

2. 中国における窒素酸化物排出対策技術導入のポイント

2.1 火力発電所に関する NOx 排出対策技術・運転管理技術の近年の状況

日本の電力業界における NOx 排出低減対策は、気力ボイラを対象に 1970 年代から新設既設を問わず段階的な規制強化が行われ、当初から種々の方法が検討され対策が講じられてきたが、1980 年代にはほぼ完了し、2002 年度電力業の NOx 排出量は全産業に占める割合で 26.5% となり、今世紀に入り電気事業連合会における年次環境行動計画の環境保全テーマから除外される状況になった。日本の発電電力量の約 50% は火力発電で賄われており、最近ではその多くを高効率のコンバインドサイクル発電を含む LNG 火力が占めるようになってきている。また発電量の火力燃料別構成比は表 1 に示すように LNG 比率が石油や石炭火力を上回る状況である。原子力をベースにした日本の電力市場構成は不変であるが、LNG、石炭、石油を燃料とする火力電源は、ベストミックス施策が取られ NOx 等の環境への配慮だけでなく、ピーク電力や需要変動への対応、運転コストの低減など重要な役割を果たしている。また、熱効率の向上も著しく 10 電力社平均 41% で最新鋭の 1500°C コンバインドサイクル発電では約 59% が達成されている。

表 2.1-1 火力燃料別構成比

	1990 年	1997 年	2007 年
石炭	9.6	14.5	21.2
石油	29.5	16.7	11.0
LNG	21.9	23.3	22.5

現在、NOx 排出の対象となる日本の火力発電所の排出原単位は、欧米主要国と比較して極めて低い数値である。表 2.1-2 は各国の火力発電電力あたりの NOx 排出量を示す。表 2.1-3 に主要な電力各社の NOx 排出原単位を示す。関西電力㈱では火力発電燃料の約 74% を LNG に転換するなどで、2009 年度の排出量で、ほぼ同じ発電量の 1974 年度と比較して約 14% に削減されている。同様に中部電力㈱は 1974 年比で 0.97g/kWh から 2009 年度 0.08 g/kWh の 92% 削減されている。日本の電力業の火力ボイラはいずれも大容量で地域環境への影響が大きいいため国の公害規制値とは別に、更に厳しい公害協定を当該地域と締結している。

表 2.1-2 各国の火力発電電力あたりの NOx 排出量

	アメリカ	イギリス	ドイツ	フランス	イタリア	日本
NOx 原単位 (g/kWh)	1.2	1.4	0.8	3.2	0.6	0.2

出典：2008 年度電気事業連合会調査

表 2.1-3 日本の電力各社の NOx 排出原単位

	東京電力	関西電力	中部電力
NOx 原単位(g/kWh)	0.14	0.1	0.08

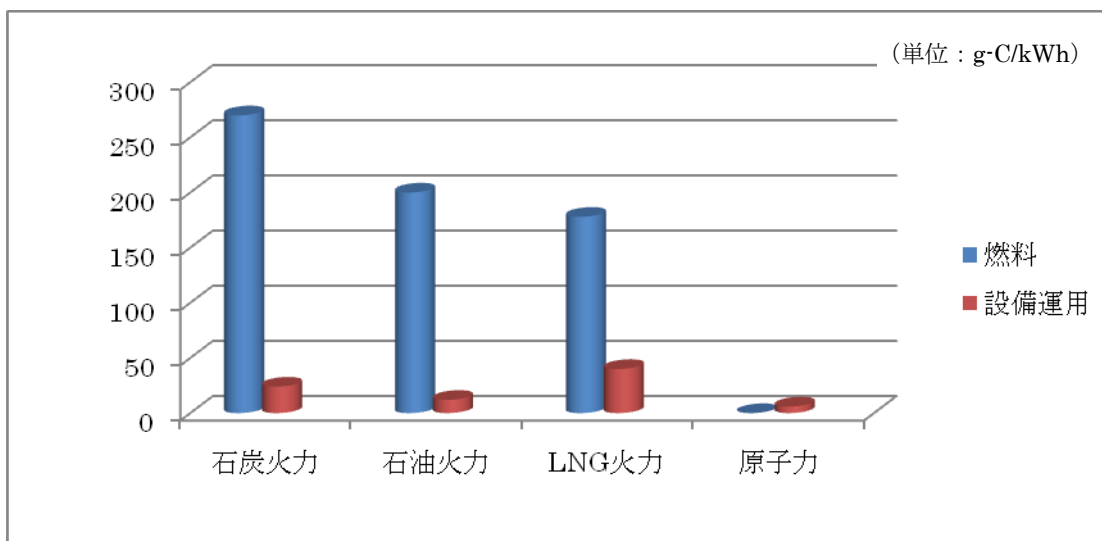
出典：2009 年度各社データ

日本のこれらの NOx 排出量削減効果は、燃焼方法の改善や低窒素燃料への転換、排煙脱硝装置の設置等の複合的な対策による成果である。日本の火力発電施設における燃料別の代表的な NOx 対策を表 2.1-4 に示す。電力業火力ボイラは規模・操業・運用面等の制約で燃料転換や燃焼方法による低減には限界があり、厳しい排出規制基準を達成するために、排煙脱硝を付設しており、全体の排ガス処理能力の 90%程度が乾式選択的接触還元法（SCR 法）で脱硝処理されている。

表 2.1-4 燃料別の代表的な NOx 対策

	油	LNG	石炭
燃焼	低 NOx バーナ(濃淡燃・火炎分割を併用) 二段燃焼 炉内脱硝 排ガス混合	低 NOx バーナ(濃淡燃・燃焼・火炎分割を併用) 二段燃焼 炉内脱硝 排ガス混合 火炉冷却面積の増加 「コンバインド」 予混合希薄燃焼+HRSG 内脱硝	低 NOx・低煤塵バーナ (濃淡燃焼・火炎分割を併用) 二段燃焼 排ガス混合
排煙脱硝	乾式：アンモニア接触還元法、無触媒還元法、活性炭法、電子線照射法 湿式：酸化還元法		

今世紀に入り更に温暖化対策として CO₂ 排出量の多い石炭火力から、LNG 火力への燃料転換の促進やバイオマス等の混焼等新エネルギー導入の開発も進められている。温暖化抑制問題、エネルギー資源、NOx 等環境対策はトリレンマの関係もあり、これらの施策は今後の電力等一次エネルギーの課題である。参考に日本の火力電源別 CO₂ 排出原単位を図 2.1-1 に示す。



出所：次世代エネルギー構想、電中研

図 2.1-1 日本の火力電源別 CO₂ 排出原単位

2.2 火力発電所に関する対策技術導入の際の注意点、考慮すべきポイント

2.2.1 対策技術導入の際の注意点

電力業におけるボイラは使用燃料別に油、ガス、石炭で、燃焼方式はバーナ燃焼が大半を占める。(日本国内では循環流動層や加圧流動層の事例も数ヶ所存在するが本報告では主にバーナ燃焼を対象とする)

脱硝技術は、NO_x 生成経路からフューエル NO_x (Fuel NO_x) とサーマル NO_x(Thermal-NO_x) があり、各々使用燃料、燃焼機構、負荷状況等の影響を受ける。新設の場合は NO_x 対策の必要条件をボイラ計画諸元に予め盛り込むことが容易である。既設ボイラの NO_x 低減対策は制約が多く、導入技術にあたり次のような一般基本項目の検討が必要である。

- 1) 改善に要する停止期間の制約
- 2) 改善スペースの制約—燃料ハンドリング施設の設置可否、燃焼機設置スペース、伝熱面の改造、切換方法、ダクト敷設空間等
- 3) バーナや補機設備の切換、改善の可否
- 4) ガス量の変化とボイラ性能の検討 (ガス組成・燃焼ガス温度・火炎形状等含む)
- 5) ガス処理系統における排煙脱硝の最適設置場所及び通風圧損対策
- 6) 石炭や廃棄物等の固形燃焼ではダスト対策や有害ガス成分 (ハロゲン化合物、SO_x、HCl) 等のエロージョン、コロージョンの検討

具体的な低減対策としては、燃料転換、燃焼改善、排煙脱硝設備の設置があるが各々導入に際し次項の注意が必要である。

・燃料転換

低窒素燃料への転換に対する注意点

－発熱量の変化とボイラ特性の検討

同種の燃料においても転換による発熱量や性状（例：C/H、揮発分/固定炭素、灰分含有量、灰の融点等）、形状等（サイズ、破碎性、摩耗性）が変化するため、ボイラ機能の基本的要素である燃焼室熱負荷 ($\text{kJ}/\text{m}^3\text{h}$)、火床熱負荷($\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}$)、燃焼温度、空気量/燃焼ガス量、制御性等々に影響する。新設既設を問わず導入するボイラの計画条件を基に燃料の適否を決定しなければならない。

－集塵性能への影響

燃焼性の変化により集塵量の増減、ガス温度の変化が生じるため、集塵機の性能に影響する可能性がある。

－燃焼室構造の改善

熱負荷の増減による伝熱面对策、火炎形状対策、燃焼機設置に伴う改造の検討

・燃焼改善

－バーナ燃焼の場合

基本的には燃焼方式である低酸素燃焼、高温還元炎、強旋回流等の改善による NO_x 生成抑制を図る。改善上必要とするウィンドボックスやダクトの改善、燃焼室に吹き込む二次三次空気ノズル等の設置の検討、燃焼室容積、火炎形状の適否、排ガス再循環に伴うエロージョン発生の有無等が検討項目である

－流動層燃焼の場合

空気比、炉床負荷、層温度、流動層高さ等の燃焼制御条件と共にフリーボード高さ、燃料供給法、層内伝熱管配列などが改善の対象となる。流動層の場合燃焼温度が比較的到低く、燃料中の窒素分が支配するのが一般的である。ただ層内で燃焼反応が完結しないため、フリーボードで未燃ガス (CO 、 H_2) や飛散チャーが燃焼を継続する。フリーボード部で NO が CO 、 NH_3 、 H_2 などの還元性ガスや未燃粒子が還元分解するが、このような NO_x 生成を抑制するための、二段燃焼、排ガス再循環、アンモニア注入等のために炉構造の改造について検討が必要である。

・排煙脱硝設備

- 脱硝率の把握：NO_x 入口濃度/出口濃度、性能の信頼性（寿命、脱硝率）
- 負荷変動：追従性、部分負荷特性、ガス温度
- 二次公害：リークアンモニア等
- ガス流動圧損：経年変化等
- 維持管理費：設備費、運転費（薬剤、触媒、保守費、動力費）等を事前に試算する。
- 脱硝触媒：最適温度範囲、脱硝性能、耐アルカリ性、活性寿命、空間速度（SV）ダスト付着、ダスト組成、耐熱性、耐摩耗性などの検討

表 2.2-1 脱硝触媒の選定上の考慮点

燃料		考慮点
ガス		高活性で耐熱性があるか
重油		高活性、耐熱性、耐 SO _x 性、耐煤塵被毒性
石炭	低ダスト脱硝	低 SO ₂ 転換率、煤塵の付着性など
石炭	高ダスト脱硝	上記に耐摩耗性を加えたもの

出所：煤煙低減対策マニュアル、技術者用、JSIM

- 設置場所：ガス温度、ダスト濃度等に考慮して設置場所を決定する。既設の場合、設置場所が適切でない場合が多いが、ガス偏流やダストの堆積が発生しないよう計画すること。

2.2.2 施設立入検査時の考慮事項

(1) 基本的事項

火力発電所における NO_x 対策を目的とする施設立入り検査時の考慮すべき基本的事項を検査側及び発電所側について表 2.2-2に示す。

表 2.2-2 発電所施設立入り検査時の考慮すべき基本的事項

項目	検査側（確認事項）	発電所側（具備条件）
ボイラの計画諸元等基本的情報	計画諸元（出力、排ガス量） NOx 排出濃度基準値 運転記録 燃料使用量 燃料性状 熱効率	計画仕様書・図面（ボイラ・脱硝） 運転記録 保守記録 薬品調達記録（使用量） 燃料調達量（貯蔵量、使用量） 組成分析表（発熱量、N、灰分等）
運転状況	運転時間（脱硝装置含む） 負荷状況	運転時間（脱硝装置含む） 負荷状況
NOx	NOx、排出濃度記録 Max 値、平均値、総量値	NOx 測定記録 Max 値、平均値、総量値
モニタリング	測定方法（測定者、日時、機器）	測定器の調整記録（スパン、較正） 機器仕様（性能）

