる数種のガスオイルを使用しての試験
- f. 9月28日 ボイラー効率測定 (エコノマイザと空気予熱器運転中の効率)

4) 油用標準型バーナ (その2)

- a. 9月29～30日 バーナ交換

- b. 10月3～13日 N分濃度の異なる数種のガスオイルを使用しての試験（内部混合式アトマイザ使用）
 - c. 10月6、15、17、18日 ボイラー効率測定（排ガス中酸素濃度を変化させてのエコノマイザと空気予熱器運転中の効率）
 - d. 10月19～21日 排ガス再循環試験、軽油及びN分濃度の異なる数種のガスオイルを使用
 - e. 10月22～28日 霧化蒸気圧力試験、軽油及びN分濃度の異なる数種のガスオイルを使用、外部混合式アトマイザによる霧化（10月27日は内部混合式アトマイザを使用）
 - f. 11月3、4日 霧化蒸気温度試験、軽油及びガスオイル使用
 - g. 11月7～10日 残留炭素濃度の異なる数種のガスオイルを使用しての試験
 - h. 11月11～14日 油用標準型バーナの改造
- 5) 油用低NO_x型バーナ(1)による試験（その2）
- a. 11月14日 バーナ交換
 - b. 11月15～26日 還元燃焼試験
- 6) 油用低NO_x型バーナ(3)
- a. 11月29日 バーナ交換
 - b. 11月30～12月6日 1次と2次空気の量を調整しての低NO_x燃焼試験
1次燃焼室において、完全還元燃焼を実現させるため理論空気量に対する1次空気比は、0.4～0.9に設定した。
- 7) 天然ガス用標準型バーナ
- a. 12月7日 バーナ交換及び予備実験
天然ガスライン中の減圧弁の容量が不足し、またライン中のゴミにより、ガス供給が不能となったため、天然ガス燃焼試験を中止
 - b. 12月8日 天然ガス燃焼用インターロックの動作試験をカウンターパート立ち会いのもと実施
- 8) 改造型低NO_xバーナ
- a. 12月9～11日 改造済みのバーナ取り付け及び調整
 - b. 12月12～14日 ガスオイルを使用した試験
 - c. 12月15日 改造バーナを標準型に復元
- 9) メンテナンス（12月16～20日）
ボイラー及び周辺機器、測定機器等のメンテナンス

(3) 燃料サンプルの分析

各燃焼試験用にIMPから提供を受けた燃料サンプルを分析した。

- a. 8月16～24日 分析用機材の準備
- b. 8月25～11月30日 サンプルの分析

4.4 燃焼試験の結果

以下に、燃焼試験の結果の説明に用いた用語の意味を示す。

- NO_x濃度 : 酸素濃度 5% に換算した燃焼排ガス中の NO_x 濃度
換算式は以下のとおりである：
$$\text{NO}_x \text{測定値} \times (21 - 5) / (21 - \text{O}_2 \text{測定値} \%)$$
- 酸素濃度 : 燃焼排ガス中の残存酸素濃度
- 限界酸素濃度 : 一酸化炭素 (CO) の発生あるいは目に見える発煙 (バックラッカ No.4 以上) が生じる酸素濃度
- NO_x排出基準 : 1998年1月に排出基準として発効することになる NO_x 濃度レベル 110 ppm

4.4.1 油用標準型バーナによる試験結果

図 4.4.1～図 4.4.4 に、霧化媒体別、燃料種類別、燃料負荷別の NO_x 濃度と酸素濃度の関係を示した。

(1) 霧化媒体の NO_x 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、NO_x 濃度レベルは低い。160 l/h の軽油の場合、酸素濃度の低い部分では、約 50 % 以上蒸気霧化の方が低くなり、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。

霧化媒体である蒸気が、空気に比べ火炎温度を下げるためである。なお、空気霧化でガスオイルを使用する場合、NO_x 排出基準を越えるケースがあった。

(2) 酸素濃度の NO_x 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、明確な NO_x 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 NO_x 濃度に対する影響

負荷による NO_x 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。

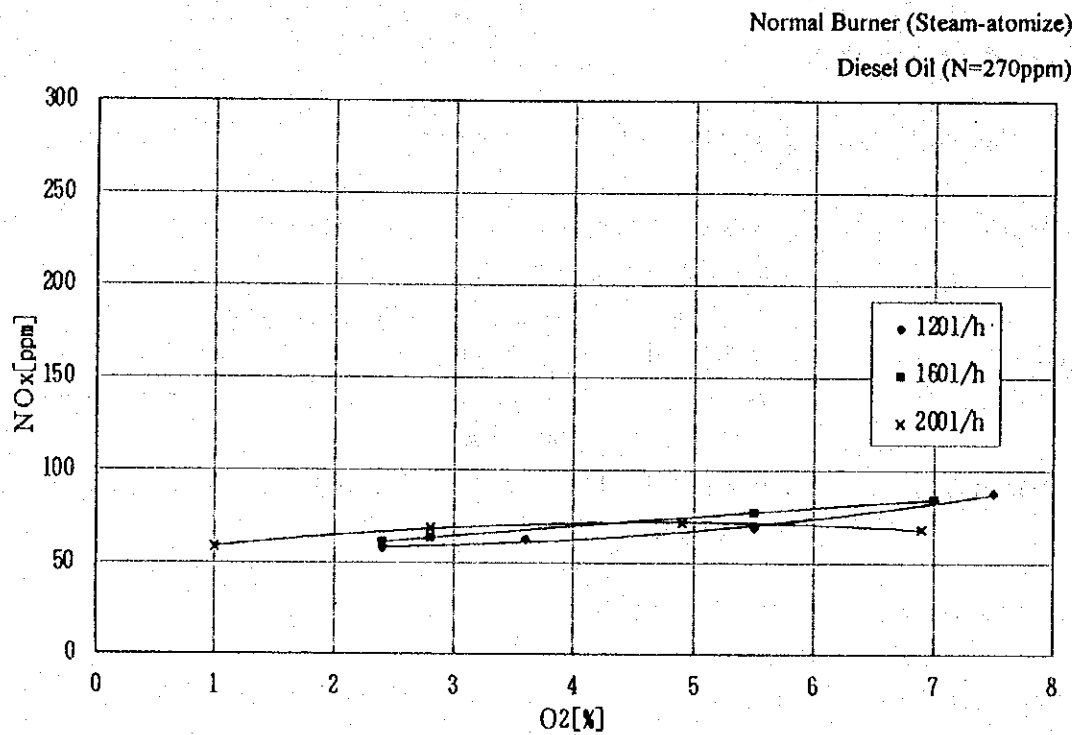


図 4.4.1 軽油燃焼における O₂濃度とNO_x 濃度の関係
(通常バーナ、蒸気霧化)

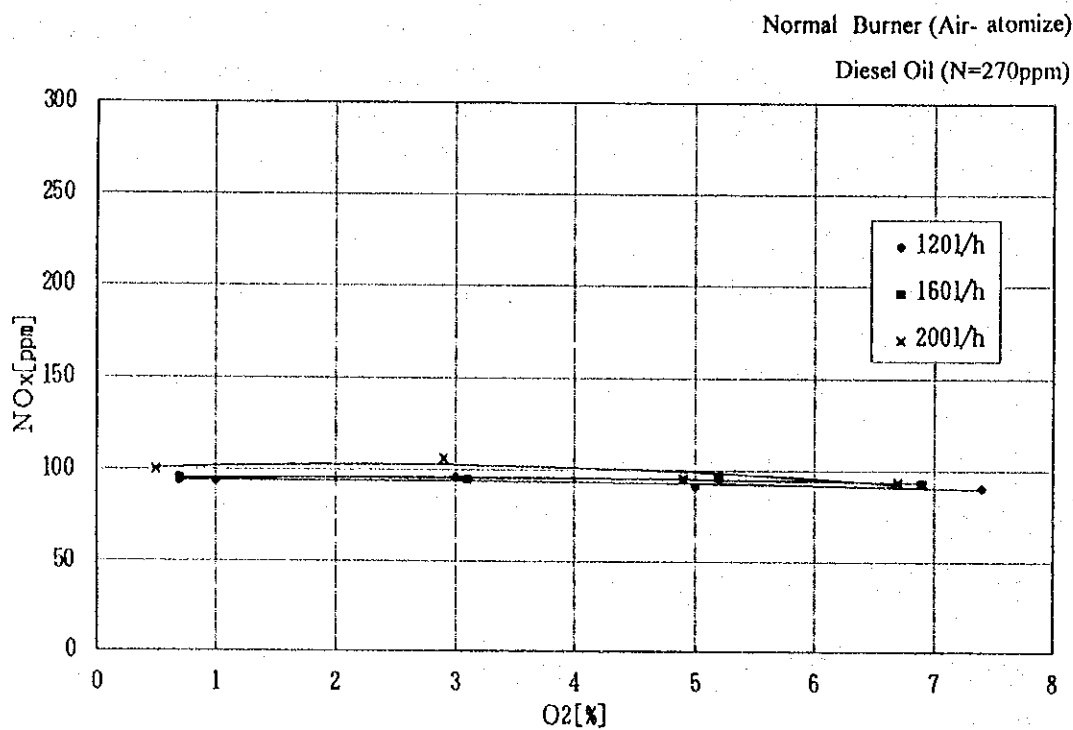


図 4.4.2 軽油燃焼における O₂濃度とNO_x 濃度の関係
(通常バーナ、空気霧化)

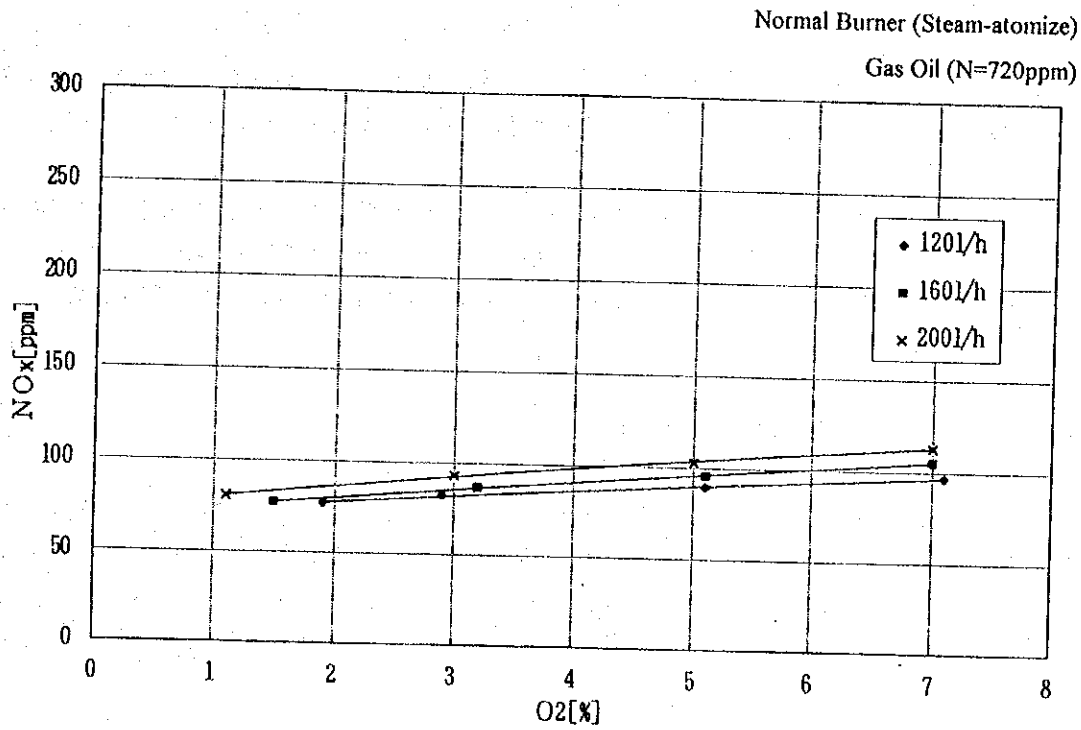


図 4.4.3 ガスオイル燃焼における O₂濃度とNO_x 濃度の関係
(通常バーナ、蒸気霧化)

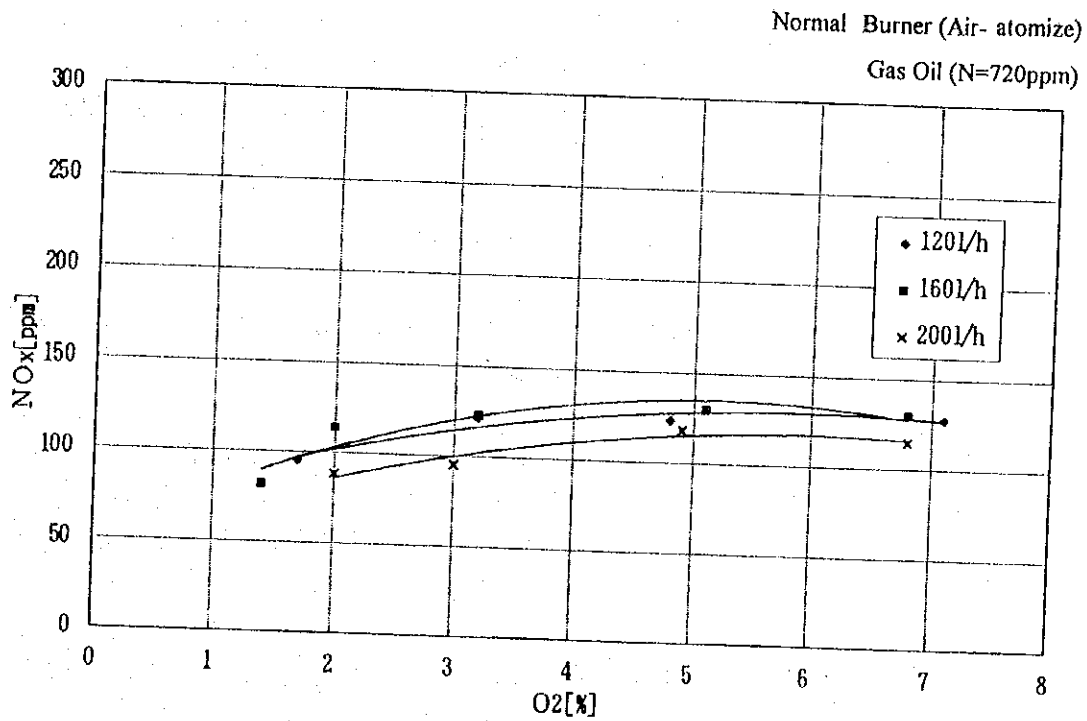


図 4.4.4 ガスオイル燃焼における O₂濃度とNO_x 濃度の関係
(通常バーナ、空気霧化)

(4) 燃焼用空気温度のNO_x濃度に対する影響

発生蒸気を熱源としたエアヒータを用いて、燃焼用空気の子熱を行い、軽油とガスオイルについて、予熱温度とNO_x濃度の関係を求め、図 4.4.5に示した。

両燃料とも、燃焼用空気温度の上昇とともに、NO_x濃度レベルは右肩上りの直線状に上昇し、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を示された。エアヒータは、省エネルギーの手法として有効であるが、予熱温度によっては、NO_x排出基準を上回る。

(5) バーナノズルの角度のNO_x濃度に対する影響

バーナノズルは、炉内で最適な火炎を形成させるため、ノズルの穴数、径、開度を数種類用意し、短炎、長炎、偏平炎の火炎形状をつくり、それぞれの炉に適するものを選定するのが一般的である。炉の形状に合わない場合、火炎が炉壁に当たったり、又は炉尻に当たるなど、エネルギー効率の低下を招く他、NO_x濃度に大きく影響する場合が多い。

本試験では、ガスオイルを用いて、ノズルの角度を変えた時の酸素濃度とNO_x濃度の関係を求めた。図 4.4.6 に結果を示す。

噴霧角度の大きい70°のチップは、酸素濃度の高い部分でNO_x濃度レベルが高く、角度の小さい50°のチップは、酸素濃度の低い部分でNO_x濃度レベルが高くなった。60°のチップは、全域でNO_x濃度レベルは低く、このボイラーに最適であることがわかる。