(2) 立入検査時における具体的な考慮事項

ボイラ及び NOx 排出低減対策に対する情報

検査する対象ボイラに関する情報について、検査側、受検側が確実な情報を共有確認すること。

1) ボイラに関する情報

- ・ 定格出力、計画燃料（種類、混焼比、消費量、性状）、熱効率
- ・ NOx 排出規制値（Max 値、平均値、総量値）
- ・ 実際運用に関する情報（負荷率、負荷変動、NOx 濃度、燃料、運転時間）
- ・ ボイラ及び脱硝に関わる機器の構造、性能等が解る仕様書・設計書・構造図面・取扱説明書等の常備

2) 運転データに関する事項、劣化現象等の確認検査

- 運転時間（年、月、日）、発停頻度、燃料消費量、熱効率
- 消費燃料の分析値（発熱量、水分、灰分、N 分）、種類（炭種）粒径分布等
- 脱硝に要した薬品消費記録
- 脱硝装置の稼働時間（停止時間）

煤塵濃度測定記録

白煙の発生やリークアンモニアによる悪臭被害の有無

触媒の劣化現象や目詰まり、ダストの堆積現象

酸性硫安等による触媒部機器の腐食

3) NO_x 排出に関する事項

NO_x 濃度記録、O₂ 濃度（空気比）、SO_x 排出濃度記録

脱硝装置の保守点検記録

4) モニタリングに関する事項

燃料：燃料の組成分析者、分析方法、分析頻度、試料採取方法

ボイラ出力等：計器機器の型式（アナログ、電子）、間欠/連続、信頼性

NO_x 測定：計器の型式、O₂測定方法、ガス量測定方法、ガス温度測定方法

測定間隔、測定者

測定値の信頼性：機器較正方法と時期、較正調整者

5) 検査時の留意点

検査はボイラ計画諸元及び運転記録から現状の NO_x 排出状況を把握することと、低減対策を講じることを目的とするものがある。その主旨からオフサイトにおける火力発電所及び NO_x 対策に関する技術情報管理状況の検査と、オンサイトにおける実際の運用稼働状況を確認する検査と並行して実施することが肝要である。オンサイトでは、定常負荷による運転状況が検査ができるよう受検側は準備すべきである。また測定は連続する動的特性を検査するため同一時間の記録でなければならない。

2.3 工業用ボイラに関する NOx 排出対策技術・運転管理技術の近年の状況

工業用ボイラにおける日本の NOx 対策は、1970～1980 年代にかけての段階的な排出規制強化の効果と日本の燃料資源の海外市場依存形態の影響により、石炭燃料から油燃料に、更にガス燃料への転換が図られ、この燃料転換による NOx 排出量削減が大きい。NOx 削減技術からの側面で見れば、東京都等特定地域における厳しい規制や罰則を伴う総量規制措置は、ボイラメーカーの市場開発上、基準達成できる脱硝技術の開発を誘導促進してきたと言える。2008 年度の省エネルギー法改正も製造業等で使用されるボイラに対し熱効率の改善、触媒バーナ、高燃焼負荷バーナ、空気比の改善等の技術指針を告示しており NOx 低減効果が期待されている。

中国における NOx 低減対策では日本の行政面の施行実績、メーカーにおける技術開発投資、事業者の遵法行動は大いに参考となる。日本の工業用ボイラは電力業と異なり、小規模で運用も燃焼型式も多様であるため、低窒素燃料への転換と、燃焼方法の改善による対策が大半を占める。近年エネルギー多消費型産業から省エネ型産業への形態変化や業務用ボイラの普及が進み、労働安全衛生法登録ボイラ設置数は 1978 年度をピークに大きく減少しており、今世紀に入り更に加速し 2000～2009 年間に 32%減少している。伝熱面積 40m²未満のボイラが 70%を占める状況になった。ボイラ形式も水管式は 11%、炉筒煙管・小型貫流・鋳鉄組合型が 59%となり、脱硝方法も排ガスの脱硝より、燃料転換や燃焼方式で NOx 削減を図っていることが特徴である。中国では、石炭燃料の火床直接燃焼が多く普及していることや、既設缶では燃焼室構造を容易に改善出来ない水管ボイラが多い。このため、日本の経験則が即適応できないが、将来の燃料需給予測や環境行政の周知度、投資効果等を勘案して多角的な対策が適用されるべきである。

表 2.3-1 産業用ボイラの燃料別設置数(2009 年度)

燃料	設置数	構成比 (%)
油	29,938	73.7
石炭	173	0.4
ガス	6,460	15.9
その他	4,040	9.9

出所：日本ボイラ協会 小型ボイラは除く

表 2.3-2 産業用ボイラの規模(2009 年度)

伝熱面積 (mf)	< 39	40～99	100～199	200～499	500<
設置数	28,374	7,118	2,703	1,658	761
%	70	18	7	3	2

出所：日本ボイラ協会

2.4 工業用ボイラに関する対策技術導入の際の注意点、考慮すべきポイント

2.4.1 はじめに

工業用ボイラにおける脱硝技術の導入には、普及や改善効果を図るためには当該国のボイラ市場の特徴に留意しなければならない。日本国内の工業用、業務用ボイラ市場は、前述のように小型缶量産体制に進化しており、かつ、ガス燃料等低 NO_x 燃料への転換が図られており、脱硝対策はほとんどが燃焼改善の措置で規制値をクリアしている。わずかに都市ごみや産業廃棄物のような固形廃棄物の焼却炉に排煙脱硝が装備されている。中国における NO_x 排出低減技術の導入では、油・ガス・石炭・廃棄物等燃料毎に次の点に配慮する必要がある。

・燃料・燃焼改善（油燃料）

1) 低窒素燃料への転換可能性検討

低減策の目安として油中の N 分が 0.01% 減じるとに概略 4~5ppm(O₂=4%vol 換算)減少する。軽質油程低減効果がある。(重油>灯油)

2) 火炎形状の変化や火炎最高温度の低下によるボイラ特性への影響

3) 水蒸気吹き込みやエマルジョン添加の可能性検討

エマルジョン化については窒素化合物を多く含む重質油では効果が少ないという説もあり、事前に試焚を行うことが望ましい。

4) 低空気比燃焼

適切な低空気比の評価は、不完全燃焼による CO、煤塵の発生がない状態である。低負荷の管理基準を設定する必要がある。

5) 空気予熱温度の低下とボイラ出力への影響

6) 低 NO_x バーナを導入するケース

噴霧特性の検討

低空気比燃焼：ばいじん増加の検討

燃焼室熱負荷の低減：出力の低下

排ガス再循環とボイラ出力、押込通風機容量の変更等

ターンダウン比

・燃焼改善（ガス燃料）

- 1) ガス種類：天然ガス、石炭ガス、オフガス等の成分組成
- 2) 火炎形状： 薄膜火炎、炉内ガス再循環法、二段燃焼法、希薄燃焼法、分散火炎法等
- 3) ターンダウン比
- 4) 構造面の制約：管群燃焼、セラミックバーナ等
- 5) 保安対策：ガス取扱に関する規則、技術基準

石炭燃料から油、ガス燃料への転換にあたっては、ボイラ日誌等に基づいて省エネ診断を実施し、高効率ボイラシステムを導入することで省エネ化、汚染物質排出削減につなげる手法がある。具体的な手法については、本ガイドライン 4.3「中国における工業用蒸気ボイラの効率向上と NOx 削減事例」に記載した。

・ 燃料・燃焼改善（石炭）

石炭燃料等固形燃料は燃焼方式により燃焼改善方法は大きく異なる。燃焼方式は大別して火格子燃焼(Stoker)、流動床燃焼、バーナ燃焼（微粉炭燃焼）があるが NOx 排出低減技術の導入には次の点の検討が必要である。

- 1) 石炭に含有する N 分、燃料比

2) 火格子燃焼（Stoker）：火格子燃焼方式には給炭方式により、スプレッダー形と上込め形に分けられ更に移床方向に順送りと逆送り方式がある。各々適用できる炭質や粒径があり、NOx 生成に大きな影響がある。負荷率、空気比、空気配分、火層厚、局部燃焼、火炎、浮遊燃焼率、空気温度等が炭質と関係してサーマル NOx の生成に影響する。これらはボイラメーカーの燃焼機構の設計ノウハウに関わる特性であり、ボイラ型式毎に異なるため導入前に設計したメーカーの指導を受けるか、技術情報に関して十分な確認を必要とする。中国では粉炭が多く使用されているが、石炭サイズは吹き抜け現象の発生や火層厚、通気性に影響するため NOx 生成に関する重要因子である。

一般的には低空気比燃焼から改善すべきである。

- 3) 流動床（層）燃焼：バブリング流動（層）と循環流動層があるが流動層層内温度がサーマル NOx 生成温度より低く制御できるため他の燃焼方式より NOx 生成量は少ない。

流動層内の低温化を図る目的で層内管の装備も可能である。燃焼温度が低いのに高濃度の NOx が生じる場合は石炭起源の NOx と考えてよい。

- 4) バーナ燃焼（微粉炭燃焼・ガス燃焼・油燃焼）：

技術的には電力火力に準じるが、既設ボイラではボイラが小型のため制約がある。微粉炭燃

焼では、微粉ミルとの関係や二段燃焼、濃淡燃焼、分割燃焼毎に空気比、スラギング、未燃分、火炎形状、燃焼室構造に留意する。ガス燃焼・油燃焼では燃焼室熱負荷が高い場合が多く、燃焼温度の低下も検討すべきである。

・ 排煙脱硝設備

基本的に電力用ボイラと同様である。しかし蒸発量 20 t/h 以下のような規模が小さいボイラでは燃料転換や炉内脱硝法が好ましい。

2.4.2 工業用ボイラの NOx 排出削減に係わる背景

工業用ボイラは、発電事業用ボイラや民生用（ビル暖房等）ボイラに利用されている缶と異なり、多様な稼働条件のもとで使用されている。特に運用方法が業種により異なるため、個々のボイラ特性（ボイラ形式・石炭燃料等）に適合するような、燃焼管理や排煙処理面での対策が求められる。

近年の中国都市部における既設の工業用石炭ボイラは、石油・ガス系燃料の高性能小型ボイラが導入されている例もある。一方で全国的には石炭燃料が多く、かつ NOx 排出規制前の時代に設置された移動床火格子燃焼方式が占めており、NOx 排出量の少ない流動層燃焼は普及していない。表 2.4-1 に工業用ボイラの一般的な特徴を示す。これらの特徴は今後既設缶の NOx 排出削減対策を図る場合、缶体改造や燃焼機等の機器設計の際に考慮すべき点である。

表 2.4-1 中国の工業用石炭ボイラの一般的特徴

項目	特 徴
規模	小規模（蒸発出力 <30 t/h が大半を占める）
使用燃料	石炭 : 青炭、粒径・粉炭比が多い 石油・ガス系 : 軽質油、LNG 等
ボイラ形式	石炭・石油・ガス系 : 自然循環水管式 ガス・石油系 : 強制循環水管式、炉筒煙管式
燃焼方式	石炭 : 順送鎖床火格子、スプレッダー燃焼、流動層燃焼 石油・ガス系 : バーナー燃焼
熱媒体	飽和蒸気（蒸気圧 <1MPa が多い）
排煙処理	除塵 : 水膜除塵、シングルサイクロン、マルチサイクロン 脱硫 : 湿式排煙脱硫

	脱硝 : 導入事業所は少ない
運転形態	DSS (毎日起動/停止) が多く、かつ熱需要が大きい工場は予備缶を擁して多缶運用されている。
制御	石炭 : 手動給炭制御方式が大半である 石油・ガス系 : ACC 方式 (比例制御・位置制御等) の普及がみられる

上表に示す一般的な特徴の他に、既設缶の NOx 排出削減技術の導入に関する情報として、生産活動に配慮するために改造期間の送気停止の可否や、次項のケーススタディ事例で述べるエンジニアリング的検討のための負荷特性、燃料品位及びその変動幅、燃焼室構造、燃焼機形式、通風方式、熱効率、煙道風道の改造スペースの有無、排ガス性状等が挙げられる。更に管理面でも、標準運転法の徹底、石炭や液体燃料の N 分・S 分・灰分・水分等の購入条件の確立、燃料の劣化防止のための保管管理、排ガスの大気汚染物質の定期的な測定管理が求められる。

2.4.3 小型石炭焚きボイラにおけるケーススタディ事例

1) ケーススタディ対象

NOx 排出削減のケーススタディ事例として、中国で工業ボイラとして最も多く利用されている表 2.4-2 に示す代表的な小型石炭焚きボイラ 2 缶を対象として NOx 排出削減に要する改善策の検討、課題の抽出を目的としたケーススタディを実施した。このケーススタディ事例は、同様の条件にある産業用や熱供給所用に設置されている小型石炭焚きボイラの NOx 排出低減対策における改善手法や課題の抽出の点で共通点が多く参考となるものである。

表 2.4-2 NOx 排出削減対策のためのケーススタディボイラの要目仕様

ボイラ設置工場業種	A 社 (乳製品製造業)	B 社 (食品油製造業)
ボイラ形式	自然循環 水管式	自然循環 水管式
使用石炭燃料	瀝青炭 : 粉炭/塊炭 粒径 : 3-5 mm Max 5 mm 組成 ¹ : ①炭 水分 5.72%、Ash 10.82%、V/M 27.36%、F/C 55.48%、N *%、HHV 5,293 kcal/kg ②炭 水分 1.96%、Ash 30.11%、N 0.22%	瀝青炭 : 粉炭+塊炭 粒径 : 平均 20mm 組成 ² : 水分 15.35%、Ash 17.29-19.61%、V/M 33.38-30.41%、F/C 54.68-55.29%、N *%、HHV 5,178-5,049kcal/kg

燃焼方式	順送鎖床火格子	順送鎖床火格子
通風方式	平衡通風方式	平衡通風方式
最高使用圧力(MPa)	10	1.6
常用圧力(MPa)	8.5	1.35
蒸発量(定格 t/h)	15	25
蒸発量(常用 t/h)	Max. 9 Min. 4	22
蒸気温度 (°C)	飽和	飽和
給水温度 (°C)	Max. 38 Nor. 30 Min. 25	105
計画熱効率 (%)	—	78
運転時間 (hr/yr)	24hr × 300day=7,200	24hr 連続
NOx 排出濃度 (mg/Nm ³)	224 (O ₂ =12.9%vol.)	150 (O ₂ =8.2%vol.)
その他	湿式排煙脱硫装置設置 定常負荷が定格出力の30%程度	湿式排煙脱硫装置設置 定常負荷が定格出力の85%程度

備考：(1 (2) : 分析値には不整合箇所がみられる。V/M : 揮発分 F/C : 固定炭素 HHV : 高位発熱量

*測定値なし

2) 検討分野

ケーススタディにおける NOx 排出抑制に対する着目点として、燃焼・排ガス処理・エンジニアリング分野の視点から検討した。

① 燃焼分野

- ・ Fuel NOx の影響
- ・ 燃焼機構改善による低減効果
- ・ 低 O₂ 燃焼等による削減効果
- ・ 熱効率の向上による削減効果

② 排煙脱硝装置の設置

- ・ 設置の可否等

③ エンジニアリング分野

- ・改造に要する計画・設計・製作・工事・検収等の課題
- ・補機の性能等に関する情報

④ その他の方策

- ・燃焼方式の改造等・・微粉炭燃焼、流動層燃焼、スプレッダー燃焼等

3) ケーススタディにおける検討結果

① Fuel NOx の削減

使用石炭に含有する N 分について、受入側での炭質管理は行われておらず、供給側から提供されるスポット的な分析値や予想値で運用されており、十分な成分管理が実施されていない。N<0.2%dbであれば生成 NOx 中に占める Fuel NOx 量は少ないと想定される。従って、当該缶に於いては低 N 分石炭への転換による効果は少ない。

② 燃焼改善

順送鎖床火格子燃焼は NOx 排出に対する制御が基本的に困難な燃焼方式である。図 2.4-1 にこの火格子による燃焼機構を示す。順送火層における燃焼は、長手方向の火層面の限られた範囲で行われ、この火層で乾燥・加熱・乾留・酸化・還元の一連の燃焼過程を完了する。火層厚が厚ければ生成する灰分による巻き込み現象や粘結による吹抜現象が発生し易く、局部的に高温燃焼域を形成することが避けられない。逆に低負荷時に成りやすい薄い火層では、燃焼ゾーンが短く短時間に燃焼が完結するため酸化ゾーンで部分的に急激な燃焼が行わる。いずれの現象も NOx 生成要因となる。また火格子の構造上、燃焼は石炭粒径の影響を受けやすく、均質な燃焼を阻害する吹抜燃焼や、リドリングの増加、過剰空気燃焼と成り易い。ケーススタディ対象缶のうち、A 社の定格出力の 30%程度の低負荷で運転されている状況の缶では、火格子燃焼過程における NOx 生成低減策は、空気配分の改善や燃焼火層の制御可能範囲が低負荷のため不可能で、対策は困難である。

B 社の定格出力の 85%以上の高負荷で運転されている缶では、100~150mm 厚焚の傾向が見られ、炭層上面の揮発成分燃焼が早く進行し易く、表層部に堆積する灰が下層の燃焼を阻害したり、灰の巻き込みが発生して未燃焼分が増加し均質な燃焼が損なわれ吹抜局所燃焼が発生し NOx の生成要因となる。NOx 生成抑制には、火格子面で燃焼の進行に従って必要なゾーンに NOx 抑制効果がある適正な空気量を供給できるように、火格子下の風箱の仕切り、風圧力の制御ができる構造に改善すること、及び石炭切出高さ・送り速度の調整が蒸気出力等と連関して自動的に制御できる方式を適用することが必要である。一般的傾向として、順送火格子燃焼は火面の制御が困難で、火格子全面が燃焼に使用できない形式である。また、二次空気による低減効果や火炎の還元雰囲気を構造的に改善出来ないため、NOx 生成抑制が困難な燃焼方式である。

Carbonization zone – Oxidization zone – Reduction zone – Ash zone

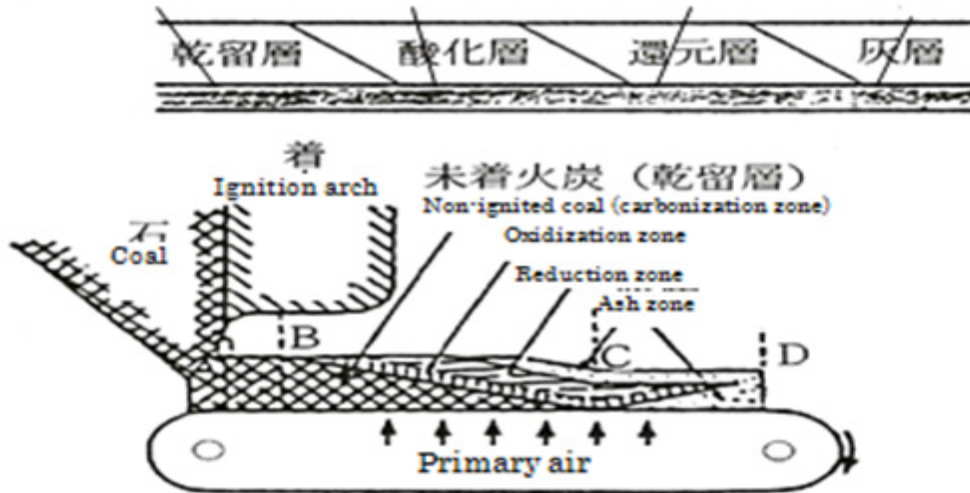


図 2.4-1 順送鎖床火格子の燃焼機構

(出所：TAKUMA カタログ)

③ 低 O₂ 燃焼

低 O₂ 雰囲気での燃焼を行う方式は、排ガス循環法と一次空気量を抑え理論空気量に近づけ O₂ 量を抑えて NO・NO₂ 生成を削減する方式がある。順送移動床燃焼では、燃焼機構面で一次空気量の削減は、燃焼ゾーンが広く、かつ、反応相の一定維持が困難であることから、空気比 < 1.4~1.5 程度が最低限界である。このため、当該缶では NO_x 生成量削減効果が期待できず、低 O₂ 燃焼での運転は困難である。

排ガス再循環法は、O₂ 濃度が 6~12% vol. と低い燃焼排ガスの一部を、新鮮空気と混合して燃焼用空気として挿入する方法である。この場合の検討課題は、火格子エレメントの耐火性や、露点生成、風道等ガス接触部の腐食対策に留意する必要がある。

NO_x 削減効果に関しては、負荷状況、炭質、ガス温度、循環ガス量に相関するため、試焚きにより実証を前提とするが、前述検討課題が問題なければ 10~15% の削減効果が期待出来る方式である。しかし、B 社の缶は現状既に 150mg/Nm³ で燃焼されておりこのようなケースでは、5~10% 以上の削減は燃焼不安が生じ期待できない。また、A 社の缶は低負荷で運転しており、空気配分の調整を行うことは難しい状況である。

4) その他の低減対策へのアプローチ

① 熱効率の向上

NO_x 排出総量の削減法としては、熱効率の向上による、燃料消費量の削減、排ガス量の削減がある。節炭器・空気予熱器を装備している場合は、負荷平準化や燃焼改善のみが改善対象で NO_x 低減効果は<2%である。空気予熱は火層でのクリンカー生成など炭質面の制約があり、高温回収には制約がある。

② 燃焼室熱負荷の低減

ケーススタディ・ボイラの燃焼室熱負荷は適切であるが、高負荷で運転されているボイラ、又は高熱負荷のボイラでは、炉内に蒸気吹込みを行い燃焼温度を下げ NO_x 生成を抑制できる。この場合、蒸発量の低下が起こらないよう低温部で熱回収伝熱面を追加する必要がある。

③ 排煙脱硝 (NH₃ 吹込など)

当該ボイラでは NH₃ の脱硝効果が得られる煙道排ガス温度 >300℃の温度域がなく、150℃の低温部への吹込みではロスが多く脱硝効果も少ない。また、十分な反応時間がとれるスペースも無い。

④ 微粉炭燃焼への転換 (低 NO_x バーナー化 (石炭燃料使用のケース))

燃焼室構造の面でバーナー設置に要する水管構造の大幅な改善を必要とする。{例：火炎形状上、十分な燃焼室に改造、輻射伝熱面の構造変更、燃焼ガス量とボイラ出力の関係などの検討} 最大の課題は小規模のため微粉炭化による動力費増やハンドリングの複雑化がありメリットはない。

5) エンジニアリング

当該缶に限らず、工業用ボイラの使用企業に共通する課題を下記の点が指摘できる。

- ① 設置ボイラに関する設計資料、仕様書、構造図、性能試験結果表等が常備されていない。
このため納入メーカーのみしか NO_x 対策に関わる技術的な検討が不可能である。購入時に最低限、維持管理、改善保守に要するこれらの図書は取得すべきである。
- ② 特に熱収支計算書、風量特性試験表、材料明細表、燃焼機能が不備な場合は、改善策の工学的計画が不可能である。

2.4.4 小型石炭焚き工業用ボイラに対する NO_x 低減対策への提案

NO_x 低減対策は、既設ボイラと新設ボイラでは対応が異なる。殊に既設ボイラの対策は一定の手順があり、実態の把握や改善停止期間、対策費用等の検討を含み取り組まなければならない。

「既設ボイラの改善」

1) 使用石炭の炭質管理の徹底

幅広い炭質に適応可能な流動層燃焼をのぞき、微粉炭燃焼、移動床燃焼、スプレッダー燃焼では、石炭中の N 分による Fuel NOx の影響を無視出来ない。炭質により燃焼条件も変化するため、計画基準炭質に適合する石炭が使用されるよう管理する。工業用石炭ボイラーの管理者は一般的に炭質管理が不十分である。購入炭毎に下記の項目の分析値を確認することを推奨する。

- ・発熱量 (kcal/kg kJ/kg) ・ ・ ・ 燃焼性、石炭価格、石炭消費量に影響
- ・ S (%db) N (%db) ・ ・ ・ ・ SOx/NOx 濃度に影響
- ・粒径分布 ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ 燃焼性-NOx 生成に影響
- ・揮発分 (%db) 水分 (%) 固定炭素 (%db) 灰分 (%)
 ・ ・ ・ ・ ・ 燃焼性、NOx 生成に影響

2) 現状の運転状況の確認

改善の目安を把握するため表 2.4-3 に示す運転状況を把握すること。特に負荷変動が激しいボイラや低負荷、又は過負荷で運転されるボイラは運転点における火床上の燃焼点の移動や局所燃焼、火層厚などの確認も必要である。

表 2.4-3 運転状況の確認項目

確認項目	単位	備考
NOx 排出濃度	mg/Nm ³	O ₂ 濃度測定値
定常時蒸発量負荷率	%	平均蒸発量/定格蒸発量×100
燃焼用空気温度	℃	予熱空気量率
石炭炭質	%・kcal/kg	N、S、発熱量、灰分 揮発分
排ガス温度	℃	
NH ₃ 吹込量	kg/h、%	脱硝実施の場合, NH ₃ 純度