(6) 排ガス再循環(EGR)のNO_x濃度に対する影響

EGRは、燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に取り込んで酸素濃度を下げるので、サーマルNO_xの発生を抑制する手法として有効である。

排ガス循環量とNO_x濃度の関係を、燃料別に図 4.4.7、図 4.4.8 に示した。両燃料とも、EGR率の上昇とともに確実にNO_x濃度レベルは下がり、低NO_x手法として有効であることが示された。EGR率28%の時の燃焼用空気中の酸素濃度は16.0%で、排ガスのバックラッカ値は0～1であった。

なお、EGR率の算出に当っては、排ガス再循環ダクト内のガス量を実測し、燃焼用空気量と比較した。

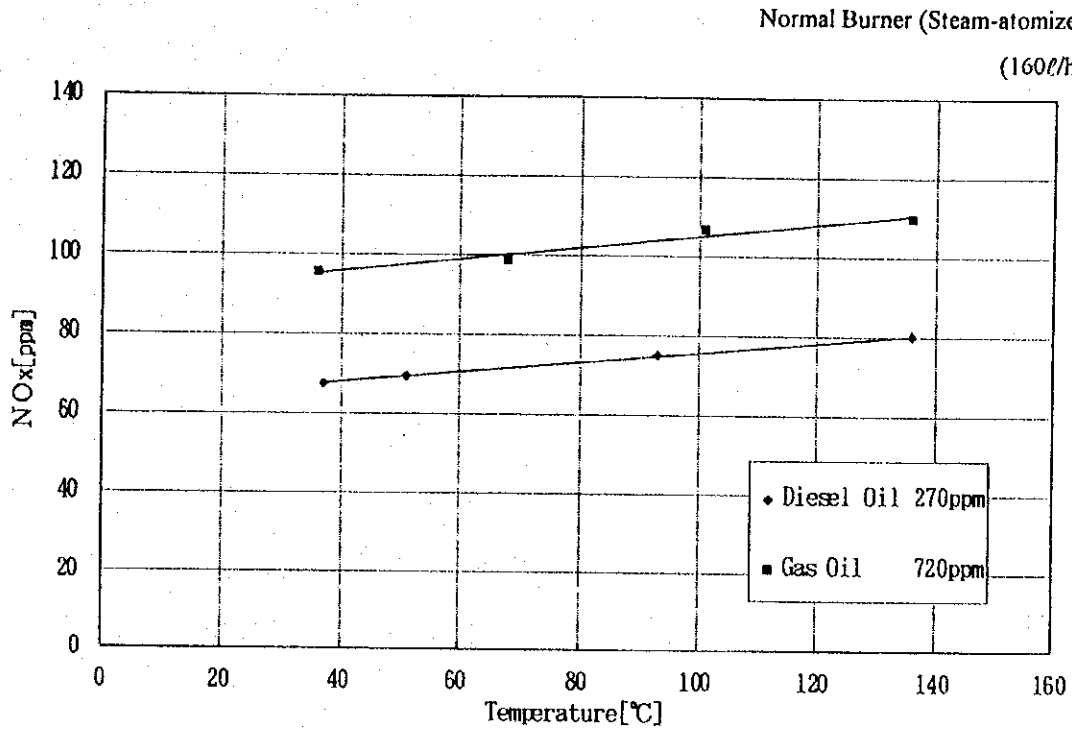


図 4.4.5 予熱空気温度とNOx 濃度の関係

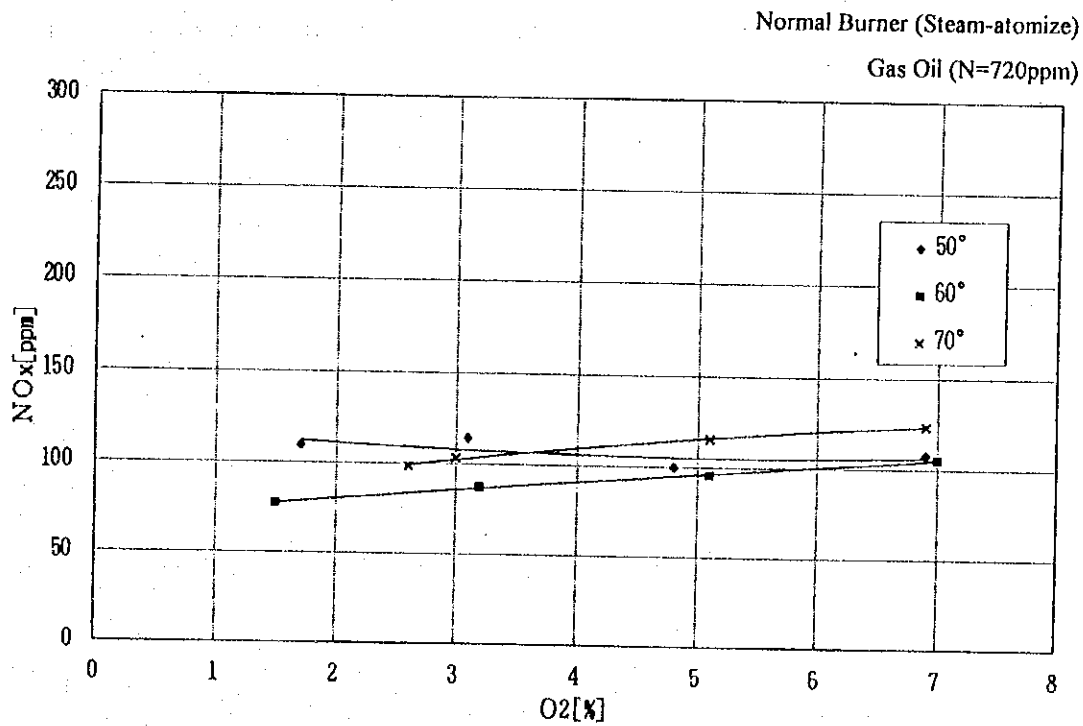


図 4.4.6 バーナーチップ開度によるO2濃度とNOx濃度の関係

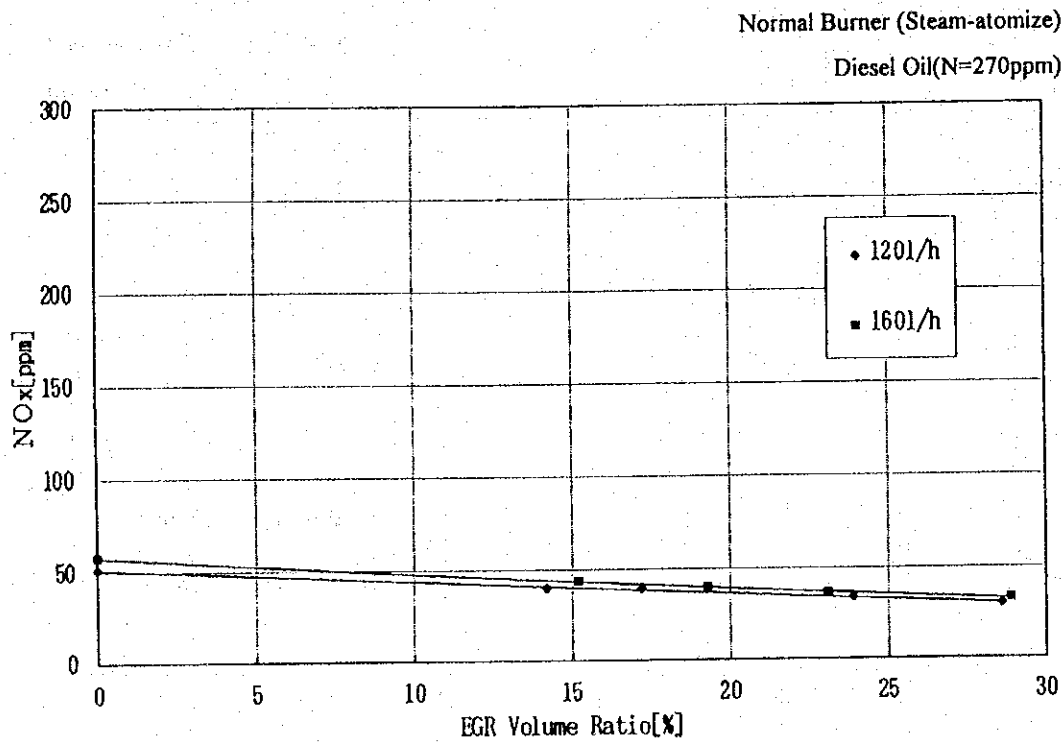


図 4.4.7 軽油燃焼におけるEGR比-NO_x濃度の関係
(通常バーナ、蒸気霧化)

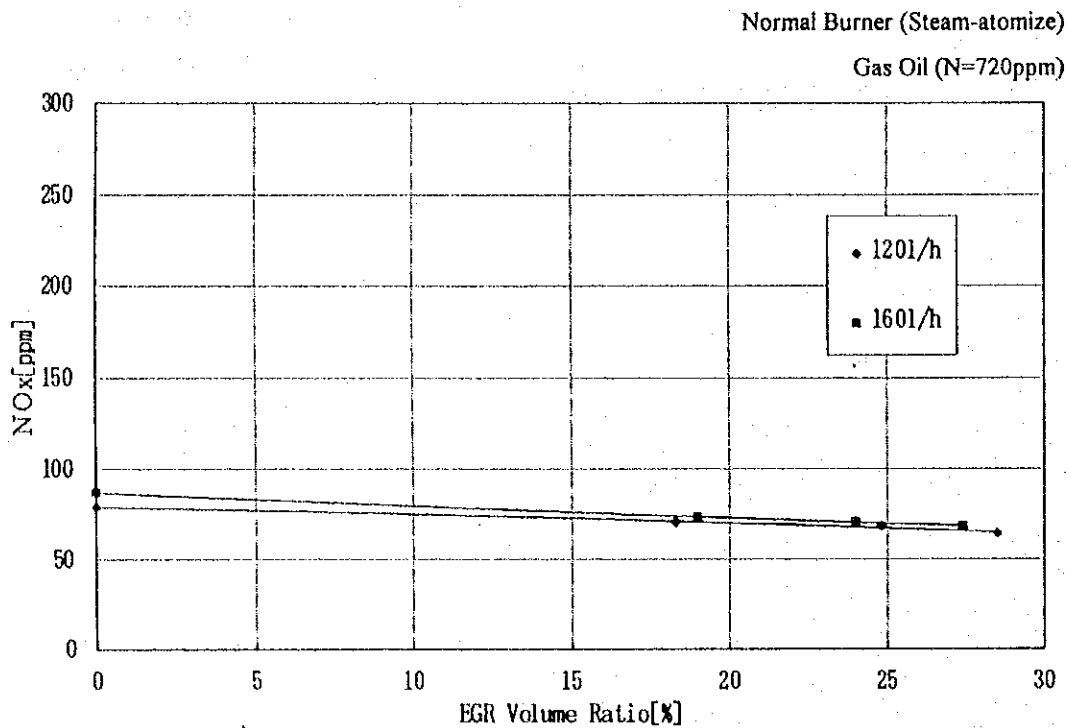


図 4.4.8 ガスオイル燃焼におけるEGR比-NO_x濃度の関係
(通常バーナ、蒸気霧化)

(7) バーナノズルの位置とNO_x濃度

軽油とガスオイルの燃焼におけるバーナノズルの位置とNO_x濃度との関係について調べた。適正位置と適正位置から100 mm バーナノズルを手前に引いた時のNO_x濃度との関係を求め、図4.4.9に示した。

手前にバーナを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、NO_x濃度レベルが上がった。NO_xの排出量を減少させるためには、非常にきめ細かいコントロールが必要であることを裏付けている。

(8) 混合方法及び霧化蒸気圧力とNO_x濃度の関係

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NO_x濃度とばいじん濃度を求めた。なお、一連の燃焼試験では、特にことわらないかぎり内部混合式を使用した。ZMCMでは外部混合式も広く使われている。

軽油で内部混合式を使用した結果を図4.4.10に、外部混合式の結果を図4.4.11に示した。同様に、ガスオイルの場合を図4.4.12、図4.4.13に示した。なお、図中の数値は、バックラッカ値である。

内部混合式は、霧化蒸気圧力によるNO_x濃度の差はほとんどないが、ZMCMで広く使用されている外部混合式では、低負荷低酸素濃度域で霧化蒸気圧力が高まるとともにNO_x濃度も高くなる傾向にある。バックラッカ値が4以下の条件で1 kgf/cm²と2 kgf/cm²の値を比較すると、NO_x濃度は両燃料とも2 kgf/cm²の方が30%高くなることが示された。

工場診断調査によれば、ZMCMにおいて、ボイラーは通常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、各ボイラーのNO_xの発生を低減させることは可能である。一般に、酸素濃度が低くなるほどNO_x濃度が低くなる。しかしながら、ある限界を越えて酸素濃度を下げると、大量のすすを発生させることになる。バックラッカ値が4になると、非常にわずかであるが煙が見えるようになり、バックラッカ値が8になると、はっきりと目視できる。それゆえ、バックラッカ値が4以下になるように、酸素濃度を適正なレベルに保つ必要がある。

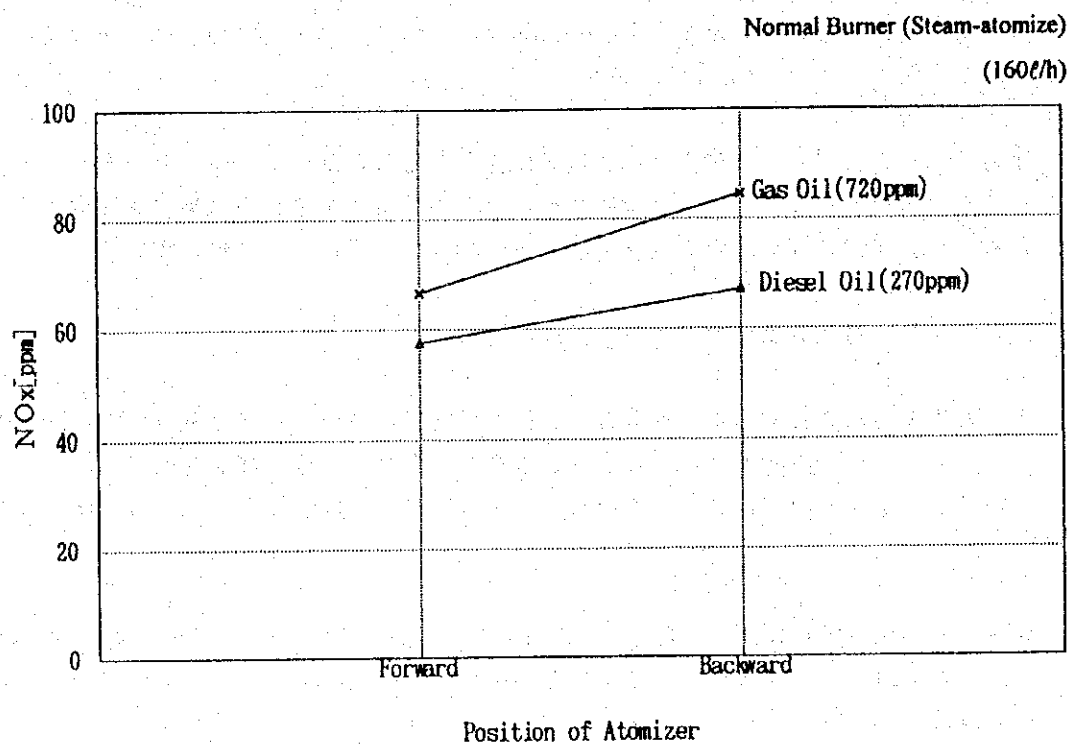


図 4.4.9 バーナ位置のNOx 濃度への影響

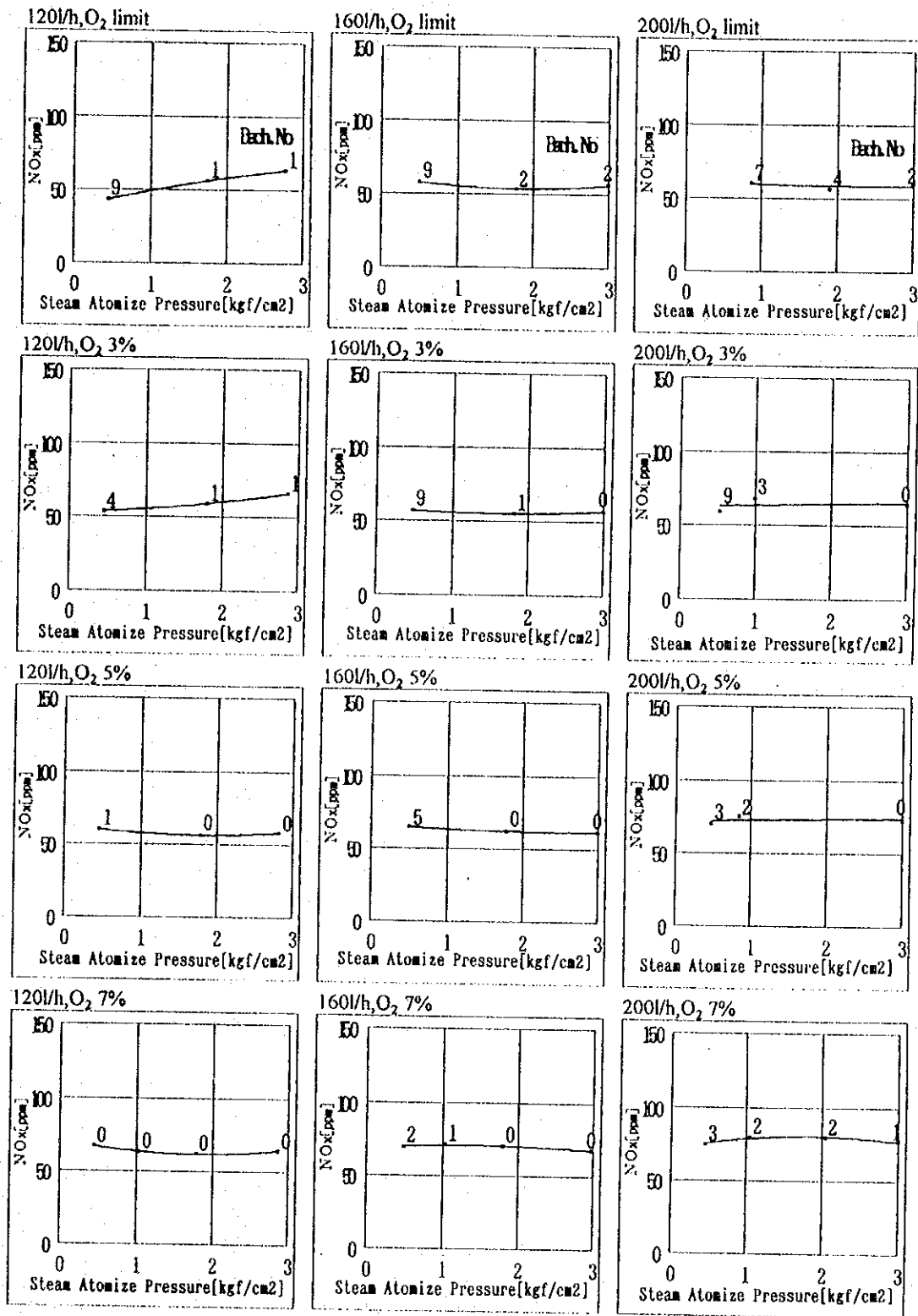


図 4.4.10 軽油の内部混合燃焼における雾化蒸気圧力とNOx 濃度の関係

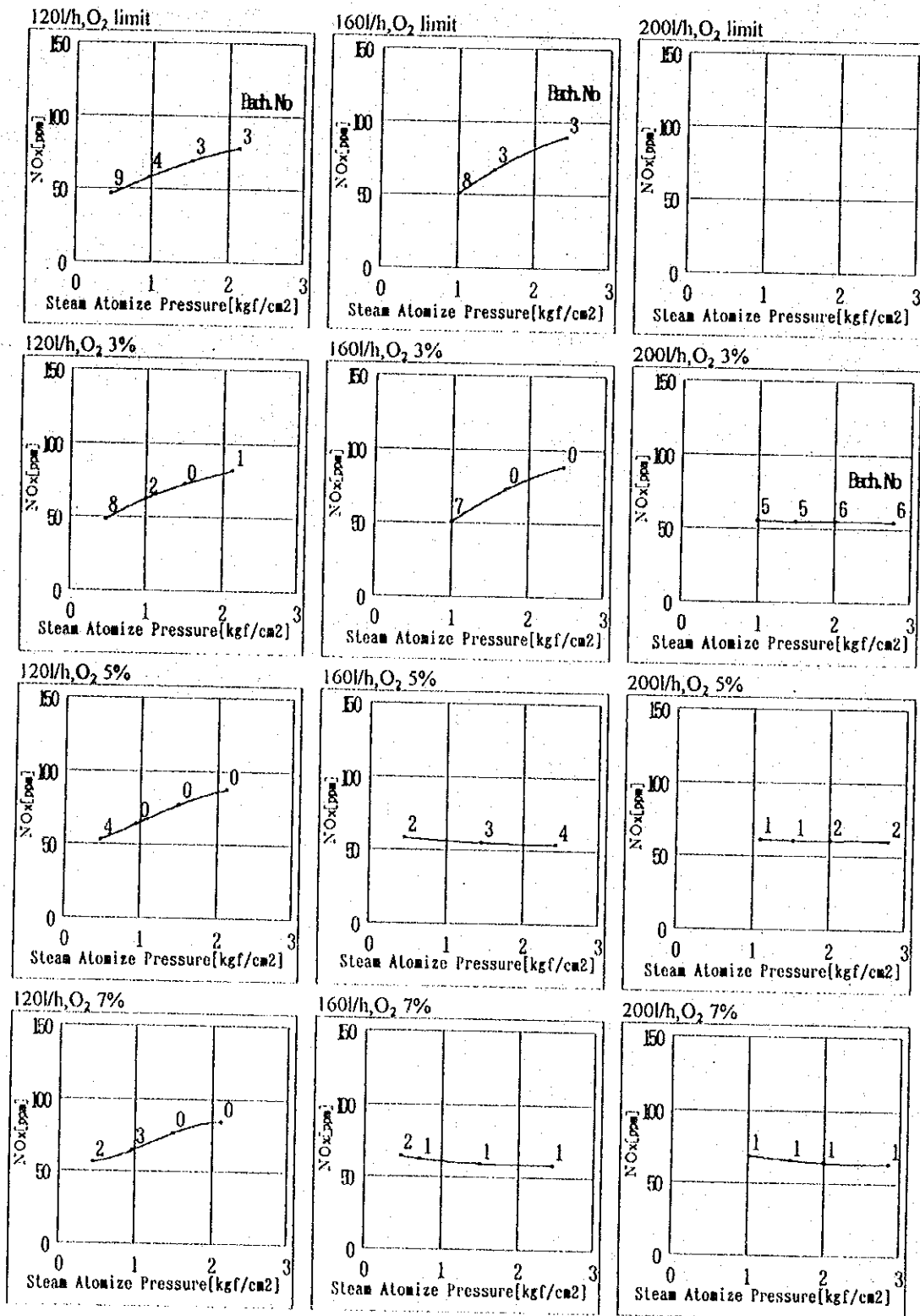


図 4.4.11 軽油の外部混合燃焼における霧化蒸気圧力とNO_x濃度の関係

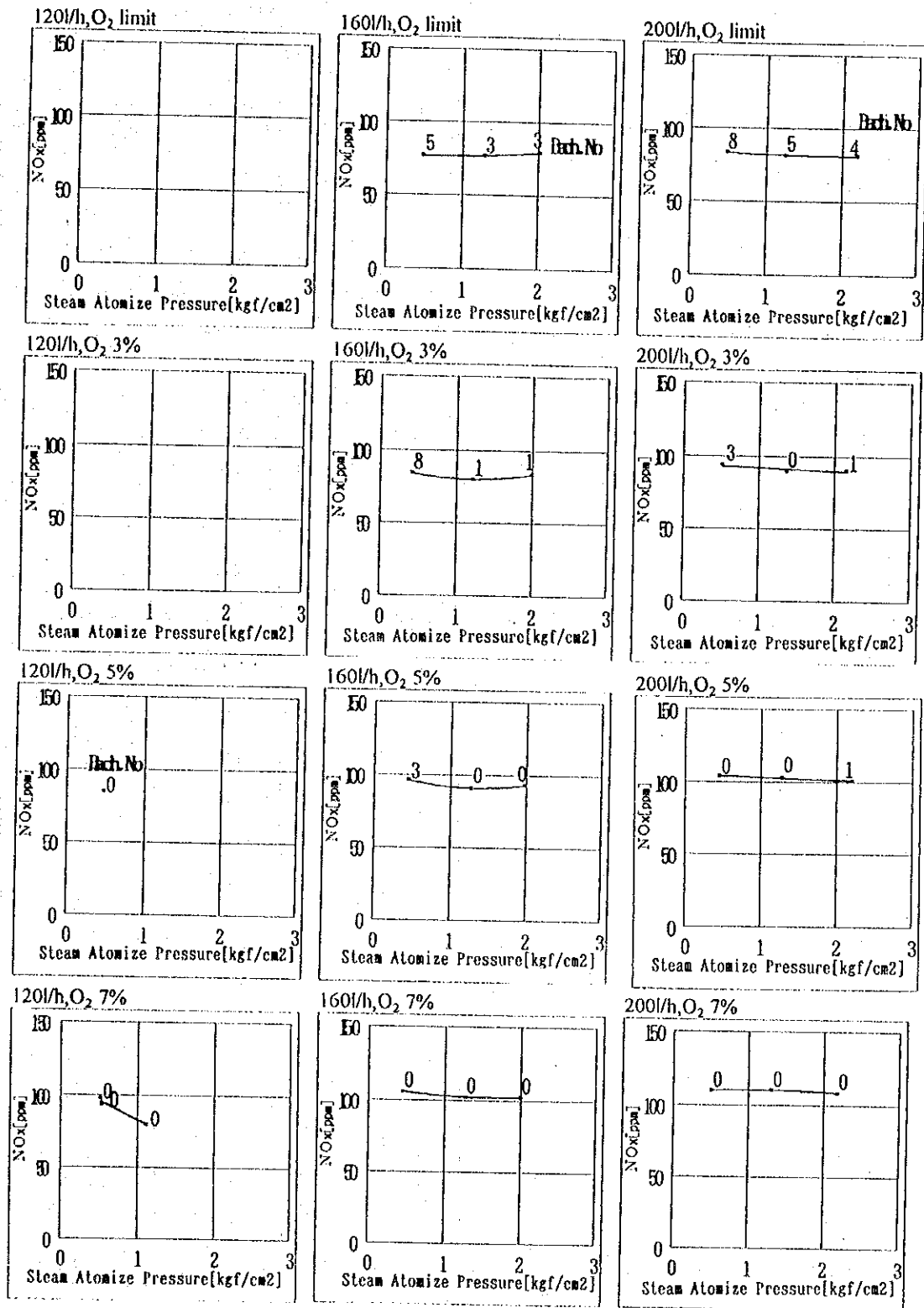


図 4.4.12 ガスオイルの内部混合燃焼における霧化蒸気圧力とNOx 濃度の関係

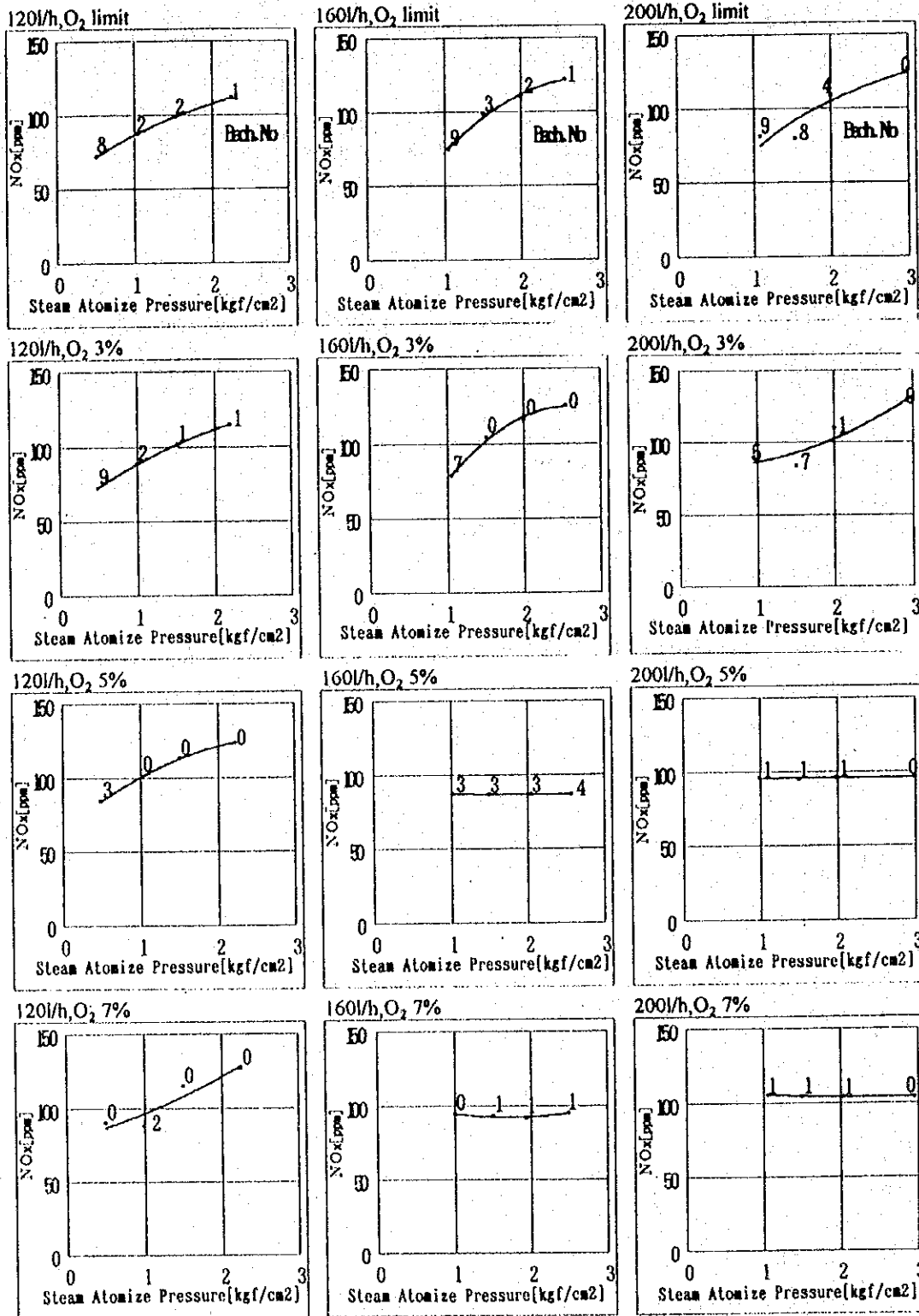


図 4.4.13 ガスオイルの外部混合燃焼における霧化蒸気圧力とNO_x濃度の関係

4.4.2 油用低NO_x型バーナ(1)による試験結果

図 4.4.14 ~ 図 4.4.17 に雾化媒体別、燃料種類別、燃料負荷別のNO_x濃度と酸素濃度の関係を示した。

(1) 雾化媒体のNO_x濃度に対する影響

標準型バーナと同様に、空気雾化に比べて蒸気雾化の方が低いNO_x濃度レベルとなった。燃料負荷160ℓ/hでは、軽油の場合 15 ~ 25 %、ガスオイルの場合 3 ~ 20 % 蒸気雾化の方が低い結果となった。