3) NOx 排出削減対策

既設ボイラの運転状況確認を基にして以下のような改善策がある。

- ①低 N 炭への転換 ・ ・ ・ Fuel NOx の生成量の削減
- ②燃焼改善 ・ ・ ・ ・ ・ Thermal NOx の生成量抑制

・低 O₂ 燃焼

移動床燃焼・・・風箱の改善、火層の均一化、空気量制御（低空気比燃焼）

微粉炭燃焼・・・低空気比燃焼

流動床燃焼・・・低温燃焼、流動層内温度制御可能

・排ガス再循環・・・排ガスの一部を燃焼用空気として循環させる。（低 O₂ 燃焼）

・燃焼室熱負荷低減・・・燃焼室内に蒸気吹込みによる低温燃焼

・低 NO_x バーナーの採用・・・二段燃焼法、濃淡燃焼法など多数市販されている

③排煙脱硝

・アンモニア（NH₃）無触媒選択脱硝法

燃焼炉内や排ガス煙道中に還元剤として NH₃ を噴霧し脱硝する方法。

ガス温度が低い場合脱硝率は低下する。

「新設ボイラの場合」

1) 低 NO_x 排出型燃焼方式の導入

石炭燃料の場合、燃焼形式別の NO_x 生成抑制策が容易なボイラ形式の順位は、瀝青炭燃料においては以下の通りである。機種選定にあたり NO_x 排出規制時代に適合する機種を導入することが求められる。固定炭素分の多い石炭は燃焼の継続を一定以上の火炎長や輻射で行う火格子燃焼は不可である。一方で、流動床燃焼（沸騰型・循環型）は、流動媒体を用い低温燃焼されるため、Thermal-NO_x 生成は最も少なく、低温域で生成する N₂O が支配的であるため石炭中の N 分のみに留意すればよい。SO_x の炉内脱硫も容易で大気汚染抑制型のボイラと言える。

流動床燃焼（沸騰型・循環型）<微粉炭燃焼<スプレッダー燃焼<移動床火格子燃焼

2) 低空気比燃焼機の適用

燃焼形式に関わらず低空気比は NO_x 生成抑制の基本条件であるとともに、省エネルギーにも寄与する。

3) 燃焼室熱負荷

過度の燃焼室熱負荷ボイラを避ける。熱負荷が高い程 NO_x 生成量は増加するが、燃焼室容積は小さくなるため、価格は安くなる。導入時のメーカー比較選定に際し NO_x 排出削減の指標として留意すべきである。

熱効率が低いボイラは、一般に輻射熱吸収率を大きくするため、燃焼室熱負荷を高く設計する傾向があり、NO_x 生成の点では好ましくない。使用炭質、ボイラ価格、蒸気負荷変動等

を考慮のうえ導入すべきである。

4) 排煙脱硝

使用石炭の関係や燃焼面対策のみで規制値が達成不可能な場合、排煙脱硝する。工業用ボイラの運用面等を考慮して、乾式アンモニア無触媒選択脱硝（SNCR）や乾式同時脱硫脱硝の適用を提案する。排煙脱硝方式は、他に多くの方式があるが、工業用ボイラは小規模のものが多いため、取扱いが簡便なように触媒の再生や水処理を必要とせず、保守や維持費が安価な方式を選定すべきである。

参考資料

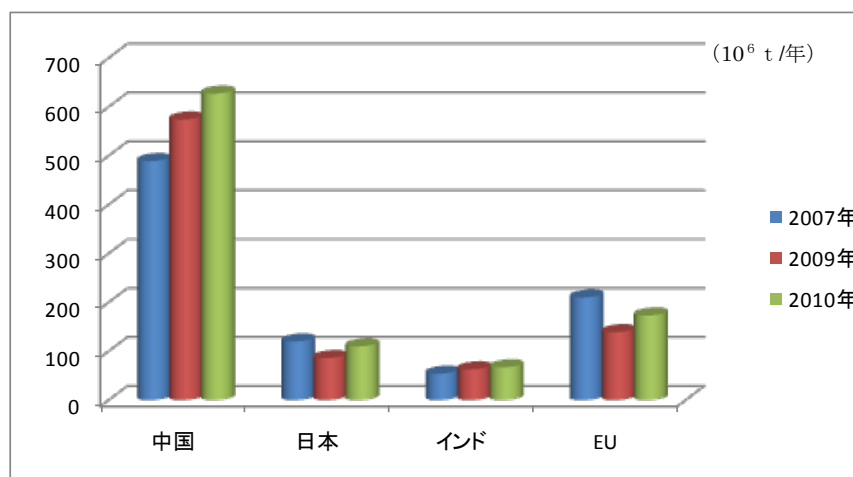
1. 脱硝装置、石炭火力発電特集、火力原子力発電、Vol 35 No10
2. NO_x 排出低減の対策、エネルギーの事典、日本エネルギー学会（2009）
3. 火力発電技術、エネルギー便覧、プロセス編、コロナ社（2005）
4. ボイラ年鑑、48号、JBA（2010）
5. ボイラにおける煤塵処理システムの指針、JSIM（1983）
6. 煤煙低減技術マニュアル（技術者用）、JSIM(1992)
7. 次世代エネルギー構想、電中研（1998）
8. 電気事業連合会調査資料（2008）
9. 電力各社の環境情報,環境行動レポート（2010）

2.5 鉄鋼生産に関する NO_x 排出対策技術・運転管理技術の近年の状況

2.5.1 鉄鋼業を取り巻く状況

鉄鋼生産は国力や産業力の基礎となる性格が持つため、主要国では国内に一定の生産規模を有する施策が取られる業種背景がある。日本の鉄鋼業を取り巻く市場環境は、国内需要の停滞と、中国、インド、韓国等の追い上げを受け老朽設備の停止や経営統合、集約化等の厳しい経営環境に置かれている。日本の鉄鋼業は 1953 年川崎製鉄所（千葉）で生産開始後、大型高炉、ホットストリップミル、純酸素転炉など最新鋭の設備が続々建設され、1973 年度粗鋼生産量 1.2 億 t に達し旧ソ連、アメリカに次ぐ世界第 3 位に、1982 年には第 2 位に達したが、その後現在まで 1 億 t/年前後で推移している。一方中国の粗鋼生産量の伸長は著しく、1996 年には世界第 1 位になり、2010 年度には世界生産量の 45% に達しており、インド、韓国とともに三国は持続的な成長を維持している。

図 2.5-1 に最近の日本・中国・インド・EU における粗鋼生産量の推移を示す。



出所：日本鉄鋼連盟

図 2.5-1 最近の粗鋼生産量の推移

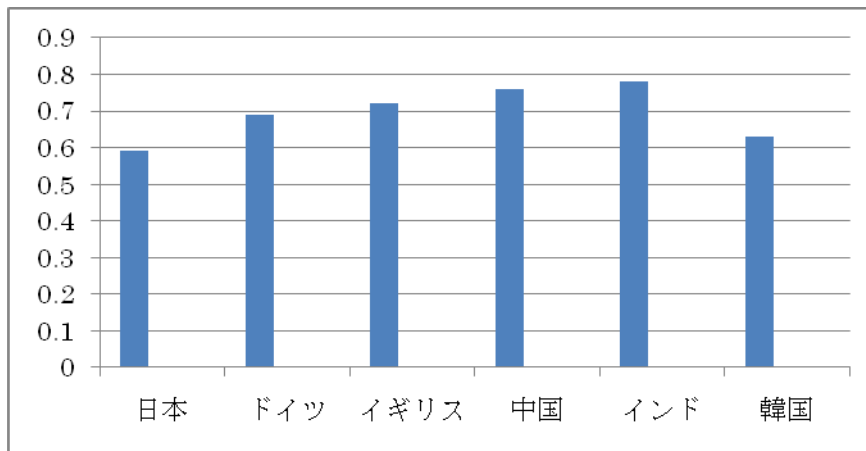
鉄鋼生産の代表的な一貫工程は高炉を核とする焼結炉、コークス炉、高炉、転炉、電気炉や造塊、分塊、圧延加工等で構成される。大気汚染に関わる SO_x、NO_x、煤塵は主にこれらの工程から排出される。日本の高炉 5 社の NO_x 対策は、使用燃料の削減、LNG・LPG 等のクリーン燃料の使用、低硫黄/低窒素石炭の使用等を図るとともに、燃焼管理の適正化、低 NO_x バーナの設置、排煙処理の設置等の対策がとられてきた。大気汚染環境に直接影響するエネルギー原単位でみると日本の鉄鋼業は世界最高水準にあり、日本を 100 とした指数では中国 129、韓国 107、インド 132 である。更にエネルギー消費の合理化に対し、地球温暖化抑制と燃料資源の有効な利用の確保のために 2008 年に省エネルギー法が改正され、鉄鋼業（高炉製鉄業、製鋼圧延業、鋼材製造

業等)はエネルギー使用量の多い特定業種に指定され、中長期的な視点に立ちエネルギー使用の合理化を図る措置が求められている。表 2.5-1に日本の高炉5社15ヶ所の高炉施設の稼働状況を示す。図 2.5-2は鉄鋼業のエネルギー原単位の国際比較を示す。表 2.5-2に製造業業種別エネルギー消費率を示す。

表 2.5-1 日本の高炉施設の稼働状況

企業	製鉄所	高炉番号	炉容積 (m ³)	最近の火入れ
新日本製鉄	君津	第2高炉	3,273	2009年10月
		第3高炉	4,822	2001年5月
		第4高炉	5,555	2003年5月
	大分	第1高炉	5,775	2009年8月
		第2高炉	5,775	2004年5月
	名古屋	第1高炉	5,443	2007年4月
		第3高炉	4,300	2000年4月
八幡	戸畑第4高炉	4,250	1998年2月	
室蘭	第2高炉	2,902	2001年11月	
日新製鋼	呉	第1高炉	2,650	
		第2高炉	2,080	2003年11月
住友金属	鹿島	第1高炉	5,370	2004年9月
		第3高炉		2007年5月
	和歌山	第5高炉		2012年休止予定
		新第1高炉	3,700	2009年7月
		新第2高炉	3,700	2012年予定
小倉	高炉		2002年	
神戸製鋼所	加古川	2号高炉	5,400	2007年5月
		3号高炉	4,500	2007年
	神戸	新第3高炉	2,112	2007年12月
JFE	千葉	第6高炉	5,153	1998年5月
	京浜	第2高炉	5,000	2004年3月
		第2高炉	4,100	2003年11月
	倉敷	第3高炉	5,055	2010年2月
		第4高炉	5,005	2002年1月
	福山	第2高炉	2,828	1998年9月
		第4高炉	5,000	2006年5月
第5高炉		5,500	2005年3月	

出所：日本鉄鋼連盟



出所：エネルギー効率の国際比較 RITE,2008

図 2.5-2 鉄鋼業のエネルギー原単位の国際比較 (単位：t-oil/t 粗鋼)

表 2.5-2 製造業業種別エネルギー消費率(2008 年度)

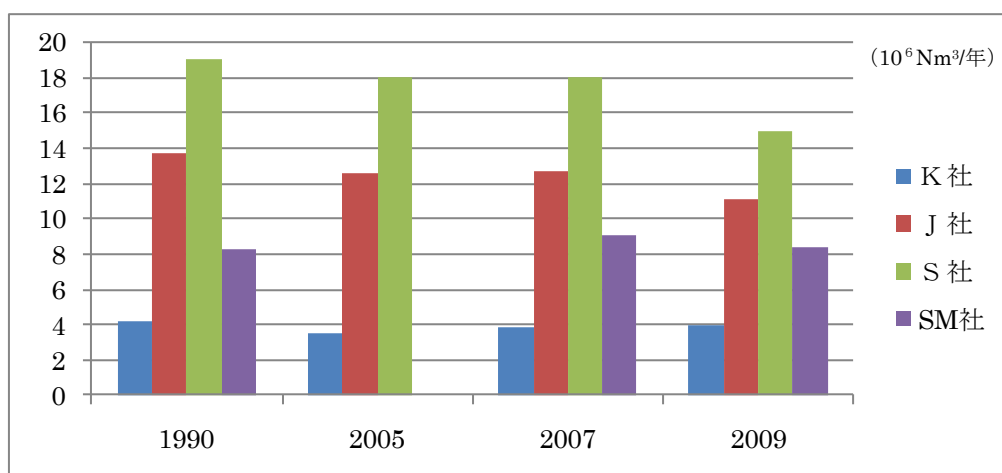
業 種	エネルギー消費率 (%)
鉄鋼業	27.2 (内素材系 74%)
化学製造業	35.5
紙・パルプ業	6
窯業・土石業	5.5
非素材系	25.8

出所：エネルギー白書 2010 年度

2.5.2 各社の NOx 排出状況

日本の鉄鋼各社は環境に配慮した生産活動を経営基本方針の一つとして位置付け、環境に関するパフォーマンスを環境報告書として情報公開している。各社の年度別 NOx 排出量は高炉停止や炉容量・基数が異なり、比較は適切でないが、各社の排出量の低減への取組がわかる。