(2) 酸素濃度のNO_x濃度に対する影響

200及び160ℓ/hの負荷では、酸素濃度の減少とともに、ほぼ直線的にNO_x濃度レベルが低くなっている。120ℓ/hの場合は酸素濃度 5%程度以下では濃度レベルの低下は緩慢である。燃料負荷160ℓ/hにおける限界酸素濃度でのNO_x濃度は、軽油の場合、蒸気雾化時 39ppm、空気雾化時 45ppmであり、同様にガスオイルの場合、それぞれ 72ppm、74ppmであった。

(3) 燃料負荷のNO_x濃度に対する影響

燃料負荷の減少とともに、いずれのケースでもNO_x濃度レベルは低くなっている。特に、酸素濃度 3~5 %において、200ℓ/h負荷時と 120ℓ/h負荷時のNO_x濃度の差は大きい。

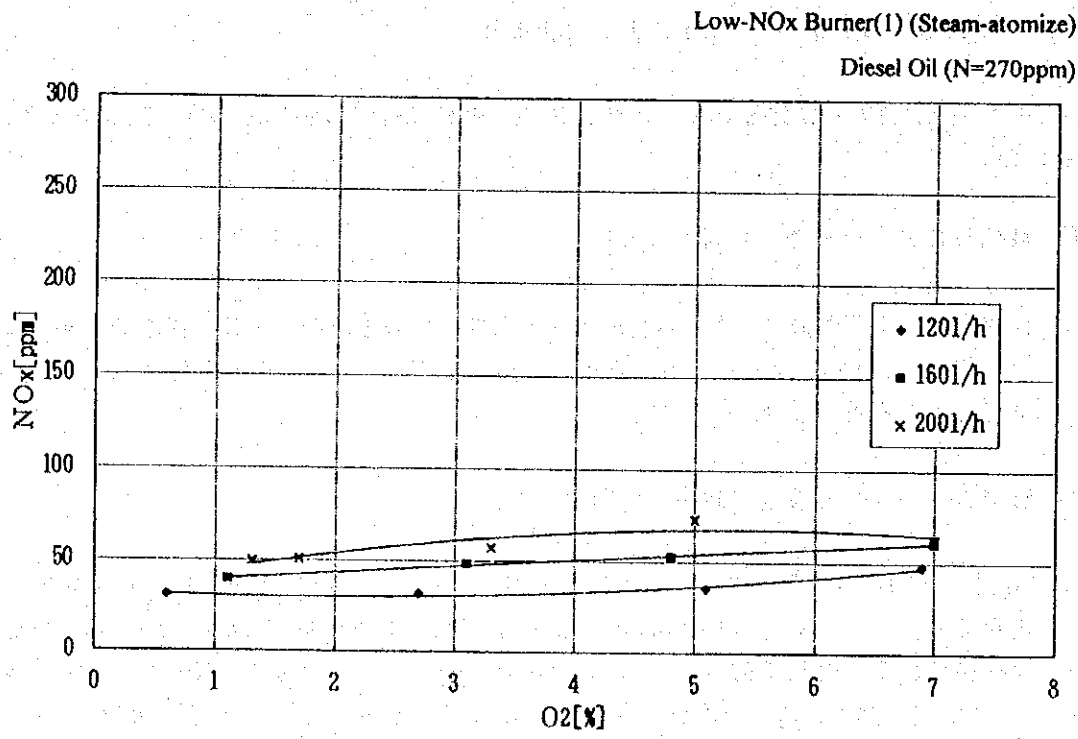


図 4.4.14 軽油燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(低NO_xバーナ (1) 蒸気霧化)

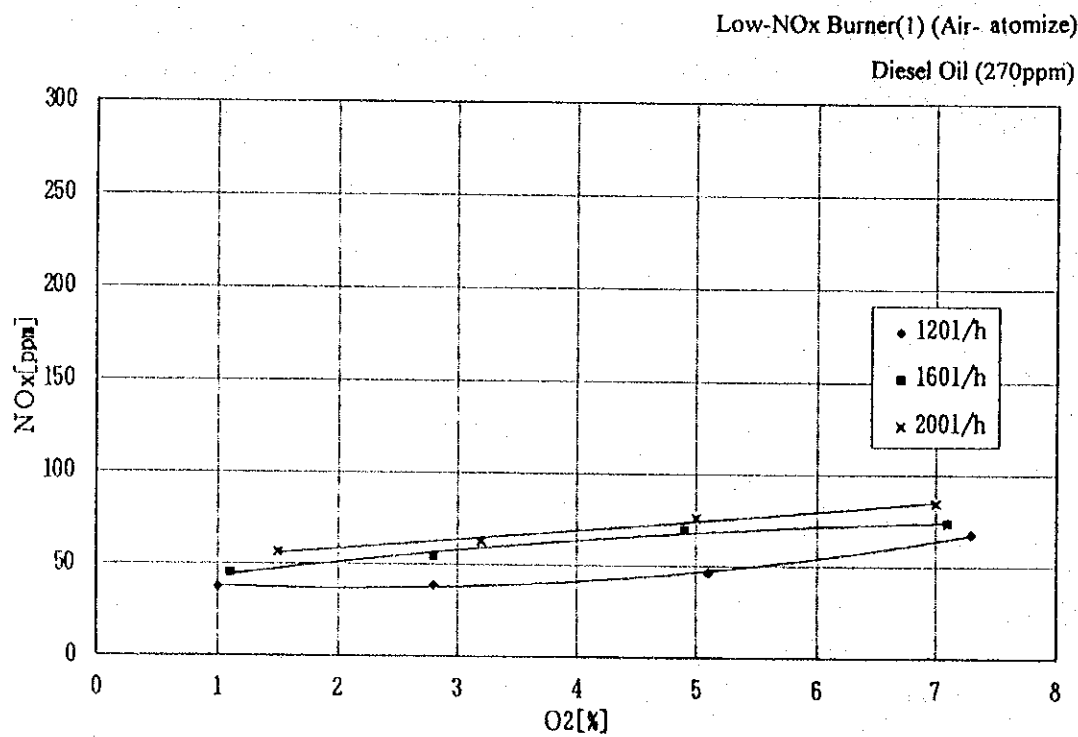


図 4.4.15 軽油燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(低NO_xバーナ (1) 空気霧化)

Low-NOx Burner(1) (Steam-atomize)

Gas Oil (N=720ppm)

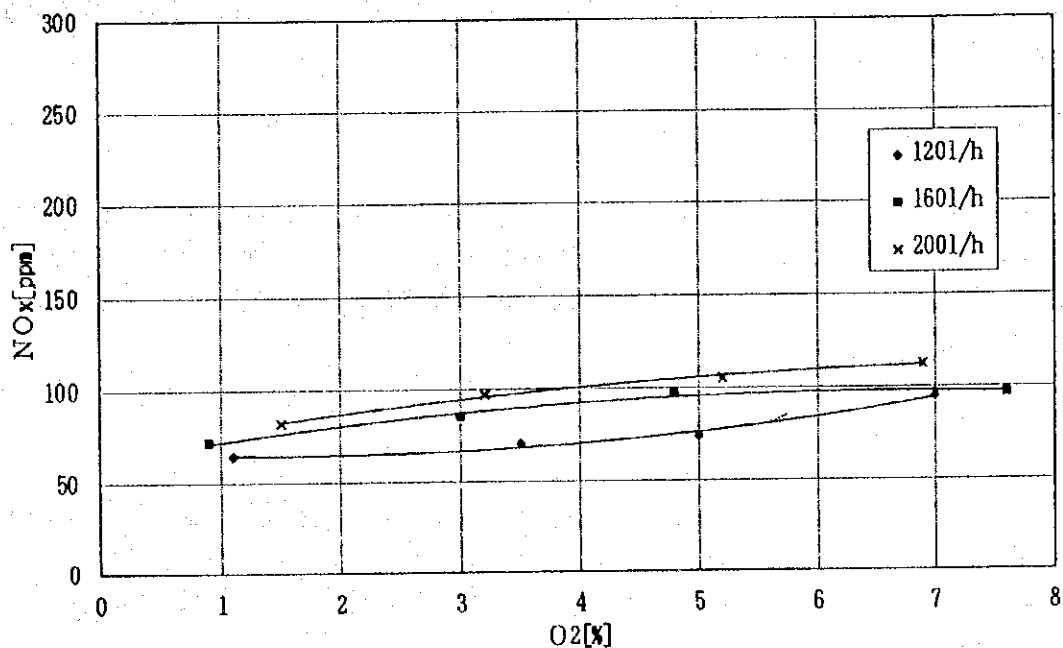


図 4.4.16 ガスオイル燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(低NO_xバーナ (1) 蒸気霧化)

Low-NOx Burner(1) (Air-atomize)

Gas Oil (N=720ppm)

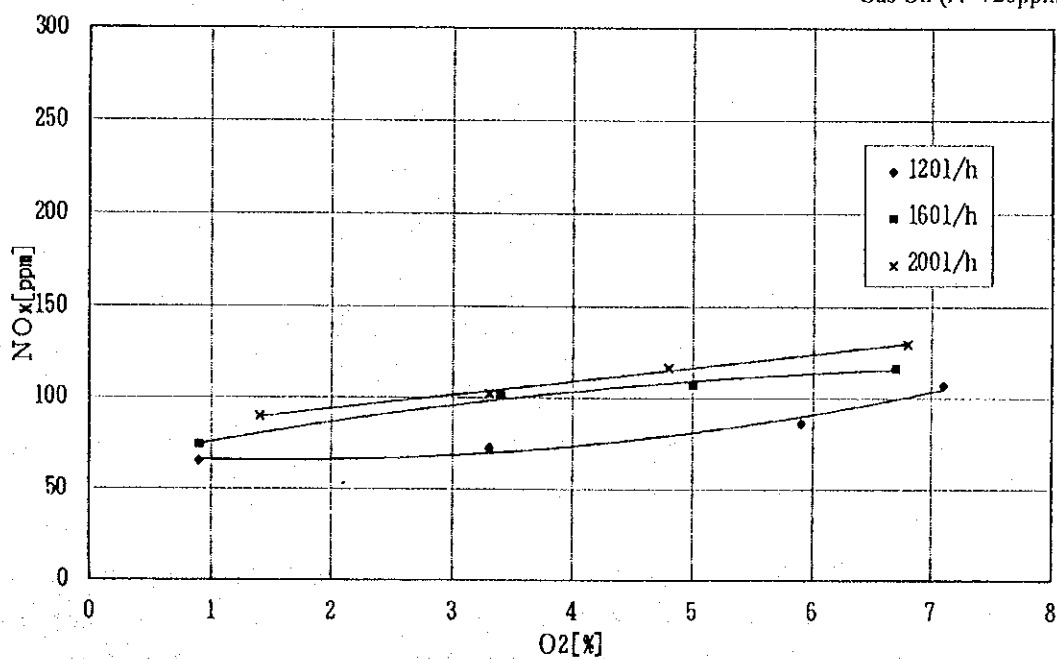


図 4.4.17 ガスオイル燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(低NO_xバーナ (1) 空気霧化)

4.4.3 油用低NO_x型バーナ(2)による試験結果

このバーナは、自己再循環及び2段燃焼を組合せた方式で、燃焼用空気に対する1次空気量の比によってNO_x濃度は変化する。

(1) 1次空気量とNO_x濃度の関係

160 l/hの負荷でガスオイルを使用した時の1次空気比率とNO_x濃度の関係を 図 4.4.18 に示した。各酸素濃度で、空気比 0.5~0.6 のレンジの時にNO_x濃度が最も低くなることが示された。最低NO_x濃度は、酸素濃度 3%、1次空気比 0.52における76ppmであった。

(2) 酸素濃度とNO_x濃度の関係

ガスオイルを使用した時の燃焼負荷別の酸素濃度とNO_x濃度の関係を 図 4.4.19 に示した。1次空気比とNO_x濃度の関係から最低点を求め、図示したものである。燃焼負荷による差はなく、酸素濃度 3%と7%でのNO_x濃度はそれぞれ 76ppm、87ppmであった。

(3) 蒸気噴射とNO_xの関係

蒸気噴射は、サーマルNO_xを下げる目的として、主にガス燃焼施設で使用されている。今回の燃焼試験では、天然ガスの試験が実施できなかったため、N分添加ガスオイルを使用した例を引用して、その効果を調べた。160 l/hの燃料負荷の時の結果を表 4.4.1に示した。

表 4.4.1 蒸気噴射とNO_x濃度

	NO _x 濃度 (ppm)		
	ケース1	ケース2	ケース3
蒸気噴射 OFF	139	137	118
蒸気噴射 ON	138	135	117

この結果、蒸気噴射による効果は、明確ではなく、燃料油における低NO_x手法としては有効ではないことが示された。

なお、日本国内における天然ガス燃焼（ボイラー）の実施例では、20~30%のNO_x削減率が報告されており、蒸気噴射による低NO_x手法は、燃料によっては有効であるものと考えられる。しかし、低空気比燃焼域では、COが発生する傾向にあるので、注意を必要とする。

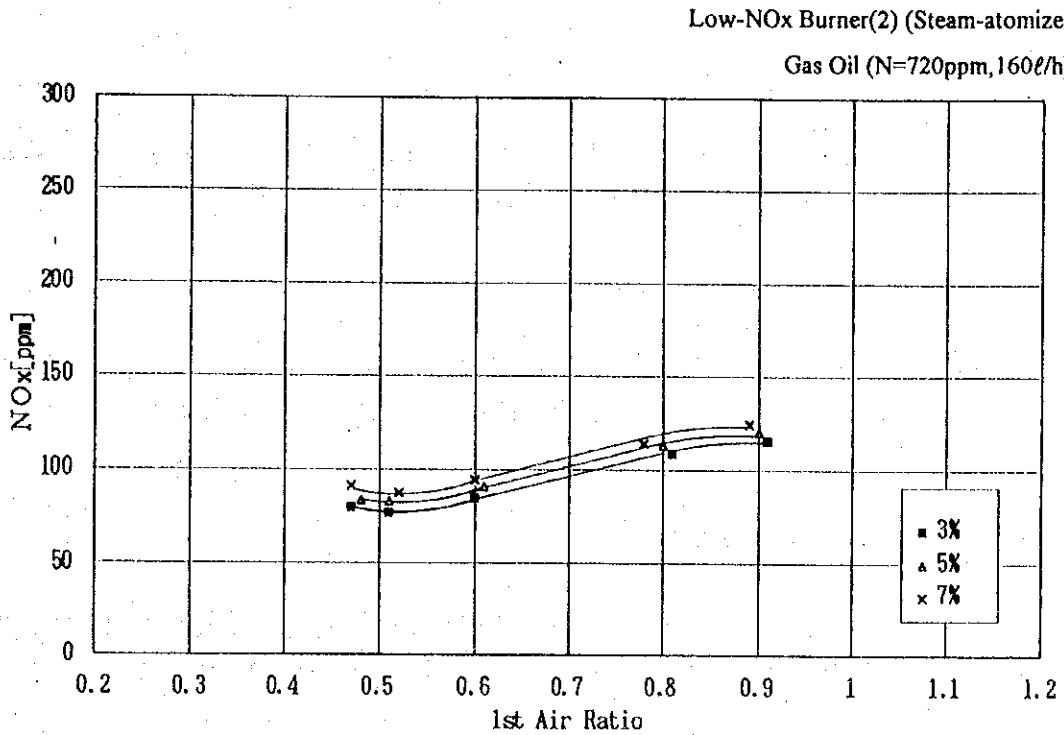


図 4.4.18 ガスオイル燃焼における一次空気比とNOx 濃度の関係
(低NOxバーナ (2) 蒸気霧化)

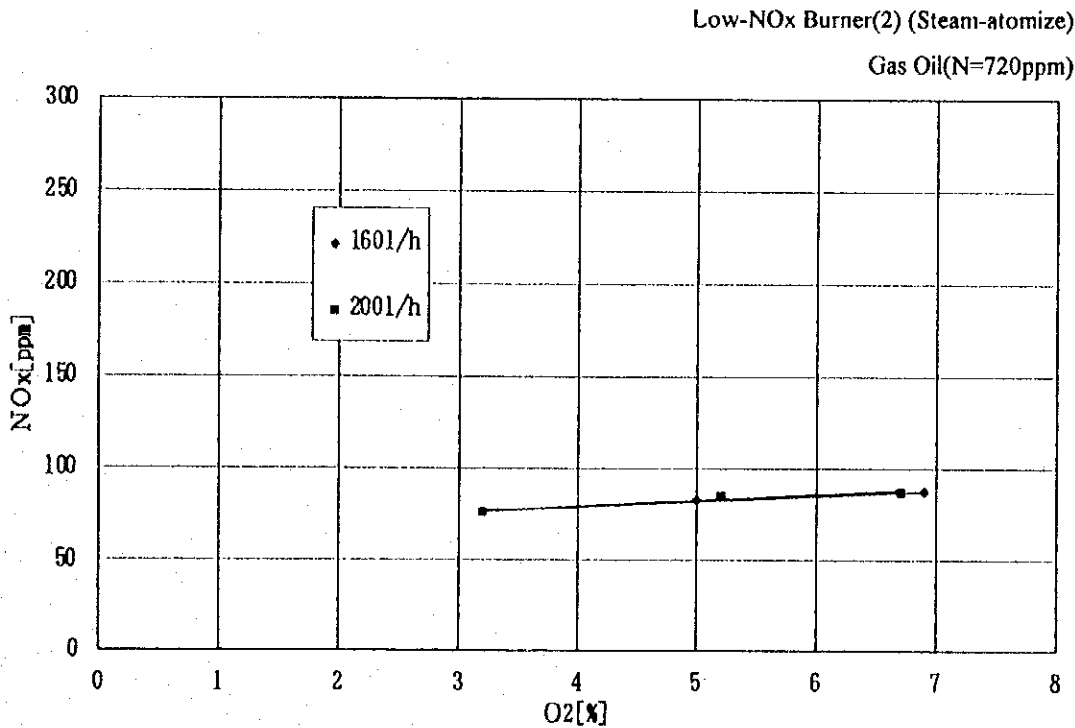


図 4.4.19 最適一次空気比でのガスオイル燃焼における排ガスO2濃度とNOx 濃度の関係
(低NOxバーナ (2) 蒸気霧化)

4.4.4 油用低NO_x型バーナ(3)による試験結果

このバーナは、2段燃焼を低NO_x化の原理としている。油用低NO_x型バーナ(2)と同様に、燃焼用空気量に対する1次空気量の比によって、NO_x濃度は変化する。

(1) 1次空気量とNO_x濃度の関係

軽油およびガスオイル燃焼における1次空気量とNO_x濃度の関係をそれぞれ図4.4.20と図4.4.21に示す。1次空気量比=0.6付近でNO_x濃度は最低になることが示された。

(2) 酸素濃度とNO_x濃度の関係

図4.4.22と図4.4.23に、それぞれ軽油とガスオイルの場合の燃焼負荷別の酸素濃度とNO_x濃度の関係を示した。1次空気比とNO_x濃度の関係から最低点を求め、図示したものである。

燃焼負荷による差は少なく、酸素濃度3%でNO_x濃度は、軽油の場合45ppm、ガスオイルの場合71ppmであった。

Low-NOx Burner(3) (Steam-atomize)

Diesel Oil (N=270ppm,160ℓ/h)

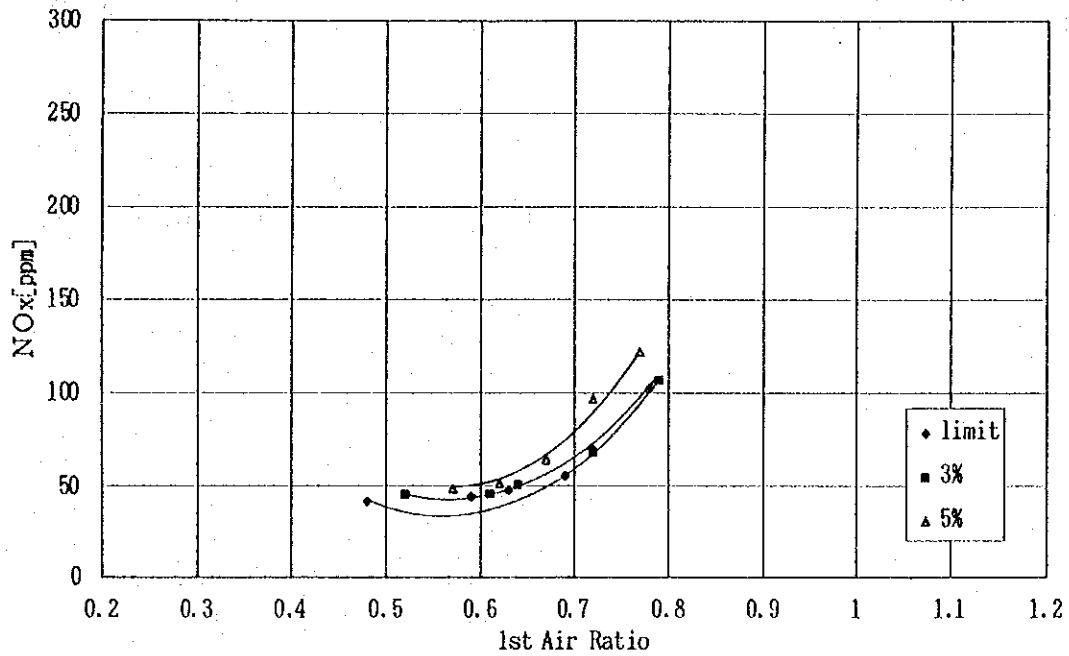


図 4.4.20 軽油燃焼における一次空気比とNOx 濃度の関係
(低NOxバーナ (3) 蒸気霧化)

Low-NOx Burner(3) (Steam-atomize)

Gas Oil (N=720ppm,160ℓ/h)

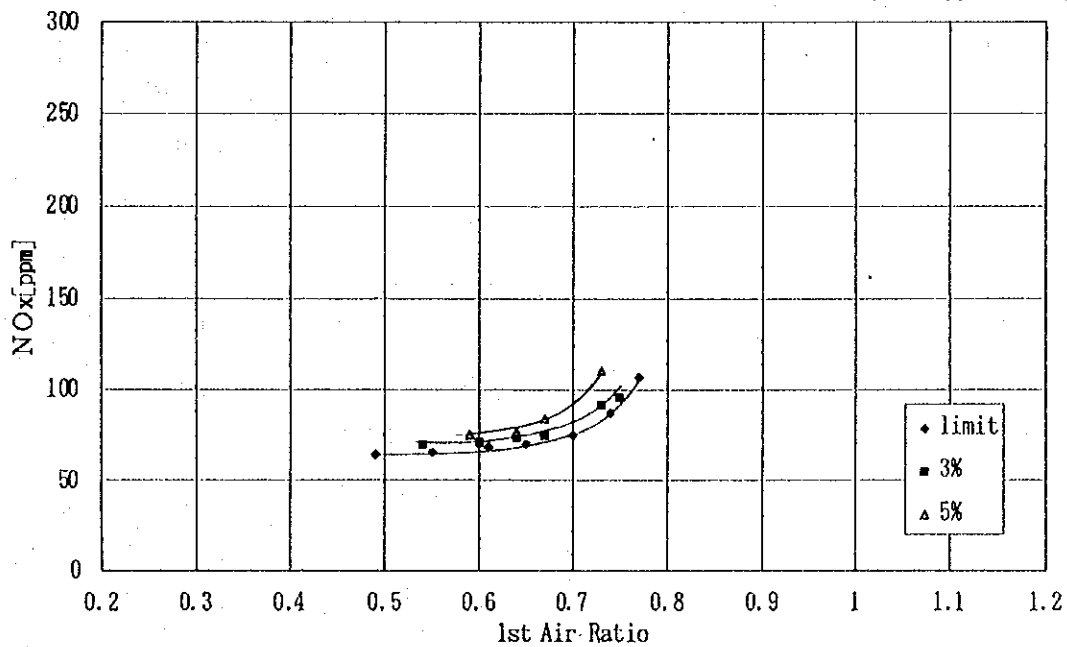


図 4.4.21 ガスオイル燃焼における一次空気比とNOx 濃度の関係
(低NOxバーナ (3) 蒸気霧化)

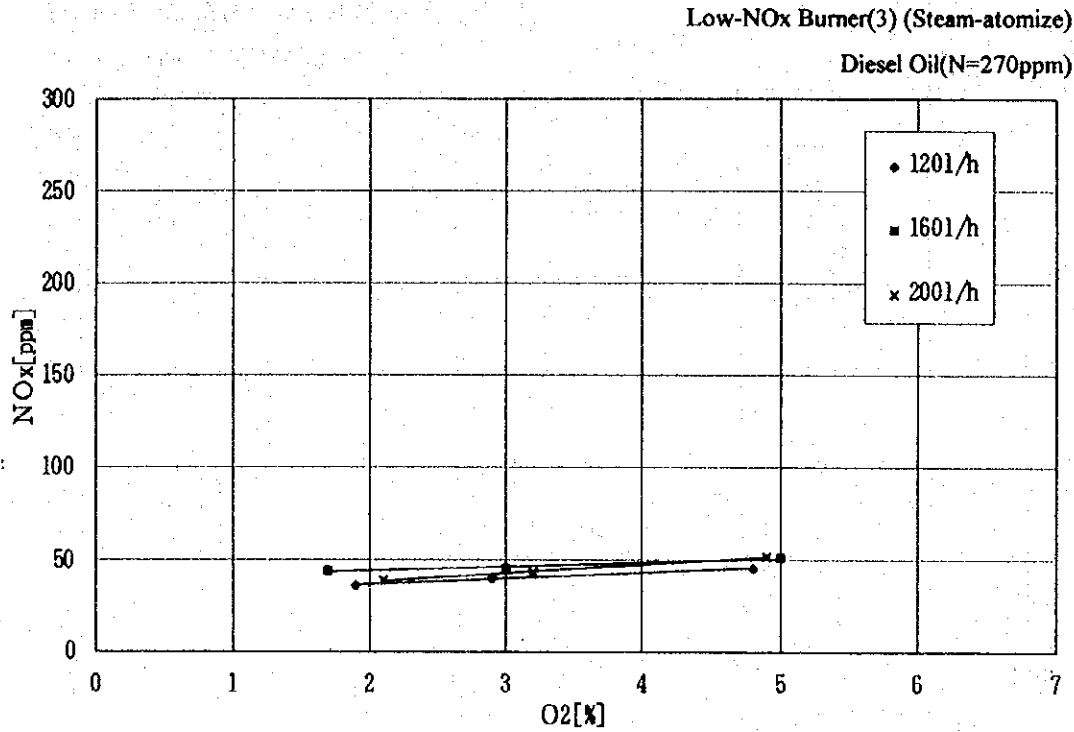


図 4.4.22 最適一次空気比での軽油燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(低NO_xバーナ (3) 蒸気霧化)

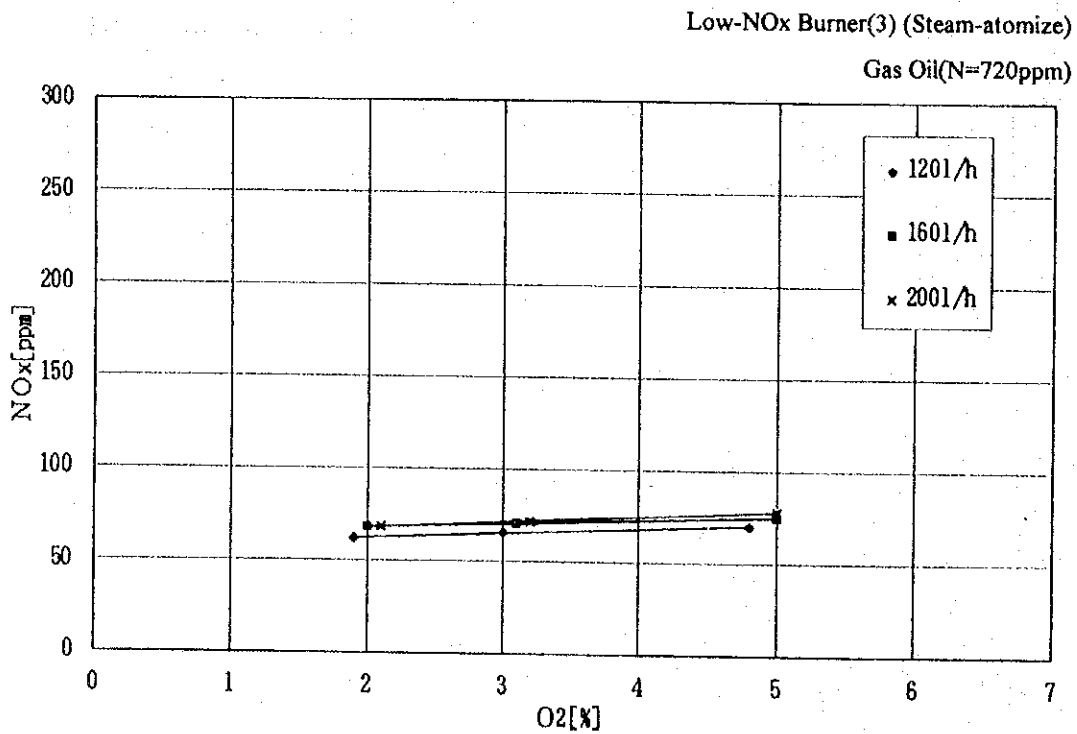


図 4.4.23 最適一次空気比でのガスオイル燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(低NO_xバーナ (3) 蒸気霧化)

4.4.5 燃料分析結果

本試験で燃焼に供された軽油、ガスオイルは、PEMEXのTula製油所からタンクローリで輸送された。調査団は、各ロットごとに、比重、動粘度、残留炭素、全窒素の分析を行った。

(1) 分析の方法

・比重	JIS K 2249	I型浮きばかり法
・動粘度	B型粘度計法	
・残留炭素	JIS K 2270	コンラドソン法
・全窒素	JIS K 2609	セミマイクロケルダール法

(2) 分析結果

軽油の分析結果を 表 4.4.2に、ガスオイルの分析結果を 表 4.4.3に示した。各ロット間のバラツキは小さく、ロット間の品質の差は無いと判断された。

表 4.4.4に、N分添加ガスオイルの分析結果を示した。

(3) IMPと調査団の燃料N分分析結果の比較と問題点

表 4.4.5は、IMPと調査団によって採用されたそれぞれの分析方法により得られた燃料の標準サンプル中のN分の分析値の比較を示したものである。2つの方法の値には、大きな違いがある。

表 4.4.6にはIMPの方法によるN分分析の再現性を、表 4.4.7には色々な量の窒素源（トリエチレンテトラミン：TETA）を加えたガスオイルサンプル中のN分についてIMPおよび調査団が分析した結果を比較して示す。

調査団はケルダール法を、IMPは化学発光法を採用した。後者は、燃料中のNの濃度が高くなるにつれて値が低くなる傾向にある。

IMPの採用している化学発光法は、沸点が約50℃から40℃の範囲の液体石油燃料中に通常含まれる微量の全窒素分の分析に適用されるもので、ASTM法D4629に定められている標準サンプルを用いることになっている。従って、高濃度の窒素分を含む燃料サンプルの分析には限界があり、採用に当たってはその適用性を十分検討しなければならない。