図 2.5-3に各社の NOx 排出量の推移を示す。



出所：各社の環境報告書 2010 年版

図 2.5-3 鉄鋼各社の NOx 排出量の推移

2.5.3 各社の NOx 削減対策

鉄鋼各社は NOx を含む大気汚染物質である SOx、煤塵、化学物質（ベンゼン・VOC・Dxn 類等）の削減対策を講じて環境負荷低減に取り組んでいる。参考事例として K 社が環境対策や設備の維持管理に投資している費用は約 30 億円（2009 年度設備投資額）、維持管理費 310 億円である。このうち大気汚染防止に要する維持管理費は 37%を占める。各社が取り組んだ NOx 低減対策として次の方策が報告されている。

- ①省エネルギー対策：使用燃料の削減
- ②燃料転換：クリーン燃料の使用
- ③燃焼管理の適正化：低空気比燃焼、過剰炉温の制限、炉圧の安定化
- ④低 NOx バーナの設置、排ガス再循環
- ⑤排ガス脱硝装置の設置または改造：焼結施設等
- ⑥コークス乾式消火設備 CDQ（Coke Dry Quenching）による排ガス熱回収による省エネとガス処理
- ⑦常時モニタリング管理による操業管理改善：正常稼働の確認

基準値や協定値の監視

地域との環境協定の自主責任の遂行



出所：J社環境報告 HP

写真 2.5-1 省エネ形 CDQ の新設事例



出所：J社環境報告 HP

写真 2.5-2 焼成炉排ガス処理設備

2.6 鉄鋼生産に関する対策技術導入の際の注意点、考慮すべきポイント

2.6.1 技術導入の際の注意点・考慮すべき点

鉄鋼業は産業分野において最も規模の大きい装置産業で多エネルギー消費装置産業である。NO_x 排出設備は焼結炉、コークス炉、加熱炉、ボイラなどで、かつ、燃料の種類も高炉ガス、コークス炉ガス、重油、LPG、LNG、微粉炭など多岐に及ぶ。一般に鉄鋼業の排ガスは高濃度ダスト、被毒性を有する特性があるため、低窒素燃料への転換や燃焼改善による対策が主となる。

技術導入に際し、燃焼を伴う設備毎に、適応性、経済性、運用、技術信頼性、低減効果等について検討する。具体的には各要素設備について次の点が検討事項として挙げられる。

- ・ 投資効果の適正な評価：環境保全効果を社会的影響や地域環境負荷の低減に関わる広い分野で計量的な評価を行うこと。規模が大きく、長期連続稼働施設のため建設後の機能の信頼性や設備寿命は、地域環境への影響が大きくリスクも潜在する。環境会計的な評

価手法による投資評価が重要である。

- ・ 固定費/変動費の長中期的な観点からの機種等の選定：原価償却、予防保全費、リスク、消耗品、薬品費など損益分界点の的確な設定が必要である。
- ・ 焼結炉：コークス配合率、吸引風量、原料層厚が大きく影響するため、焼結鉱の品質、生産率を考慮した技術選定が求められる。
- ・ 圧延工程：低 NO_x バーナの設置では、火炎形状、通風方式、バーナ風箱スペース等が検討項目となる。
- ・ コークス炉：一般には燃料転換、低空気比燃焼、燃料の二段供給燃焼などが対象である。COG の脱硫脱硝の影響も重要な検討事項である。炉構造や温度、制御方法は炉メーカーの高度なノウハウである。自社内で管理技術を有しない場合、炉メーカー及び技術導入先の指導を受けるべきである。
- ・ 燃料転換：油・ガス燃料に比べ微粉炭燃焼では fuel-NO_x の生成が支配的のため、低 N 石炭の切換えが効果がある。炉構造により低酸素燃焼や、炉内脱硝等も検討対象となる。
- ・ 排煙脱硝設備：焼結炉の排煙脱硝は高濃度のダストと触媒の被毒が課題である。コークス炉はガス温度と触媒反応温度の検討が必要である。

2.6.2 施設立入り検査時の考慮事項

(1) 基本的事項

鉄鋼業における焼結炉、コークス炉、高炉、転炉等の製鋼一貫工程を構成する製鉄所に対する NO_x 対策を目的とした施設立入り検査時の考慮すべき基本的事項を検査側及び製鉄所側について表 2.6-1 に示す。他の業種の立入り検査と異なり、操業が継続している条件下の検査や各設備が NO_x 排出設備として独立した系を構成しているため検査対象設備を特定する必要がある。対象設備の構造やガス量が大きい場合、検査側と受検側の間で検査要領や手順、項目、期間、操業等に関して事前に入念な調整が欠かせない。

表 2.6-1 発電所施設立入り検査時の考慮すべき基本的事項

項目	検査側（確認事項）	製鉄所側（具備条件）
製鉄所の基本的情報	検査対象施設の特定 製鉄所の基本的要件の確認 ・原料→製品の物質収支 ・一貫工程の把握 主要設備仕様の確認 NOx 排出濃度基準値 運転記録 燃料使用量・燃料性状	計画仕様書・図面（特定設備及び脱硝対策） 運転記録 保守記録 薬品調達記録（使用量） 燃料調達量（貯蔵量、使用量） 組成分析表（発熱量、N、灰分等） 原料
運転状況 （特定施設）	運転時間（脱硝装置含む） 負荷状況	運転時間（脱硝装置含む） 負荷状況
NOx（特定施設）	NOx、排出濃度記録 Max 値、平均値、総量値	NOx 測定記録 Max 値、平均値、総量値
モニタリング （特定施設）	測定方法（測定者、日時、機器）	測定器の調整記録（スパン、校正） 機器仕様（性能）

(2) 立入検査時における具体的な考慮事項

1) 特定された検査対象設備及びNOx排出低減対策に対する情報

検査する対象設備に関する情報について、検査側、受検側が確実な情報を共有確認すること。

① コークス炉

1) コークス炉に関する情報

- ・ 定格石炭投入量、石炭種類及び性状、粉碎後のサイズ
- ・ NOx 排出規制値（Max 値、平均値、総量値）
- ・ 実際の運用に関する情報（負荷率、負荷変動、NOx 濃度、燃料、運転時間）
- ・ 炉構造、COD/CDQ 等ガス及び機器性能等が解る仕様書・設計書・構造図面・取扱説明書等の常備

2) 運転データに関する事項、劣化等の確認検査

運転時間（年、月、日）、発停頻度、石炭消費量、熱効率

石炭の分析値（発熱量、水分、灰分、N 分）、種類（炭種）粒径分布等

空気比制御の方法と運転実績（予熱温度等含む）

脱硝対策付設の場合→脱硝に要した薬品消費記録

脱硝装置の稼働時間（停止時間）

煤塵濃度測定記録

白煙の発生やリークアンモニアによる悪臭被害の有無
触媒の劣化現象や目詰まり、ダストの堆積現象
酸性硫安等による触媒部、機器類の腐食

3) NO_x 排出に関する事項

NO_x 濃度記録、O₂ 濃度（空気比）、SO_x 排出濃度記録

脱硝装置の保守点検記録

4) モニタリングに関する事項

燃料：燃料の組成分析者、分析方法、分析頻度、試料採取方法

環境測定計器類の型式（アナログ、電子）、間欠/連続、信頼性

NO_x 測定：計器の型式、O₂ 測定方法、ガス量測定方法、ガス温度測定方法
測定間隔、測定者

測定値の信頼性：機器較正方法と時期、較正調整者

② 焼結工程

1) 焼結炉に関する情報

使用燃料の種類、性状（N 分、S 分等）、

炉構造、排煙脱硫脱硝に関する仕様、構造図等の情報

2) 運転データに関する事項： 前述コークス炉に準じる。

3) NO_x 排出に関する事項： 前述コークス炉に準じる。

4) モニタリングに関する事項： 前述コークス炉に準じる。

③ 高炉

高炉ガスは炉頂圧発電や除塵後、製鉄所内熱源用に利用されるのが一般的である。従って燃焼等用途により各々最終的には各燃焼設備で脱硝処理される。検査時考慮事項は前述設備に準じる。

④ 圧延工程等

1) 加熱炉等の燃焼機に関する技術情報

前述設備に準じるが使用燃料 LNG、油等の性状（N 分、S 分等）の情報

連続鋳造と関連した再資源化工程に関わる情報

燃焼管理に関わる制御、記録、機器等

2) 排煙脱硝装置に関する情報等前述設備に準じる。

2) 検査時の留意点

1) 複合的な検査と評価

一貫製鉄所の NOx 排出に関わる検査は、各工程の規模、設備構成、原料、燃料等の設備仕様面に関わる静的特性と、操業技術に関わる動的特性の両面について実施する必要がある。各工程から排出される大気汚染物質は、発生メカニズムも多元的で、かつ複合的に影響を及ぼすため、発生抑制や除去対策には煤塵、SOx やその他のガス成分、温度等の計量的なデータに基づく挙動評価が求められる。

2) 省エネルギー対策との関連

検査が単なる実態把握や行政行為のみの目的で実施されるのでは検査効果は半減する。全ての燃焼設備に共通する燃料消費量や排ガス量の削減に関連する省エネルギー対策は大気汚染対策に欠かせない技術対策である。日本の鉄鋼業は CO₂削減対策として自主行動指針を掲げ厳しい市場環境のなかで、近年、多額の省エネルギー投資を実行している。省エネルギー対策は NOx 排出削減と相互に関係し相乗効果が大きい対策である。具体的な相乗効果の事例として次の項目が挙げられる。

- ・ 燃焼温度の低下→炉内耐火寿命の延命化、放熱損失の減少
- ・ 低空気比→動力削減
- ・ 高度自動燃焼制御→高効率化、省人化

参考資料

1. 日本鉄鋼連盟調査資料 (2010)
2. エネルギー効率の国際比較、RITE (2008)
3. 新日本製鉄、JFE スチール、神戸製鋼所、日新製鋼各社環境報告書 (2010)
4. ボイラ年鑑、48号、JBA (2010)
5. ボイラにおける煤塵処理システムの指針、JSIM (1983)
6. 煤煙低減技術マニュアル (技術者用)、JSIM(1992)
7. 次世代エネルギー構想、電中研 (1998)
8. 電気事業連合会調査資料 (2008)
9. 煤煙低減技術調査報告書、JSIM (1991)
10. エネルギー白書 2010 年度版 (2010)

2.7 セメント製造に関する NOx 排出対策技術・運転管理技術の近年の状況

2.7.1 セメント製造における窒素酸化物削減対策

(1) NOxの運転管理

NOx 排出防止管理として、キルン運転中、赤外線吸収法により排ガス中の NOx 濃度を連続測定し、焼成制御室にて連続記録、監視している。更に、実値より酸素濃度 10%換算の NOx を求め、瞬間値、1 時間平均値および 24 時間平均値を連続記録し、排出基準及び総量規制値を常に満足する排出量となるよう、運転管理を行っている。また、排出量を各市町村へ報告している。

表 2.7-1 日本での NOx 排出基準

設備の種類	基準値(O ₂ =10%)
1975 年 12 月 9 日以前設置の設備	480ppm
1975 年 12 月 10 日以後設置の設備	250ppm

(2) NOx削減対策

NOx 削減対策は燃料、燃焼法、装置など技術的に様々あり、対策技術一覧を表 2.7-2に示す。

表 2.7-2 NOx 対策手法一覧

技術分類	低減原理	低減効果 (%)
燃料改善 1. 低N分燃料 2. エマルジョン燃料	N分低減 火炎温度、O ₂ 低減	30-50
燃焼法改善 1. 低空気比燃焼 2. 低負荷燃焼 3. 空気低温余熱	O ₂ 低減 火炎温度低減 火炎温度低減	10-20 10-30 10-30
低NOxバーナー	火炎温度低減 O ₂ 低減 滞留時間低減	20-40
燃焼装置の改造 1. 排ガス再循環 2. 水分吹き込み 3. 二段燃焼 4. 多段燃焼	火炎温度、O ₂ 低減 火炎温度低減 火炎温度、O ₂ 低減 還元反応	30-50 30-50 30-50 30-50
脱硝装置 1. 無触媒還元脱硝 2. 触媒還元脱硝	NH ₃ による還元	30-70 90以上