単一の窒素化合物を標準物質として用いる場合の化学発光法による窒素分析の改善について参考となる方法をData Bookに示す（参考文献E6）。

また、化学発光法による重油窒素分標準試料中の窒素分試験に関する最近の日本での研究によって提案された改良法をData Bookに示す（参考文献E7）。

表 4.4.2 軽油の分析結果

Item	Unit	Analysis Data		
		Lot.1	Lot.2	Lot.3
Specific Gravity 15°C/4°C	-	0.8394	0.8494	0.8413
Viscosity 40°C	cSt	3.99	4.28	4.09
Conradson Carbon	%wt	0.04	0.02	0.03
Total Nitrogen	ppm	267	267	290
Total Sulfur	%wt	0.58	0.60	0.56

表 4.4.3 ガスオイルの分析結果

Item	Unit	Analysis Data		
		Lot.1	Lot.2	Lot.3
Specific Gravity 15°C/4°C	-	0.8858	0.8740	0.8775
Viscosity 40°C	cSt	9.87	8.57	9.56
Conradson Carbon	%wt	0.25	0.19	0.22
Total Nitrogen	ppm	715	724	732
Total Sulfur	%wt	1.81	1.65	1.76

表 4.4.4 窒素分添加ガスオイルの窒素含有量分析結果

Test Date	Analysis Data (ppm)	Test Date	Analysis Data (ppm)
Aug.31	1,501	Oct.10	2,123
Sept.1	2,388	Oct.11	2,608
Sept.5	1,084	Oct.13	3,768
Sept.6	1,697	Oct.21	1,786
Sept.21	1,858	Oct.21	2,193
Sept.23	1,495	Oct.24	1,874
Sept.23	1,756	Dec.1	3,240
Sept.26	1,840	Dec.1	3,270
Sept.26	2,071	Dec.2	2,412
Oct.4	1,270	Dec.2	2,481
Oct.5	1,625	Dec.3	1,485
Oct.7	2,243	-	-

表4.4.5 燃料中の窒素含有量分析値の対比

Standard Value (ppm)	IMP Analysis (ppm)	JICA Analysis (ppm)
5,890	2,998	5,940

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・団体に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 Data Book の中に示してある。

表4.4.6 IMPによる窒素含有量分析値の再現性

Calculation Data (ppm)	1st Analysis (ppm)	2nd Analysis (ppm)
4,000	2,036	3,127

表4.4.7 IMPと調査団による燃料中の窒素含有量分析値の対比

Calculated Data (ppm)	IMP Analysis by Chemiluminescence (ppm)	JICA Analysis by Kjeltec Method (ppm)
2,500	1,507	2,243
3,000	1,580	2,608
2,000	1,126	1,501
3,000	1,877	2,388
1,500	957	1,084
2,500	1,242	1,697
2,000	1,081	1,495
Diesel-Oil	270	267
Gas-Oil	622	724

注：“Calculated Data”はTETAのN含有量として販売元より報告された値に基づいて計算されたものである。当初は38.3%と報告され、1994年10月6日には36.3%と報告された。上表の最初の2行の“Calculated Data”は36.3%として、それ以下の行のものは38.3%として計算したものである。1994年11月7日にIMPがKjeltec法による機器分析でクロスチェックを行った結果、TETAの窒素含有量は31.25546%と評価された。このことは、販売元が示した試薬の質については、使用のたびに検査する必要があることを示している。

4.4.6 燃焼効率

ポータブル型燃焼効率計を使用して、各試験ごとに燃焼効率を測定した。この燃焼効率は次式で定義され、自動的に計算される。

$$\text{燃焼効率} = 100 - K3 - K1 \times T / (K2 \times (1 - O_2 / 21))$$

- T : 排ガス温度 (℃)
- O₂ : 排ガス中の酸素濃度 (%)
- K₁ : 燃料の炭化水素の構成により決まる係数
- K₂ : 排ガス中のCO₂の理論最大濃度
- K₃ : 排ガス中の水分による潜熱

K₁～K₃の係数は、燃料別に以下のように定められている。

	K ₁	K ₂	K ₃
天然ガス	0.38	11.8	11.0
No.2 Oil (軽質油)	0.56	15.6	6.0
No.6 Oil (重質油)	0.60	15.9	5.0

燃焼効率の測定結果の一例を表 4.4.8 に示した。160 l/h でのガスオイル燃焼の例を示したが、バーナの構造の差による燃焼効率の差はみられなかった。

表 4.4.8 バーナ別燃焼効率

酸素濃度	効率 (%)			
	7%	5%	3%	発煙限界
標準バーナ	83	85	85	86
Low NO _x バーナ (1)	81	83	84	86
Low NO _x バーナ (2)	80	83	84	85
Low NO _x バーナ (3)	-	83	85	85

4.5 燃焼試験結果の評価

4.5.1 各種燃焼方法、技術の汚染物質低減効果

(1) 燃焼方法・技術の種類

本試験で用いられた低NO_xのための手法、技術を整理し、以下に示す。

- a. 低NO_xバーナ
 - ・自己再循環
 - ・二段燃焼
 - ・自己再循環+二段燃焼
- b. 省エネルギー
 - ・低酸素燃焼
 - ・空気予熱
 - ・エコノマイザによる熱回収
- c. 排ガス再循環とスチームインジェクション
- d. 最適噴霧条件
 - ・バーナノズル角度
 - ・バーナ位置
 - ・霧化媒体
 - ・混合法と霧化蒸気圧力

これらの各種燃焼方法、技術手法別に、NO_x低減効果を比較する。

(2) 低NO_xバーナ

標準型バーナ、低NO_xバーナ(1)、(2)、(3)について、酸素濃度3%及び5%におけるNO_x濃度と燃料中N分濃度の関係を求め、図4.5.1～図4.5.6に示した。各図の中で、N分270ppmのものは軽油、720ppmのものはガスオイル、それ以上のN分のは、窒素源を添加したガスオイルのデータである。

さらに、160 l/hの燃料負荷における標準型バーナを基準としたNO_x低減率を求め、表4.5.1に示した。

表4.5.1 標準型バーナを基準とした各バーナのNO_x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	92 ppm	64 ppm	103 ppm
Low NO _x バーナ (1)	47 ppm 22 %	84 ppm 9 %	55 ppm 14 %	96 ppm 7 %
Low NO _x バーナ (2)	-	78 ppm 18%	-	93 ppm 7 %
Low NO _x バーナ (3)	44 ppm 27 %	66 ppm 26 %	51 ppm 20 %	72 ppm 30 %

注) 燃料負荷 160 l/h

上段：NO_x濃度 (ppm) 下段：NO_x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NO_xバーナ(1)は、軽油で14～22%、ガスオイルで7～9%

低NO_xバーナ(2)は、ガスオイルで18～19%

低NO_x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NO_xバーナ(3)が、高いNO_x削減率を示したが、標準バーナを含め、実施予定のNO_x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、図4.5.6に示されているように、燃焼負荷200 l/hの場合、標準バーナでは酸素濃度を下げ、NO_x排出基準を越えないよう注意する必要がある。

(Steam-atomize)

(120ℓ/h)

(O₂ Conc. in Exhaust Gas : 3%)

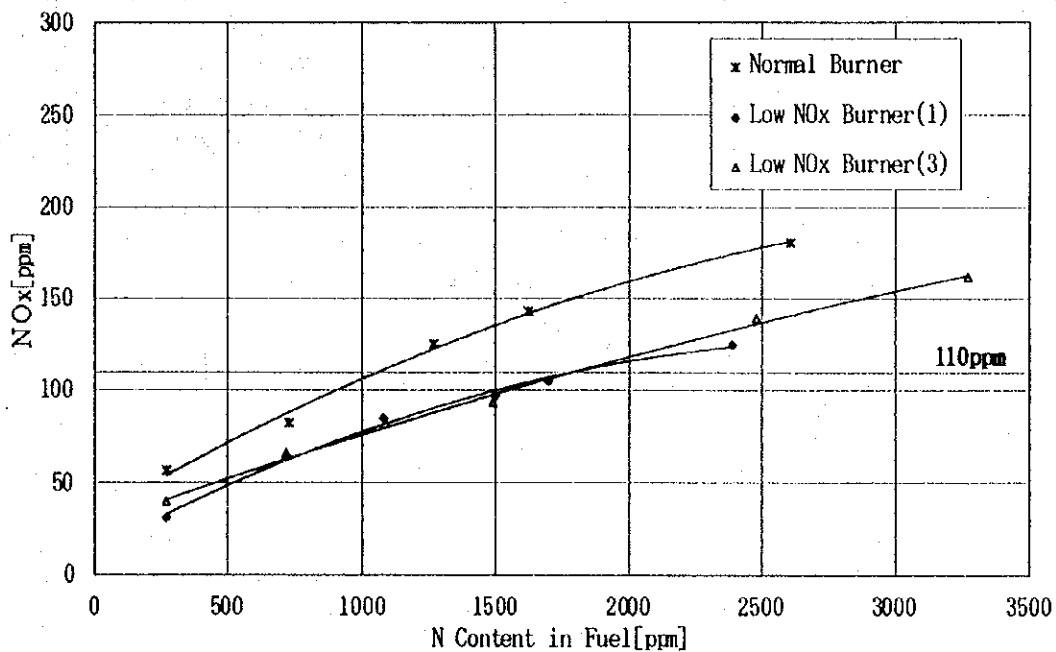


図 4.5.1 燃料窒素分とNOx 濃度の関係
(O₂=3%、燃料負荷 120 ℓ/h)

(Steam-atomize)

(120ℓ/h)

(O₂ Conc. in Exhaust Gas : 5%)

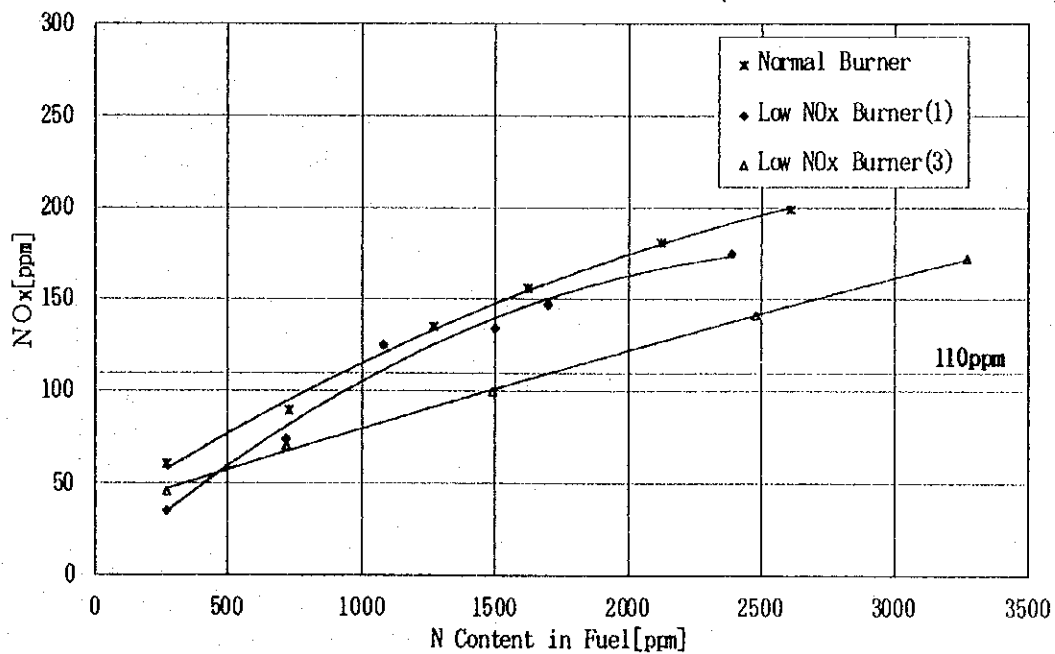


図 4.5.2 燃料窒素分とNOx 濃度の関係
(O₂=5%、燃料負荷 120 ℓ/h)

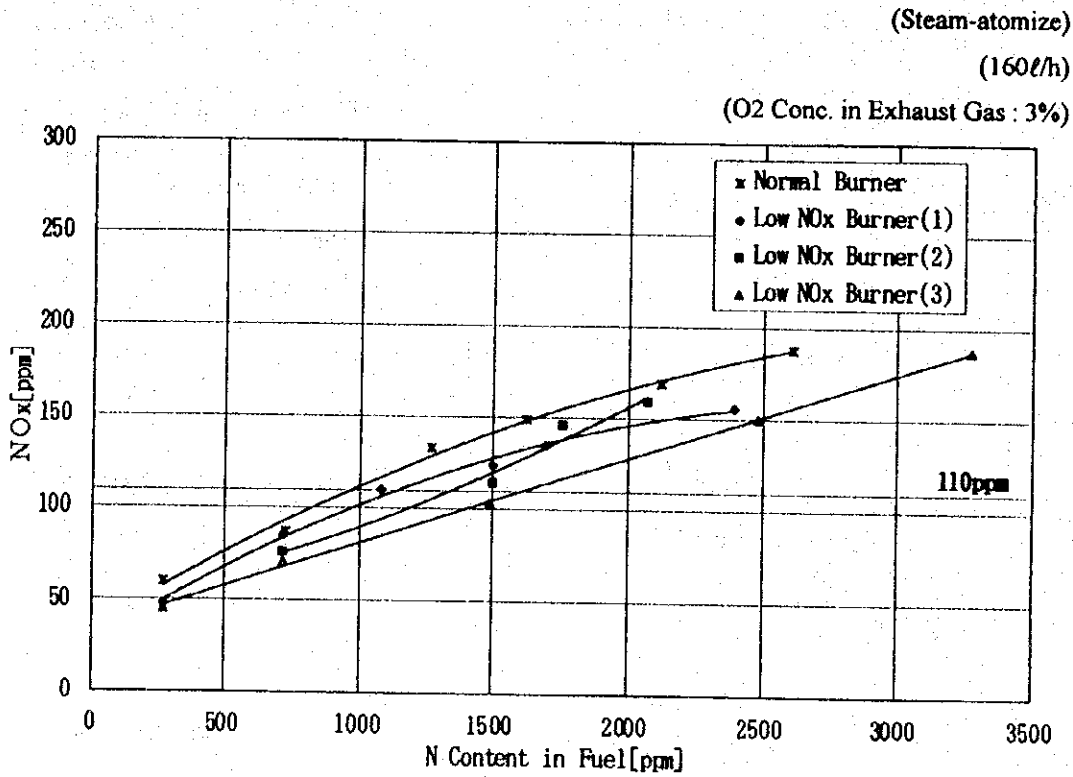


図 4.5.3 燃料窒素分とNO_x 濃度の関係
(O₂=3%、燃料負荷 160 ℓ/h)

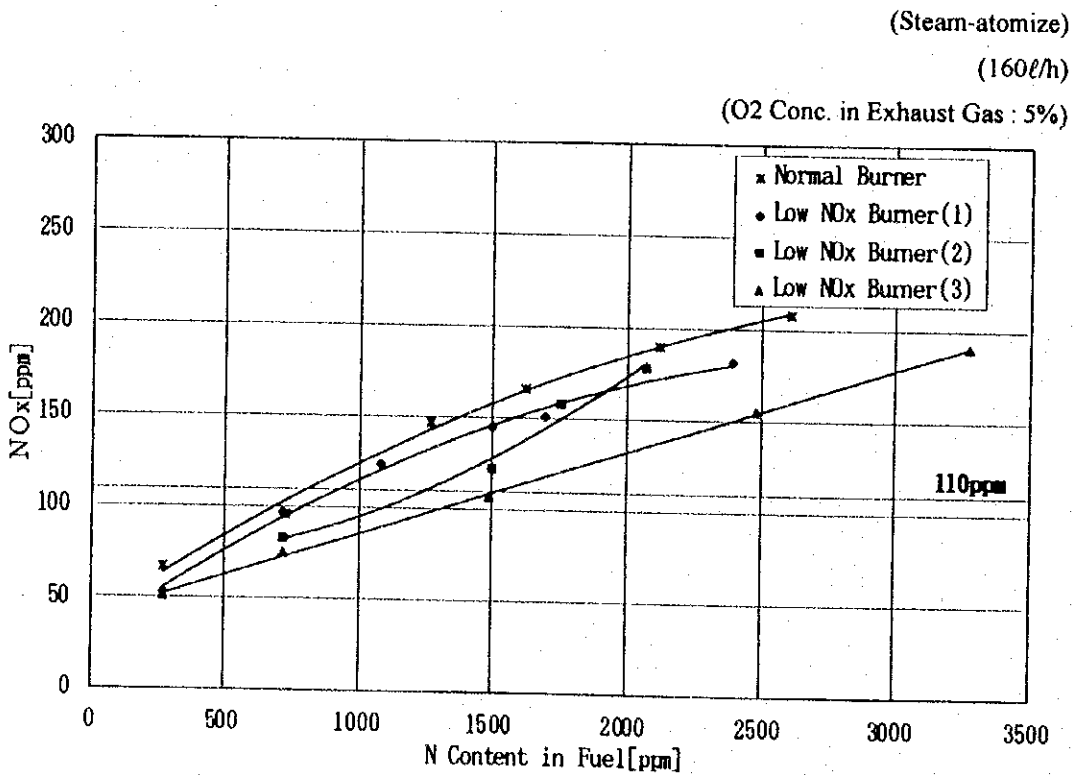


図 4.5.4 燃料窒素分とNO_x 濃度の関係
(O₂=5%、燃料負荷 160 ℓ/h)

(Steam-atomize)

(200ℓ/h)

(O₂ Conc. in Exhaust Gas : 3%)

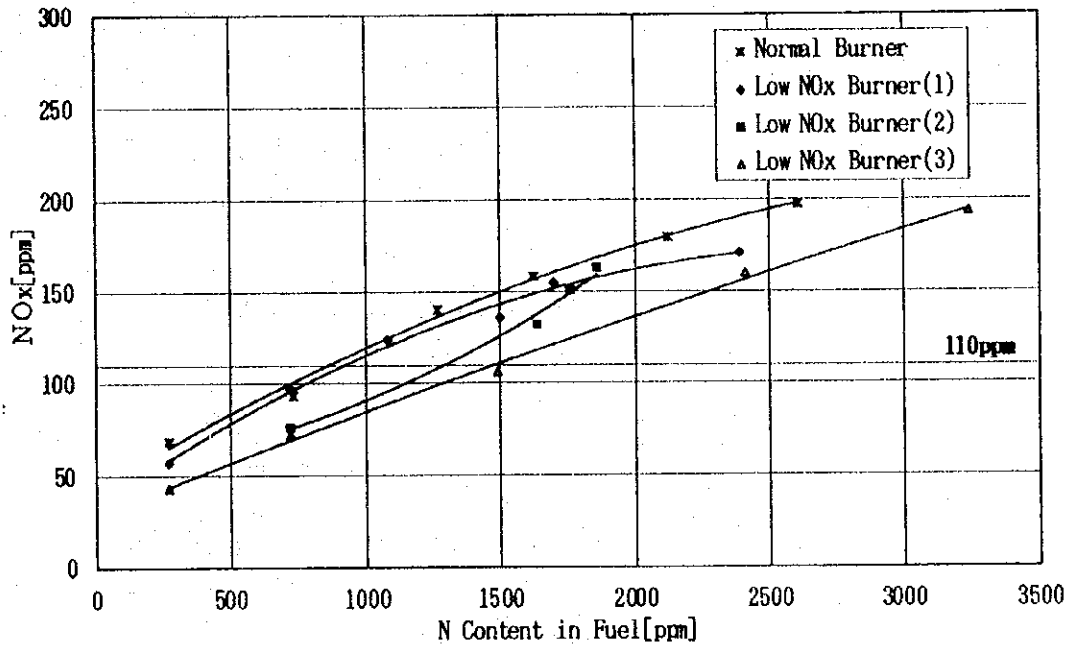


図 4.5.5 燃料窒素分とNO_x 濃度の関係
(O₂=3%、燃料負荷 200 ℓ/h)

(Steam-atomize)

(200ℓ/h)

(O₂ Conc. in Exhaust Gas : 5%)

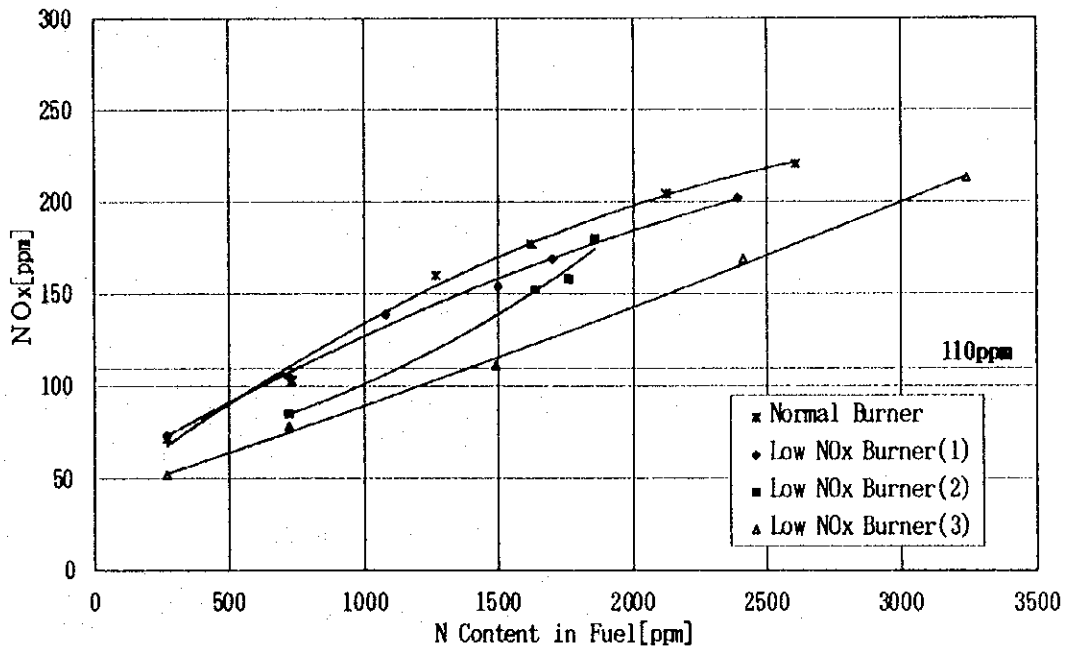


図 4.5.6 燃料窒素分とNO_x 濃度の関係
(O₂=5%、燃料負荷 200 ℓ/h)

(3) 排ガス中の酸素濃度の効果

各バーナについて、軽油とガスオイルを燃焼させたときのNO_x濃度と酸素濃度の関係を求め、燃料負荷別に図 4.5.7～図 4.5.12 に示した。

さらに、燃料負荷 160 ℓ/hにおいて、排ガス酸素濃度 5 %の時のNO_x濃度に対し、酸素濃度を下げた場合のNO_x濃度の削減率を求め、表 4.5.2に示した。

表 4.5.2 排ガス中の酸素濃度を下げた時のNO_x削減率
(O₂ 5 %の時のNO_x濃度を基準として)

単位：%

バーナ \ 排ガス中O ₂	軽油		ガスオイル	
	O ₂ : 3%	O ₂ : 発煙限界	O ₂ : 3%	O ₂ : 発煙限界
標準	14	20	11	22
Low NO _x (1)	13	28	10	26
Low NO _x (2)	-	-	10	-
Low NO _x (3)	10	16	5	9

燃料負荷 160 ℓ/h

酸素濃度を 5% から 3% に下げることによって、NO_x濃度は次のように削減されることが示された。

標準バーナ : 軽油 14 %、ガスオイル 11 %
 低NO_xバーナ(1) : 軽油 13 %、ガスオイル 10 %
 低NO_xバーナ(2) : - 、ガスオイル 10 %
 低NO_xバーナ(3) : 軽油 10 %、ガスオイル 5 %

標準バーナでの酸素濃度 5% による燃焼から低NO_xバーナで酸素濃度3%の燃焼に変更することにより、NO_x濃度は次のようにそれぞれ削減される。

低NO_xバーナ(1) : 軽油 38 %、ガスオイル 12 %
 低NO_xバーナ(2) : - 、ガスオイル 21 %
 低NO_xバーナ(3) : 軽油 39 %、ガスオイル 27 %

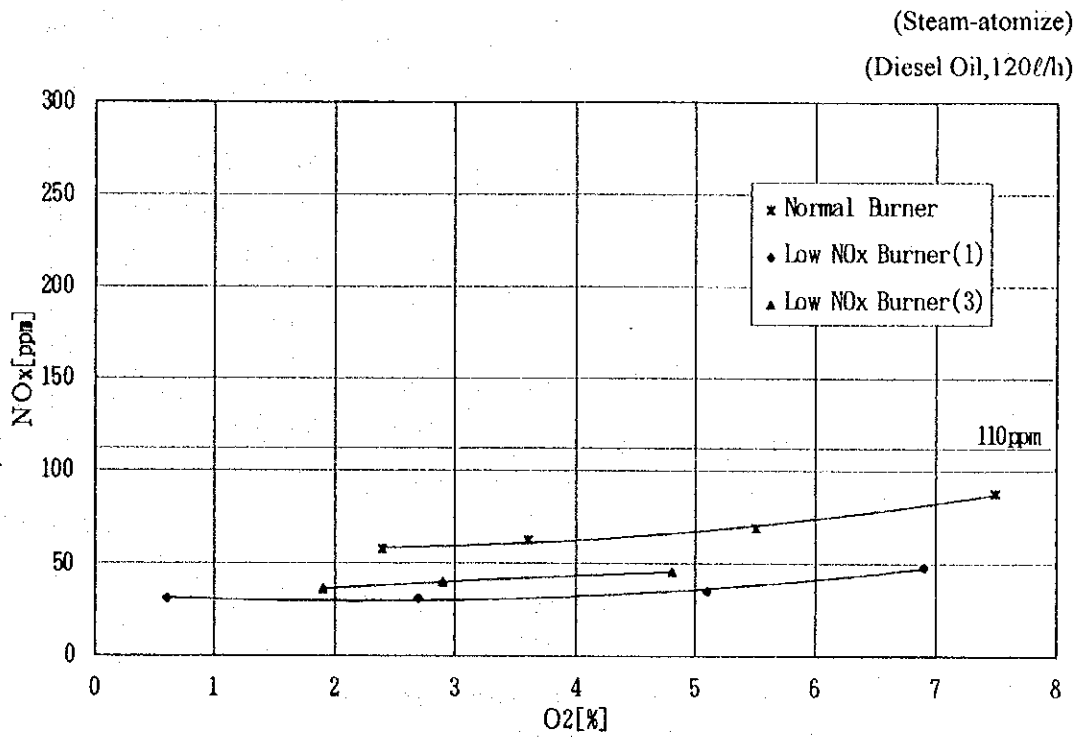


図 4.5.7 軽油燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(蒸気霧化 燃料負荷120 ℓ/h)

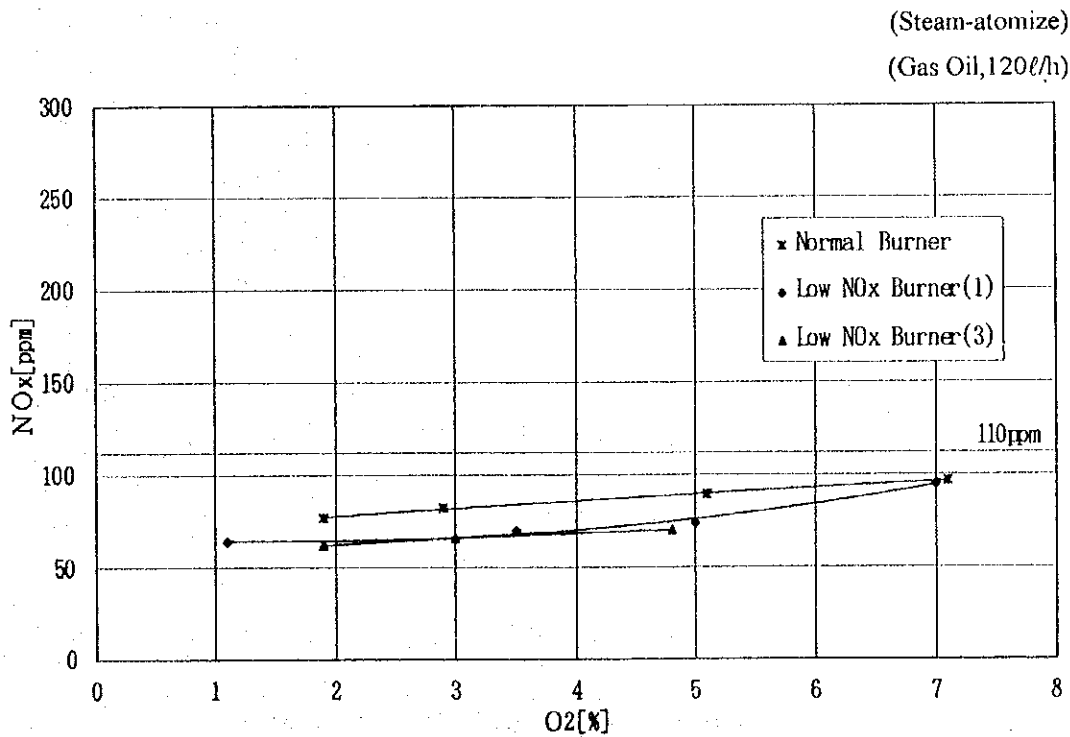


図 4.5.8 ガソイル燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(蒸気霧化 燃料負荷120 ℓ/h)

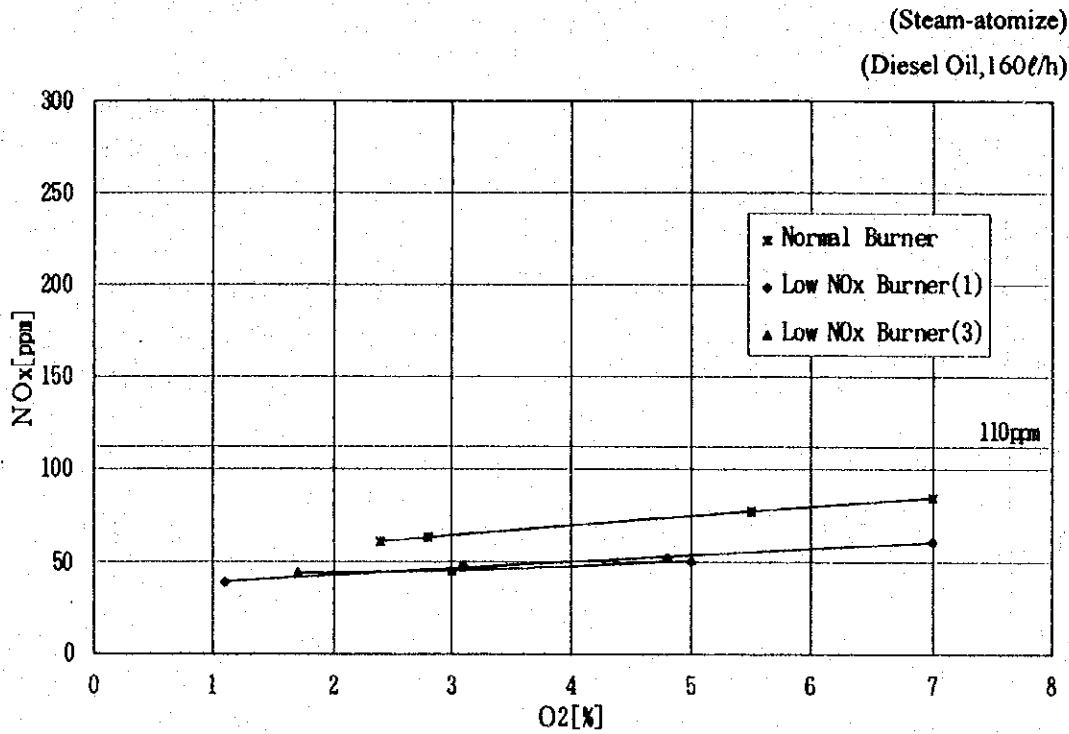


図 4.5.9 軽油燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(蒸気霧化 燃料負荷160ℓ/h)