表 2.7-2中でセメント工場で現在用いられる一般的手法について、いくつか述べると以下の通りである。

1) 低空気比燃焼

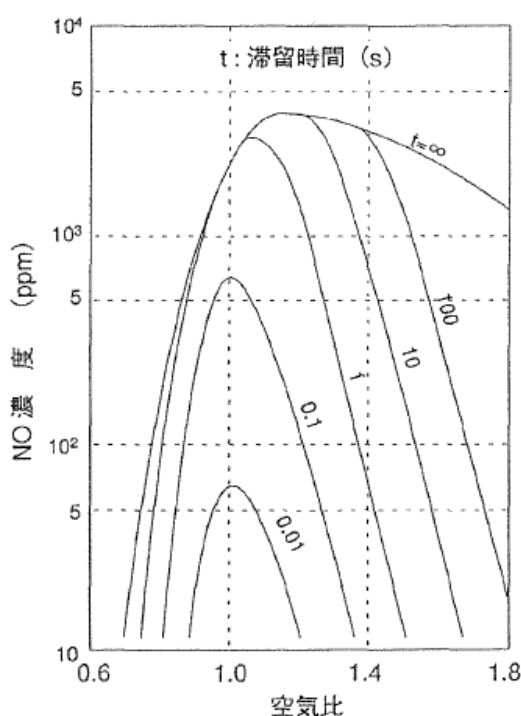
過剰空気量を少なくし、可能な限り理論空気量に近い空気比で燃焼を行って NOx の生成を抑制するもので、省エネルギーの方向とも両立する方法。

一般に空気比を低くすると燃焼領域での酸素濃度が減少し、また実際のバーナでは火炎温度も低くなるので、両者の相乗効果により NOx の生成は低く抑えられる。この場合にはサーマル NOx とともにフューエル NOx の低減もなされている。空気比が高くなるにつれて酸素濃度が増加し、サーマル NOx、フューエル NOx とともに生成量は増加する。さらに空気比が高くなると、燃焼温度の低下により NOx は減少するが実用的でない。

一方、空気比を下げ過ぎると、すすが発生しやすくなる。必要最低限での低空気比燃焼により燃焼管理を努めることが必要である。一般的には低空気比燃焼は省エネルギー対策にもなるが、NOx の大幅な抑制は期待できない。

燃焼温度並びに燃焼域での酸素濃度が低いほど、また、高温域での燃焼ガスの滞留時間が短いほど NO の生成量は少ない。

図 2.7-1は、空気比と生成 NO 濃度の関係を、理論燃焼温度における滞留時間をパラメーターとして示したものである。



出典：公害防止機器設備機材事典・公害防止機器設備機材事典編集委員会

図 2.7-1 理論燃焼温度における滞留時間と NOx 生成量

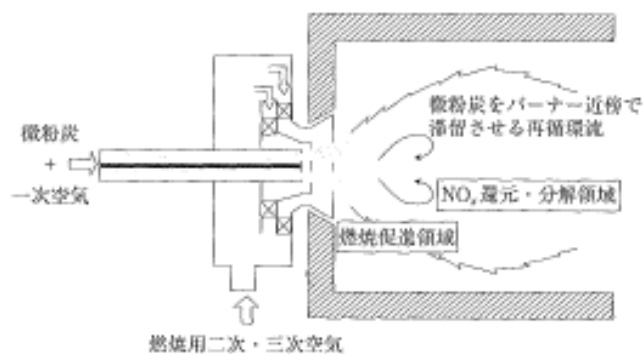
2) 低 NOx バーナー

低 NOx バーナーは、各メーカーで様々な原理のものが開発され、現在かなり実用化されている。

酸素濃度の低減、火炎最高温度の低下、高温域でのガスの滞留時間の短縮等の NOx 低減方法の一つあるいはいくつかの組み合わせを、バーナーに取り入れることによって NOx 低減を行おうとするもので、各種の方式のものが提案されている。

低 NOx バーナー概念図を図 2.7-2に示す。この形式は、二段燃焼や濃淡燃焼などの原理を組み込んで、段階的燃焼によって、1 段目で酸素濃度の低い燃焼状態を作り、NOx 生成を抑制するものである。

(セメント焼成用低 NOx バーナーは、国内では太平洋セメント株式会社、海外では KHD Humboldt Wedag Aktiengesellschaft などが開発並びに実用化されている。)

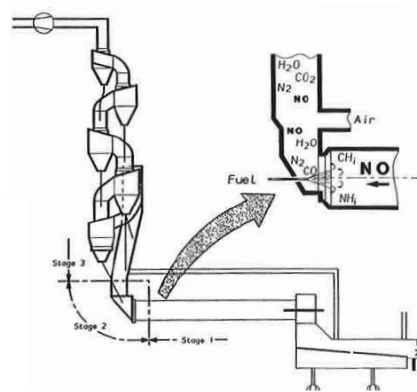


出典：「新・公害防止の技術と法規 2011(大気)」 社団法人産業環境管理協会

図 2.7-2 段階的燃焼組込形低 NOx バーナー概念図

3) 多段燃焼

図 2.7-3に示すように、仮焼された原料がキルンへ入る部位に燃料を投入して、還元雰囲気をつくり NOx 生成を抑制する。キルン内の高温域で発生した NOx を燃料で還元し、その後燃料はクーラーで予熱された高温空気の導入により 870~980°Cで燃焼を完結する。この温度域での NOx 発生量はキルン内の高温域で発生する NOx に対して無視できる量である。ここで発生した熱量は予熱、仮焼に有効利用できるため、経済性の良い還元方法である。但し、還元雰囲気部での原料付着に注意を要する。



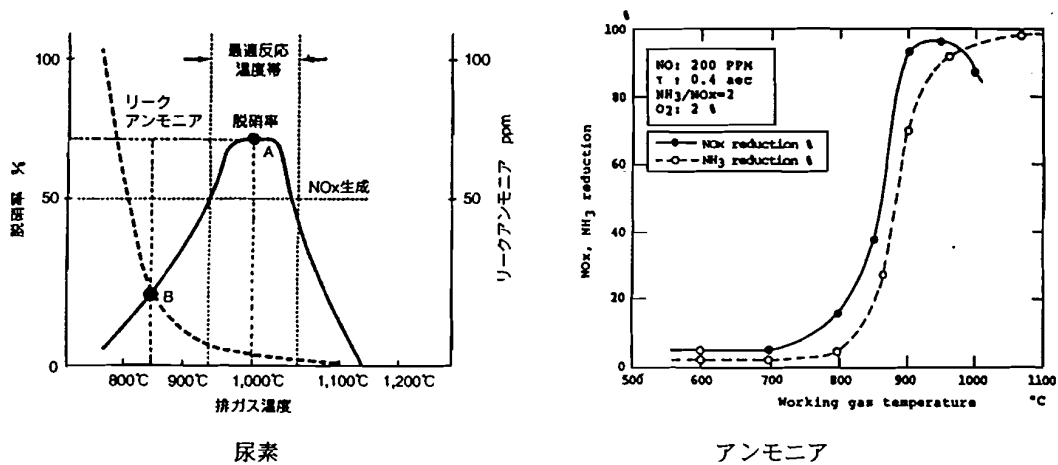
出典：ZKG international (1999 No.6)

図 2.7-3 キルン入口部位燃焼による NOx 低減概念図

4) 脱硝装置

①無触媒還元法

アンモニアもしくは尿素を還元剤として排ガス中に吹き込み、気相無触媒で NOx を窒素に還元する。脱硝剤の最適添加温度は、図 2.7-4に示すように、尿素の場合 950~1050℃、アンモニアの場合 900~1000℃である。一般的に、アンモニアもしくは尿素の還元剤を多く添加すると脱硝量も多くなるが、リークアンモニアも増加すると考えられる。リークアンモニアは、燃焼過程で発生する酸化硫黄と反応し、硫酸アンモニウムを生成し、排煙を不透明にする原因となるため注意が必要である。



出典：新環境管理設備事典(大気汚染防止機器)・産業調査会 事典出版センター

図 2.7-4 尿素およびアンモニアによる脱硝への温度影響

②アンモニア接触還元法

触媒を用いてアンモニアと NOx を反応させ、無害な窒素と水蒸気に還元させる方法。

③活性炭法

活性炭(又は活性コークス)により排ガスの SOx を吸着し、NOx は活性炭(活性コークス)の触媒作用により、アンモニアで窒素に還元させると同時脱硫、脱硝法。

2.7.2 中国のセメント工場における窒素酸化物削減対策の留意点

(1) NOx排出管理

モニタリングの結果をトレンドデータに反映させて、NOx を抑制するよう講ずる。また、1 時間平均値、1 日平均についても記録し、各市町村自治体に届出を報告する。

(2) NOx削減対策

基本的には NOx を発生させないように、窒素分の低い燃料を選定することや、バーナの位置、燃料および一次空気の量の調整を行う。設備的には、低 NOx バーナの導入や窯入部位を利用した多段燃焼化の設備改造、脱硝装置の設置を行い、NOx 基準値の超過を防ぐ。

参考資料

1. 「開発途上国の大気汚染防止に係る固定発生源対策マニュアル」財団法人北九州国際技術協会
2. 「新・公害防止の技術と法規 2011(大気)」社団法人 産業環境管理協会
3. 「公害防止機器設備機材事典」公害防止機器設備機材事典編集委員会
4. 新環境管理設備事典(大気汚染防止機器) 産業調査会 事典出版センター

2.8 ガラス製造に関する対策技術導入の際の注意点、考慮すべきポイント

2.8.1 ガラス製造業の NOx 排出削減に係わる背景

中国における板ガラスの生産量は、数年前の建築ブームが沈静化したとは言え、中国統計局発表の2013年度各月生産月報によると前年比 +13~15%と増加傾向にある。ガラス製造業における製造品目は、建築需要の板ガラスのほかに、自動車用ガラス、光通信用ファイバーガラス、磁気ディスク基板、ディスプレイ用ガラス等があるが、中国では圧倒的に板ガラスが生産量の多くを占めている。日本の板ガラス製造業における NOx 排出規制施策は、一般の製造業よりも緩やかな措置が講じられてきたが、これは中国においても同様である。この要因は、板ガラス製造工程において、原料（珪砂・ソーダ灰・ぼう硝・カレット等）を溶解窯で約 1,500~1,600℃の高温で溶解させること、後流のフロートバス・除冷工程でも 1,200℃の高温を要するなど、多くの工程で高温状態に置かれるため Thermal NOx が生成しやすいことにある。しかしながら、中国においては大気環境改善の必要に直面しており、他の産業と同様に、NOx 総量規制や排出基準値の設定の見直しが検討され、ガラス製造業の既設工場や新設工場に対してより厳しい NOx 排出基準値が適用されることとなった。

2.8.2 ガラス製造業におけるケーススタディ事例（燃焼改善）

1) ケーススタディ対象

NOx 排出削減のケーススタディ事例として、2013 年度末までに NOx 排出濃度 700mg/Nm³ の対策を迫られている工場を対象に改善方策や適用技術の検討を行った。表 2.8-1 にケーススタディ対象となる板ガラス製造工程の燃焼に関する諸元を示す。

表 2.8-1 ケーススタディの溶解窯における燃焼条件等

項目	諸元・燃焼条件等
生産能力	1,000t/day ×1 Line, 700t/day ×1 Line
溶解窯	8 section/Line
使用燃料	3 種類の燃料を使用 ①石油コークス 発熱量：8,000kcal/kg 揮発分：10%、固定炭素：90%、灰分：0.5% N 分：不明、S 分：1.5% 粒径(燃焼時) <120mesh-100%pass ②重油 発熱量：9,000kcal/kg、N 分：不明 ③天然ガス 発熱量：8,500kcal/kg 供給圧力：0.03 Pa
現状の NOx 排出濃度	2,800mg/Nm ³ O ₂ =12~13%vol (煙突出口測定値)
削減目標値	700mg/Nm ³ O ₂ =8%vol.