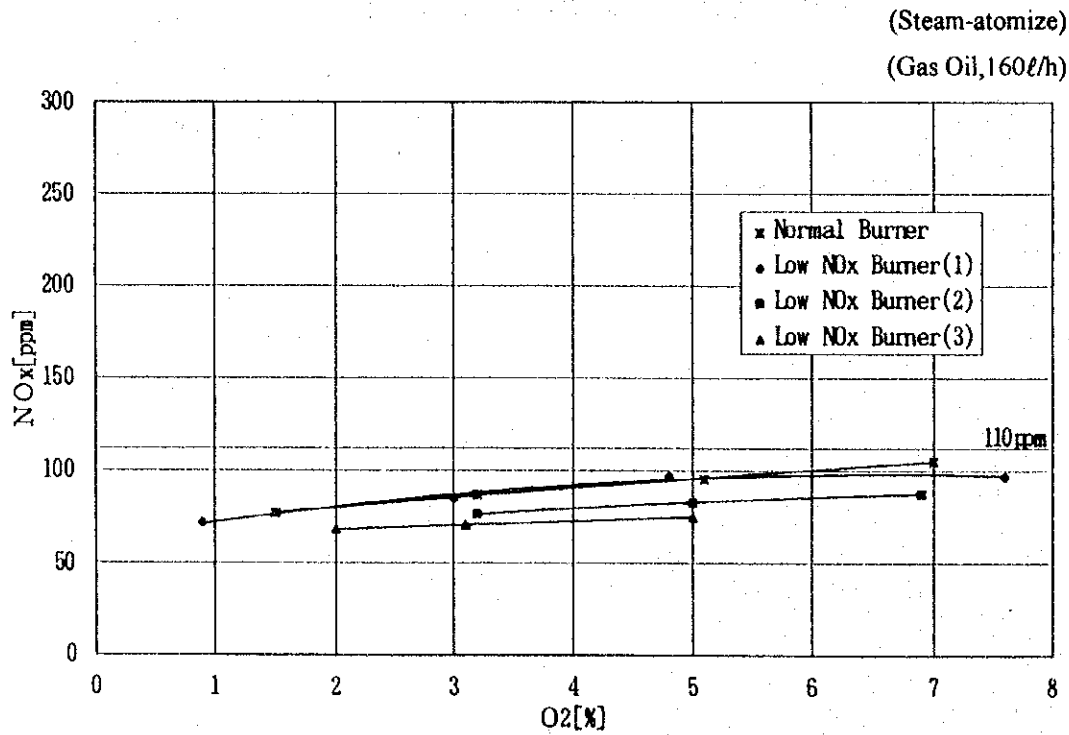


図 4.5.10 ガスオイル燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(蒸気霧化 燃料負荷160ℓ/h)

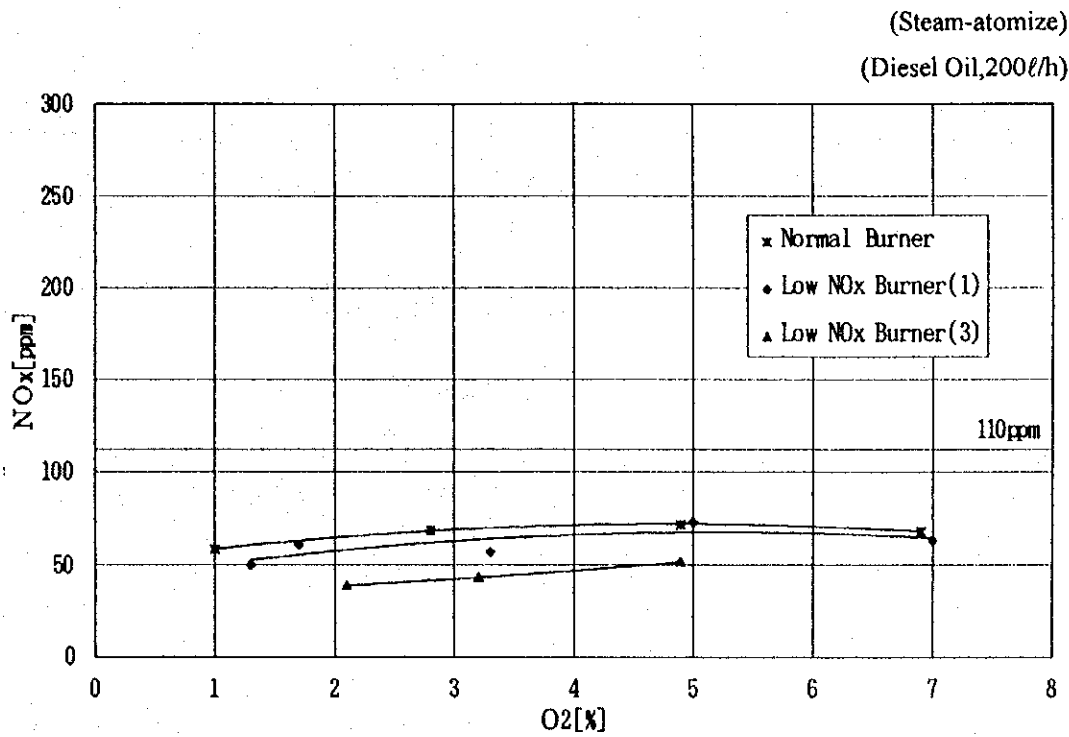


図 4.5.11 軽油燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(蒸気霧化 燃料負荷200 ℓ/h)

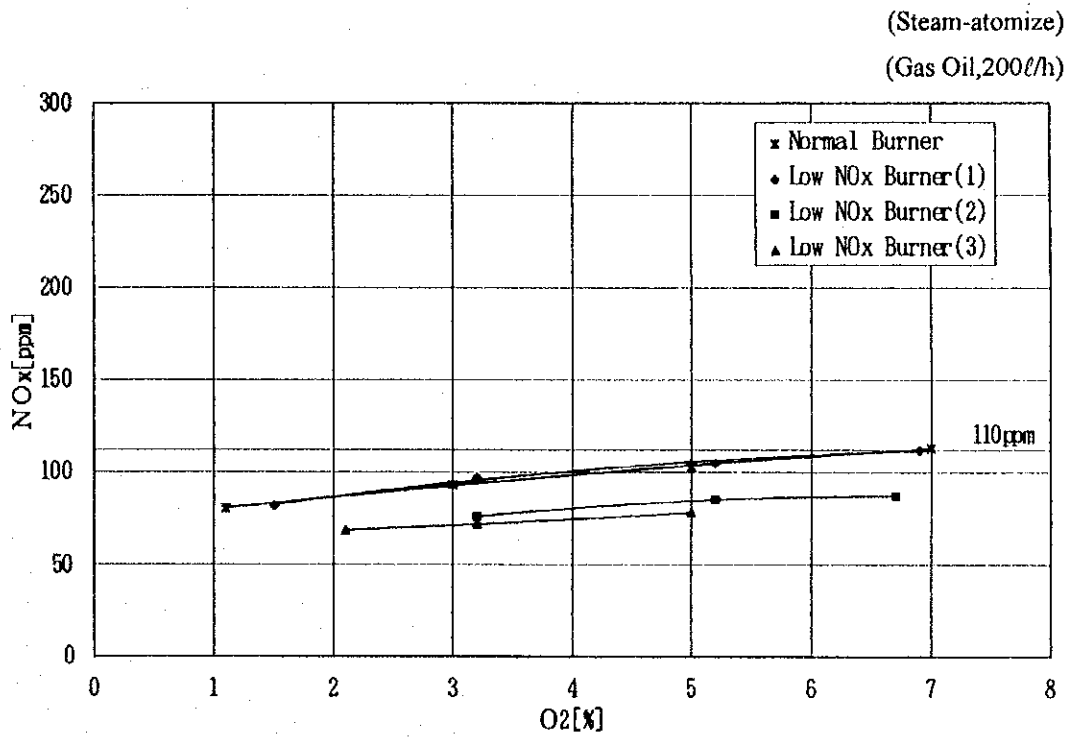


図 4.5.12 ガスオイル燃焼におけるO₂濃度とNO_x濃度の関係
(蒸気霧化 燃料負荷200 ℓ/h)

(4) 排ガス再循環の効果

排ガス再循環量とNO_x削減率の関係を求め、図 4.5.13、図 4.5.14 に示した。さらに、燃料負荷160 l/hにおけるNO_x削減率を求め、表 4.5.3に示した。

表 4.5.3 EGR量とNO_x削減率の関係

燃料 \ EGR比 (%)	NO _x 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

軽油の場合 EGR比28%で、42%のNO_x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NO_xの削減には効果が少ないことが改めて示された。

(5) 蒸気噴射の効果

今回の試験では、蒸気噴射法の液体燃料に対する低NO_x手法としての効果は確認されなかった。

Normal Burner (Steam-atomize)

(120ℓ/h)

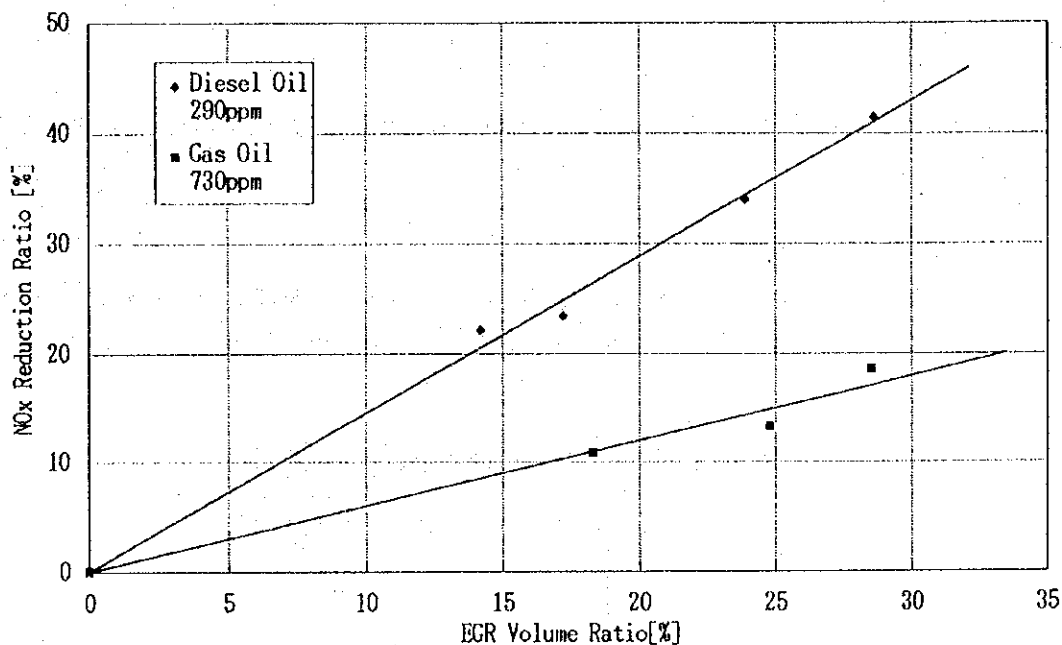


図 4.5.13 燃料窒素分に応じたEGRのNO_x 低減効果
(通常バーナ、蒸気霧化 燃料負荷120 ℓ/h)

Normal Burner (Steam-atomize)

(160ℓ/h)

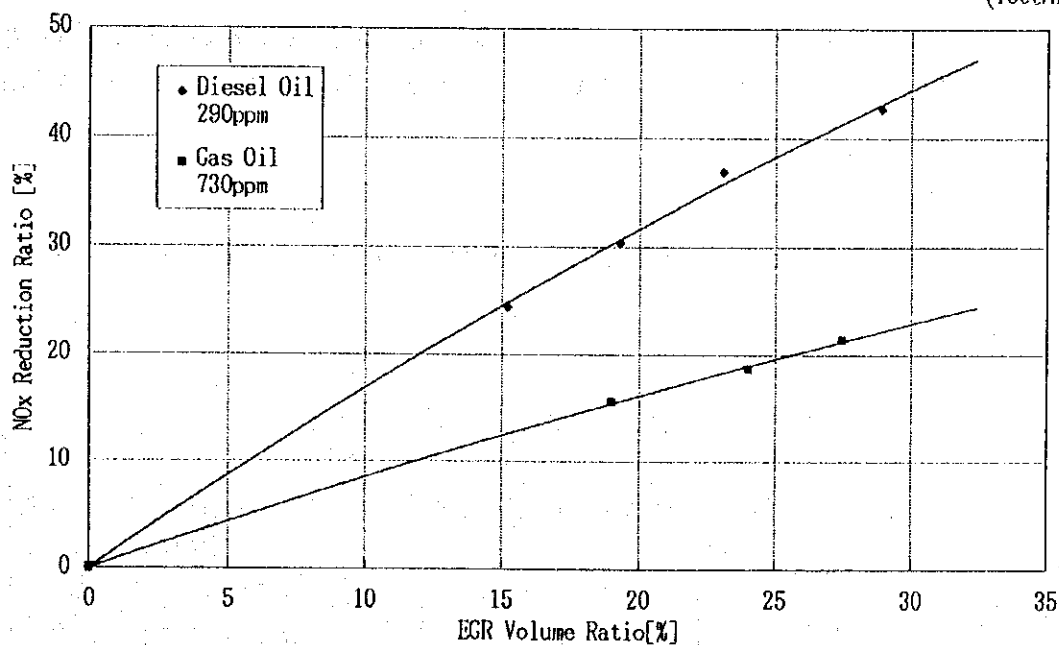


図 4.5.14 燃料窒素分に応じたEGRのNO_x 低減効果
(通常バーナ、蒸気霧化 燃料負荷160 ℓ/h)

(6) 最適噴霧条件

燃焼室の容積並びにその形状に応じた低NO_xのための最適な噴霧条件を見出すことが重要である。

1) バーナノズル角度

本試験用のボイラーの最適ノズル開度は 60° であるが、角度をそれぞれ10° ずつ増減させた時のNO_x濃度の増加を 60° を基準として求め、表 4.5.4に示した。

表 4.5.4 バーナノズル開度とNO_x増加率
単位：%

ノズル開度	O ₂ :3%	O ₂ :5%
50°	27	12
70°	20	23

(注) 1) 160 l/hでのガスオイル燃焼
2) ノズル角度60° に対するNO_xの増加率

ノズル開度 50° のとき、NO_x濃度は酸素濃度 3%で 27 %、5%では 12 %増加し、同様に、70° のとき酸素濃度 3%で 20 %、5%で 23 %増加した。

2) バーナ位置

最適ノズル位置に対し、バーナノズルを100 mm手前に引いた時のNO_x濃度の変化率を求めた。標準位置のNO_x濃度に対し、軽油、ガスオイルの場合とも 22 %増加した。

3) 霧化媒体

蒸気霧化によるNO_x濃度を基準とし、空気霧化の時のNO_x濃度の増加率を求め、表 4.5.5 に示した。

表 4.5.5 蒸気霧化と空気霧化の比較

	蒸気霧化時のNO _x 濃度 (ppm)		空気霧化時のNO _x 濃度 (ppm)		空気霧化によるNO _x 濃度 増加率 (%)	
	3%	5%	3%	5%	3%	5%
酸素濃度						
軽油	63	74	95	95	51	28
ガスオイル	85	95	120	134	41	41

標準バーナ 160 l/h