溶解窯内温度	1,300～1,600℃（測定方法、日時不明） 炉天井部：1,610℃、ガラス溶液：1,550℃ 火炎部 1,620℃
操業体制	24 hr 連続

- (備考) 1. 燃料発熱量は燃料供給側から提示された熱量計分析値である。単位等に不正確な点が見られる。
2. 諸元値はすべて工場側から提示された情報である。

2) 検討分野

ガラス製造工程における NOx 生成源は、原料溶融工程における燃焼由来のものである。他の産業では、主に燃焼段階で NOx の発生抑制対策を実施し、かつ、生成した NOx を排煙脱硝で除去する対策が検討される。しかし、ガラス製造業では下記①板ガラス製造工程の特徴で示すような制約があり、「燃焼」「排煙脱硝」両面から十分な削減技術の適用が困難である製造業である。

① 板ガラス製造工程の特徴

- a. 溶解工程で必要とされる溶融温度は 1,500～1,600℃と高温であり、燃料の種類を問わずに、空気中の O₂ を利用する燃焼方式のうち、実用の最高温度域にあるためサーマル NOx の生成場である。
- b. ガラス質の熔解状態における溶融、フロートバス、除冷等の全生産工程は、定められた温度管理の下で連続して流動、固化、製品化される。従って、粘性、流動性、温度降下勾配等は、温度制御の影響を非常に受けやすく、ガラス品質に影響なく容易に温度条件を改善する対策が取りにくい。
- c. 既設の生産施設は、プラントメーカーやエンジニアリング企業で設計建設されているが、運転開始後は、通常、ガラス製造企業において、原料、品質、生産コスト等の生産ノウハウに基づいて生産されている。このため、NOx 対策にあたってガラス製造企業にこれらの条件を変更する必要が生じた際に、メーカーとの間で保証責任の問題が生じる。

② 検討項目

燃焼由来の NOx 生成抑制対策の視点から燃焼分野及びエンジニアリング分野の次項の検討を行った。

a. 燃焼分野

－Fuel NOx

使用燃料の N 分含有量、各燃料の燃焼量、制御方法など

－Thermal NOx

低 O₂ 燃焼法、溶解窯内熱負荷及び温度、燃焼機形式、溶解窯の構造等

b. エンジニアリング分野

－改善に要する計画・設計・製作・工事・検収等の課題

3) 検討結果

・Fuel NOx

当該工場においては、固形・液体・ガスの3種類の使用燃料に含有するN分の把握や管理は行われていない。燃焼量の時間軸でのトレンドや制御履歴も把握されておらず、Fuel NOxの検討に要する情報が不足している状況が確認された。当該ガラス製造業に限らず中国の産業界では、燃焼由来のNOx低減対策を検討する場合に、検討すべき二つの発生源(Fuel NOx及びThermal NOx)のうち、燃料中のN分に由来するFuel NOxに係わる燃料の性状に関しての十分な管理が行われていない事例が多く見られる。

・Thermal NOx

Thermal NOxの生成に関係する因子は、燃焼火炎形状、火炎輝度、空気比、空気温度、溶解窯内温度、ガス対流時間、窯炉構造、窯炉内熱負荷、ガス流れ等がある。既設炉のNOx削減のためには、まずこれらの因子とNOx値の相関(Parameter)及びこの条件で生産されるガラス品質の確認をする必要がある。しかし、当該工場から得られた情報からは、燃焼過程のNOx生成抑制法についての十分な検討ができなかった。

低O₂燃焼法として、バーナー形式や低NOx燃焼法等の検討が可能であるが、いずれも燃焼温度の低下や火炎形状の変更を伴う。既設炉においては、これらの選定技術の導入には、溶解温度条件と密接な関係がある為、窯炉に関する必要温度分布、熱負荷、構造に関する技術情報に基づき適切な導入技術を検討する必要がある。

燃焼ガスの炉内滞留時間は、Thermal NOxの生成に大きく影響する。炉内滞留時間を短縮させるため、低空気比燃焼や省エネルギー効果により燃焼ガス量を低減させることが効果的であると考えられる。この場合、熔融条件への影響などを確認しながら実証試験を行う必要がある。

燃焼制御(Automatic Combustion Control System)に関しても、自社の最適溶解温度のトレンドや炉内セクション毎の最適燃料構成をプログラム化するか、データ値に基づいた制御方法を構築する必要がある。

・エンジニアリング分野

改善や対策を講じる場合、当該施設の設計条件、機能、構造の工学的情報が不可欠である。

対象工場では、検討に必要とする情報開示がなく、当該分野におけるケーススタディーは行わなかった。機器納入時に、メーカーに対して、仕様書、設計計算書、物質収支(ガス、燃料、空気等)、構造図、保証値を示す契約書等々の提出を義務化することが必要である。

2.8.3 ガラス製造業に対するNOx低減対策への提案(燃焼改善)

板ガラス製造工程における一般的なNOx低減対策について下記のとおり提案する。

1) 既設の製造工程に対するNOx低減対策

①燃焼工程のNOx生成抑制対策を検討する場合は以下の手順や項目について検討すること。

- ・溶解窯に関する工学的情報の収集・確認

 - 炉内構造（容積、寸法、炉壁材質、ガス流など）

 - 炉内熱負荷率（ $\text{kJ/m}^3\text{h}$ ）

 - 炉内温度分布（火炎分布、負荷率考慮）

 - 改造機器の装備や改善が可能なスペース等

- ・燃料の性状把握及び管理

 - N 分の管理、燃焼温度の変化、火炎形状の変化、制御方法の最適条件

- ・燃焼機の最適機種を選定

 - 空気比、火炎形状、予熱空気、燃料性状変化の対応

②改善・対策には、燃焼機メーカー、炉メーカー、ガラス製造者の3者が協働で、導入技術別に、使用機器の機能、運転状況、品質への影響等について試行・実証すること。

③改善・対策工事期間の操業停止や試験や検証に要する時間の検討

2) 新設の製造工程に対する対策

①省エネルギーの徹底

高熱効率を実現することで燃料消費量が低減するだけでなく、NOx 総排出量も低減される。低空気比燃焼機の採用、熱回収の実施、あらゆる熱損失の削減対策（炉体放熱損失、ガス/空気の漏洩損失、未燃損失など）等の方策を講じること。

②使用燃料の性状把握及び管理の徹底

燃料の組成や性状の変化は燃焼温度の変化に影響することに注意する。使用する燃料の組成・性状の許容変動巾が不明の場合、予め実験等により検証しておくこと。

実際の燃焼温度は「燃焼効率」「低位発熱量」「燃料顕熱」等や、「燃焼ガスの低圧比熱＝ガス温度」「ガス量＝空気比」により変化する。特に灰分・水分・発熱量・燃焼効率の変動は、NOx 生成量に間接的に影響するため、使用燃料の性状管理、燃焼量/空気比の制御に留意すること。

燃料中の N 分は Fuel NOx の生成源となるため、含有量に制限値を設けて燃料を調達することが重要である。

石油コークスや石炭のような固形燃料の場合は、含有成分の揮発分や固定炭素により、NOx 生成の要因となる火炎形状が短炎～長炎、広拡形などと変化する。また固定炭素燃焼の影響で火炎輝度や輻射率が変化し、ガラス熔融相の温度にも影響を与えるため、使用燃料の揮発分/固定炭素成分の管理は特に留意すべきである。固定炭素は、燃焼時間、燃焼効率、残炭未燃煤など燃焼機形式選定において留意すべき成分である。

③燃焼設備

溶解工程において品質を確保しなければいけないため、一定の炉内温度が要求される。そのため、燃焼面における NOx 生成低減技術は、適用出来る技術が制約され、それらの削減効果も保証が得にくい状態である。しかし、炉内の温度域を考慮したうえで、CH 系ガス燃料の使用、

予混合燃焼バーナー、低 NO_x バーナーや、低 O₂ ズーニング等の NO_x 対策手法が各国の製造者で自社開発されている。これらのシステムは、現在、ガラス製造者や燃焼機メーカーの特許として所有されている技術が多く、技術提携等の形態で導入するのも選択の一つである。

④施設管理

工場管理者は、施設管理における機能の管理や事後保全に必要な次項の情報に関して、設備納入者との間で、納入時に提出義務を課して契約すること。

- ・NO_x 関連計画条件および検収条件（温度、ガス量、濃度、ガス性状、負荷条件、検収法等）
- ・技術図面（構造、機器、材質等）
- ・保証期間（例：触媒、接ガス部、制御機能等）

2.8.4 ガラス製造業におけるケーススタディ事例（排ガス処理）

1) 排ガス条件の検証

今回、ケーススタディを実施したガラス溶解炉において使用されている燃料は、日本では使用実績のない石油コークスと重油、天然ガスの混焼である。ケーススタディ対象工場から提供のあった排ガス成分の量（排ガス量 100,000Nm³/h、SO_x 濃度 3,500mg/Nm³、NO_x 濃度 2,500mg/Nm³、ダスト濃度 1,000mg/Nm³）についてそれぞれ検証してみる。SO_x 量（提供値 3,500mg/Nm³）に関しては、燃料である石油コークス中の S 分は、表 2.8-1（ケーススタディの溶解窯における燃焼条件等）では 1.5%とあるが、燃焼計算上の理論値との乖離が大きい。今回のケーススタディでは、燃焼計算に基づいて S 分 3%程度の燃料をガラス溶解炉で燃焼した場合であると想定する。また、NO_x 量（提供値 2,500mg/Nm³）は、中国某社の天然ガス専焼炉の実績値である 2,300mg/Nm³ よりもさらに高い数値であるが、これは石油コークス中の N 分（1.3%~3%）由来の Fuel NO_x によると想定する。一方、ばいじん量については、未燃分がどの程度飛散してくるか実績が無いので不明である。通常、ばいじん量は、重油専焼のガラス溶解炉では、200mg/Nm³~500mg/Nm³、天然ガス専焼炉であれば、200mg/Nm³ 程度であるので、提供値のダスト量（1,000mg/Nm³）はこれらと比較すると高い値ではあるが、今回のケーススタディでは 1,000mg/Nm³ として、ケーススタディを実施する。

以上より排ガス処理設備入口の条件を整理すると、表 2.8-2のとおりである。

表 2.8-2 排ガス処理設備入口の条件

項目	データ
排ガス量	1 0 0, 0 0 0 Nm ³ /hr
温度	2 0 0 °C（廃熱ボイラ出口）
SO _x 濃度	3, 5 0 0 mg/Nm ³
NO _x 濃度	2, 5 0 0 mg/Nm ³
ばいじん濃度	1, 0 0 0 mg/Nm ³

2) 排ガスの排出基準

既設フロートガラス溶解炉に適用される排ガスの排出基準値は、表 2.8-3の通りである。既存設備については、2014年1月1日より、新設設備については、2011年10月1日より、適用されているものである。

表 2.8-3 Emission Standard of air pollutants for flat glass industry (GB26453-2011)

‘11年4月2日発行 平板玻璃工业大气污染物排放标准

	改正前	改正後
ばいじん	100mg/Nm ³	50mg/Nm ³
SO _x (SO ₂ として)	600mg/Nm ³ (210ppm)	400mg/Nm ³ (140ppm)
F	5mg/Nm ³	5mg/Nm ³
HCl	30mg/Nm ³	30mg/Nm ³
NO _x (NO ₂ として)	規制なし	700mg/Nm ³ (341ppm)

いずれも酸素濃度8%換算値。

3) 近隣国家・地区のフロートガラス溶解炉のNO_x規制値

中国では、改正前までNO_xの排出基準値はなかったが、改正後の値は、日本の排出基準値の2倍強である。しかし、韓国では、以下の表 2.8-4にあるように中国の改正後の規制値に近い値が、すでに施行されており、ほとんどのガラス溶解炉に脱硝設備も設置されている。

表 2.8-4 近隣国家・地区のフロートガラス溶解炉のNO_x規制値

国家・地区	濃度 (mg/Nm ³) O ₂ 8%換算値
中国	700 mg/Nm ³ (341 ppm) ただし、都市により低い濃度基準があるかは不明。
台湾	1,602 mg/Nm ³ (780 ppm) ただし、都市により低い濃度基準あり。 2019年1月1日～780 mg/Nm ³ (390 ppm)
韓国	834 mg/Nm ³ (406 ppm)
日本	1,602 mg/Nm ³ (780 ppm) ただし、都市により低い濃度基準あり。

脱硝設備設置に至るテスト結果について、次項に示す。

4) 実ガスによる脱硝触媒活性テスト（本事業以前に実用化に向けテストした結果）

フロートガラス溶解炉における実ガスによる脱硝触媒の活性テストは、図 2.8-1に示す排ガス処理のダクト内に、図 2.8-2のような小さい正方形のサンプル触媒を入れ、一定時間ごとに抜き出し、触媒の活性度合いの経時変化を調査した。①は、ガラス溶解炉から排出された生ガス（スタビライザ入口）、②は、スタビライザにてNaOHを噴霧し、脱硫と同時にダストを改質された排ガス（EP入口）、③は、脱硫、除塵された排ガス（煙突入口）と触媒をダクト中で接触させた

ものである。

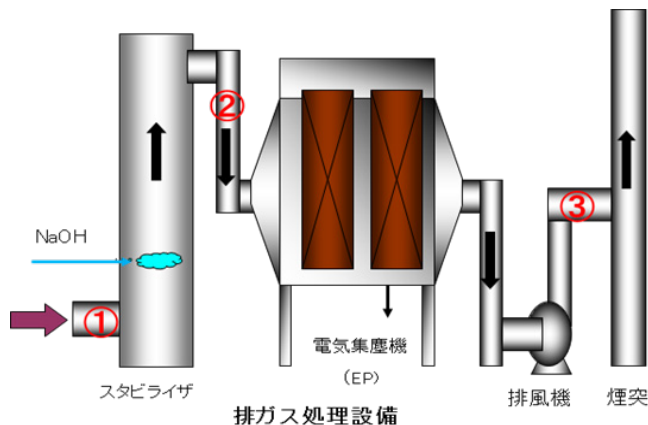


図 2.8-1 排ガス処理設備フロー

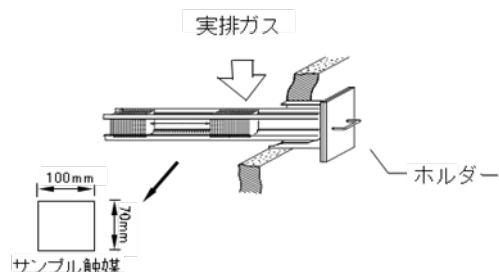


図 2.8-2 サンプル触媒フォルダ

抜き出したサンプル触媒の活性テストの結果、触媒の設置が最適な場所は、排ガスの脱硫、除塵が行われた後、すなわち煙突前であることが、図 2.8-3から、明らかになった。

スタビライザ入口①では、約 2 ヶ月 (2064 時間) で触媒の活性がほとんど失われ、EP 入口では、約 2 カ月では、80%位の活性はあるものの、劣化の安定性は、煙突入口が最善であるという結果を得た。

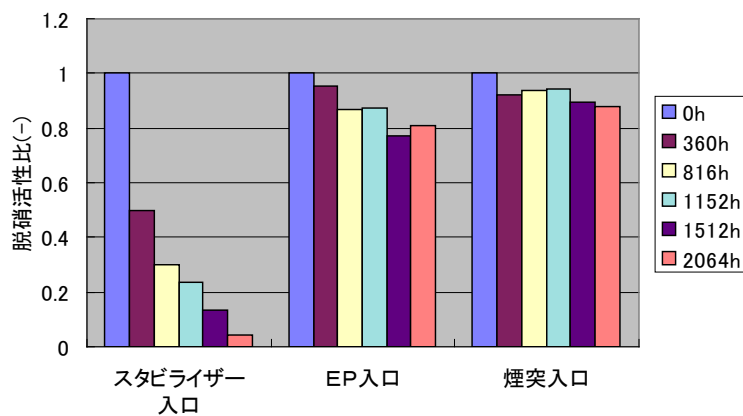


図 2.8-3 触媒活性の継時的な変化

石炭炊きボイラ等のほとんどの工業排ガスは、集塵機前で脱硝処理できるが、ガラス溶解炉は特有のダスト性状であるため、集塵機後でなければ設置できないということが、ガラス溶解炉における脱硝設備の難しいところである。

5) ケーススタディ結果

今回ケーススタディのガラス溶解炉は、図 2.8-1にあるような排ガス設備があり、これに脱硝設備を設置した場合、図 2.8-4のようなフロー、マテリアルバランスとなる。

Material Balance 入口SO_x濃度 3,500 mg/Nm³ の場合

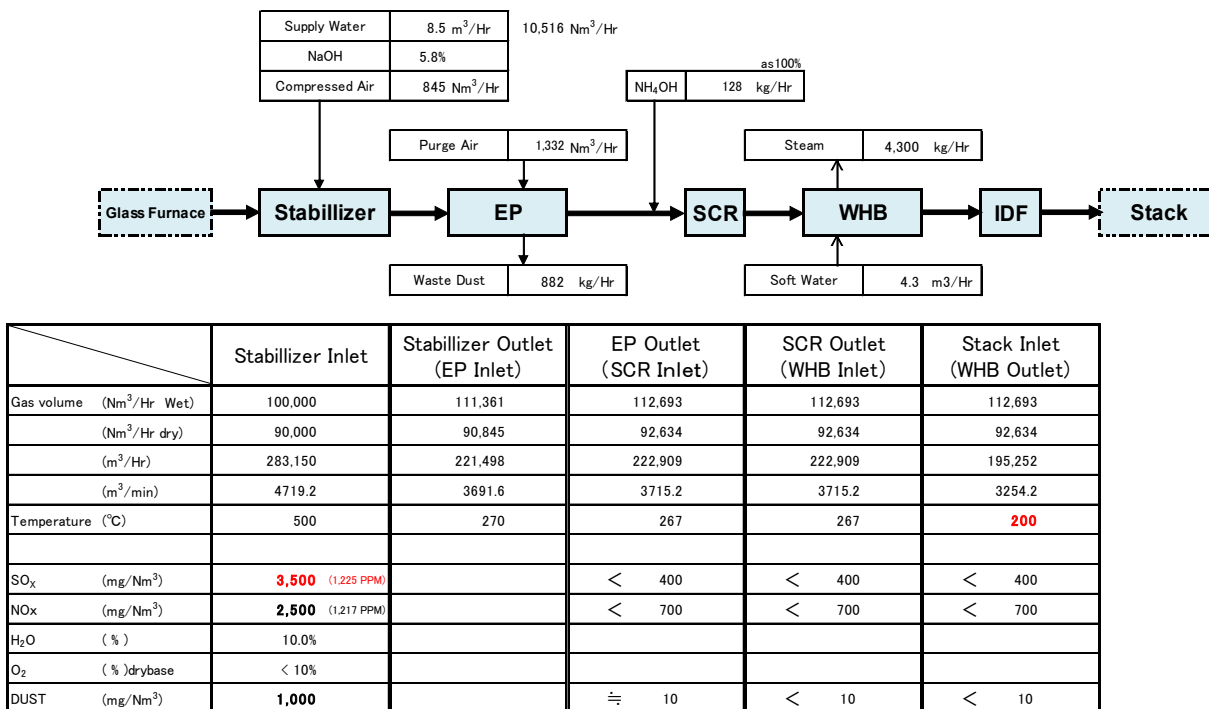


図 2.8-4 入口 SO_x 濃度 3,500mg/Nm³ におけるフロー、マテリアルバランス

この場合、脱硫する為にスタビライザで排ガス温度が低下してしまい、脱硝設備に適温な条件にすることは出来ない。これは、SO_xと、脱硝に使用するアンモニアとの反応による酸性硫酸の析出を防ぐためには、図 2.8-5 に示す温度以上にする必要があるが、スタビライザでの温度低下により、脱硝設備前でその排ガス温度以上にならない事が原因である。

たとえば、SO_x濃度が、100ppm とすると、SO₃は、ガラス溶解炉の排ガスの実績は、SO₃が約 3%ある。すると、この時 SO₃濃度は、3ppm であり、この場合、排ガス温度は、283°C 以上必要である。

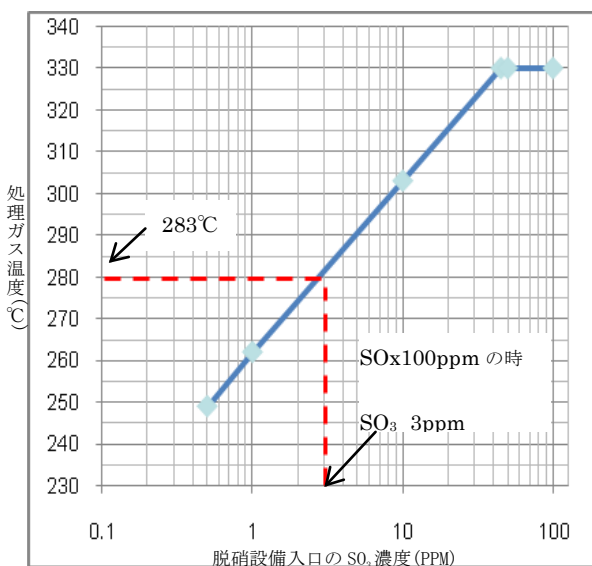


図 2.8-5 脱硝装置前の NH₃ 注入下限温度

もし、燃料中の S 分が約 1.5%だとすると、SO_x 排出量は、約半分の 1,750mg/Nm³ 程度になり、スタビライザにおける温度低下が上述のケースより抑えられることから、図 2.8-6 のように脱硝設備を設置することができる。

Material Balance 入口SO_x濃度 1,750 mg/Nm³ の場合

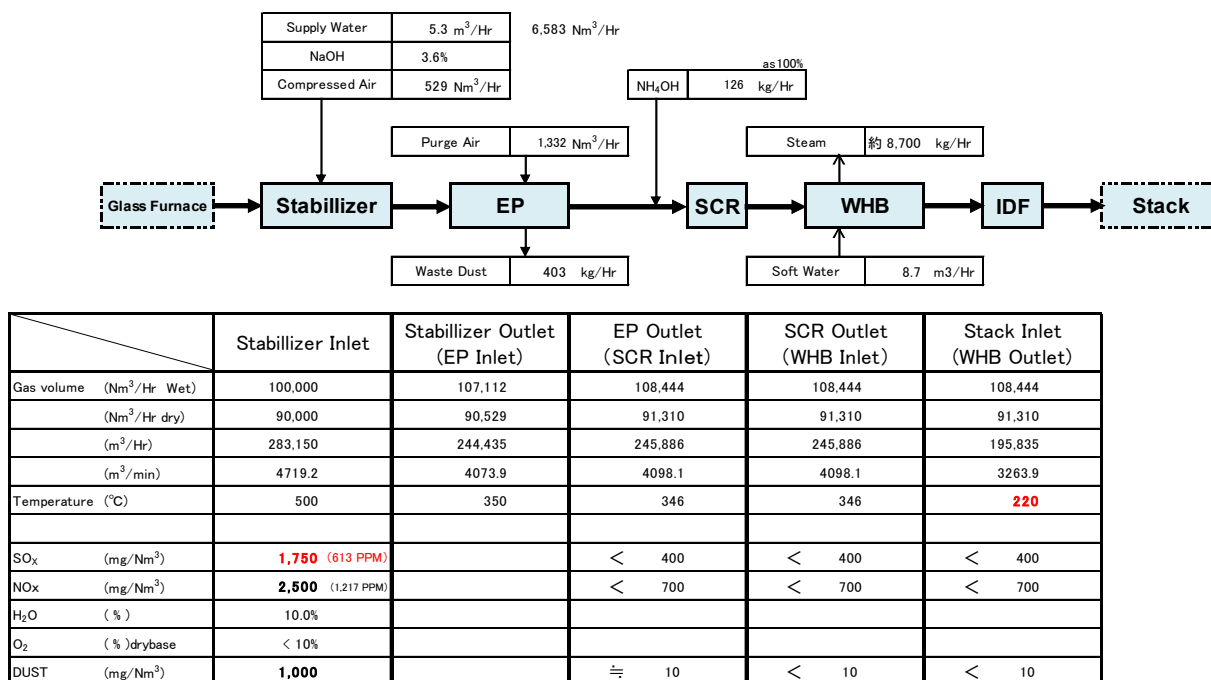


図 2.8-6 入口 SO_x 濃度 1,750mg/Nm³ の場合のフロー、マテリアルバランス

しかし、廃熱ボイラでの熱回収量は、脱硝設備を設置した場合、約半分になってしまい、中国でのフロートガラス工場は、廃熱ボイラから発生する蒸気で発電している工場が多く、排ガス処理設備を設置すると発電量は半分以下になってしまうデメリットもある。

2.8.5 ガラス製造業に対する NO_x 低減対策への提案（排ガス処理）

以上のように中国のガラス溶解炉には、廃熱ボイラによる廃熱発電を設置している場所が多く、また、燃料に石油コークスを使用している為に、脱硝設備との両立をする為には、省エネを犠牲にするしかない。

廃熱発電は、設備費にかなりの投資が必要であるが、約 2 年で十分に設備投資費を回収でき、また、石油コークスについても、重油に比べ、発熱量を考慮しても燃料費が、25%安価であるという。

今回ケーススタディを作成した脱硝法（SCR 法）では、SCR 入口の排ガス温度が必要である。

燃料に低硫黄の重油を使用した場合でも、ガラス溶解炉排ガスのダストは、粘着性があり、前記のようなスタビライザにて NaOH のスプレーによるダスト改質を実施しない場合は、電気集塵機の効率低下があり、ダストにより触媒を閉塞してしまう。しかし、燃料を天然ガス専焼にすればダスト改質のための NaOH スプレー等が必要なくなるため、廃熱発電によって石油コークス燃料使用の場合と同様の発電量を回収することができるが、燃料費は、25%以上、上昇してしまうことになる。

最後に、ガラス会社のランニングコストを使用燃料に関わらず同一にするためには、低温における SCR 法による脱硝技術が必要であると同時に、脱硫・ダスト除去ができる設備が必要であるが、残念ながらこの技術は確立されていない。むしろ、ガラス溶解炉で使用する燃料の規制、たとえば、燃料中の S 分は、1.0%以下とするというような法律を制定し、かつ多少の廃熱回収は犠牲すれば、上記のような SCR 法による脱硝設備の設置が全て可能である。