

第7章 大気汚染防止技術

7.1 大気汚染防止の基礎的考え

7.1.1 概説

大気汚染防止には、大気汚染物質排出削減が不可欠で、この目的のため多くの技術が応用され、集塵装置や排ガス脱硫、脱硝装置等の汚染物質処理回収技術が広く普及している。とはいえ、これだけが大気汚染防止の手段ではなく、後述するように燃料改善、燃焼管理、省エネルギー、工程管理等多くの技術的防止手段が存在する。そこで、これら採用する大気汚染防止の基礎的考えを紹介する。

7.1.2 大気汚染防止の基本的考察

後述のように大気汚染物質発生量は、生産工程の合理的管理で達成可能な場合がある。いいかえれば、工程管理が不適切なために大気汚染物質発生原因となっているケースは多く、この大気汚染防止のため、生産工程が合理的か否か第1に点検することが望ましい。名古屋大学の新保元二¹⁾は、従来生産工程中の原料と製品をつなぐ物の流れを中心にフロー・シートが描かれていたが、環境に影響をするものの方を中心に、フロー・シートを描くネガティブ・フロー・シートの考えを紹介している。要するに、生産工程における物質すべてに関する流れを把握し、汚染物質の排出まで考慮して工程管理しようという考え方である。要は、汚染物質排出を最小限に保って生産するのが、大気汚染防止にまず必要であることを認識すべきだろう。さらに、横浜国立大学の浦野紘平²⁾が紹介している環境汚染物質排出・移動登録（PRTR）にもこの考えが存在する。

そこで一般に、生産工程において製品に入って行かない原材料が多い工程汚染物質排出要因が高く、幾段も生産工程が重なっている複雑な工程汚染物質排出が多いと考えるべきだろう。

7.1.3 大気汚染防止装置について

以上の考えに基づいて生産工程を徹底的に合理化し、原燃料を選択しても大気汚染規制基準にまで汚染物質排出量をコントロール不可能で、さらに規制されていない物質でも、その排出量から考慮し大気汚染を引き起こすと考えたら、大気汚染防止装置採用を考慮せねばならない。一般に、大気汚染防止装置は集塵装置、排ガス脱硫装置、重油脱硫装置のいずれもが、汚染物質の回収装置であることを認識し、採用に十分慎重であるべきである。すなわち、環境汚染は物質の重積と物事の偏りで発生すると考えられ、回収汚染物質は放置すれば自然界においてやがて分散し、環境汚染を引き起こすのである。そこで、物質回収装置である大気汚染防止装置は、不注意に回収汚染物質を放置したら環境汚染の一時的低下に役立っても、見方を変えれば環境汚染原因を断切っていないことを認識すべきなのである。さらに、大気汚染防止装置の運転・管理には、いくばくかのエネルギーを必要とし、この取得手段が汚染物質発生要因であることを考慮すべきであろう。

1823年、イギリスではルブラン・ソーダ法を採用したアルカリ工業が繁栄して塩化水素による大気

汚染被害が提起され、これが契機でアルカリ法が制定されて塩化水素規制が施行された。世界で最初の化学物質排出規制と考えられるこの規制も1863年排ガスの水洗処理で解決したものの、この排水を河川放流したため『大気汚染を水質汚濁に変更したに過ぎなかった。』と評価されている³⁾⁴⁾。このため、大気汚染防止装置で回収された大気汚染物質の利用法を含めた環境安全性保持は重要であり、回収汚染物質の資源的考察も欠かせないように思われる。さらに、資源的考察といえば大気汚染防止装置で用いる物質の資源的考察も肝要である。例えば、アンモニアで窒素酸化物を接触還元する乾式排ガス脱流装置の場合、アンモニア生産量という制約の存在も考慮すべきであるし、この点アンモニアで中和する湿式排ガス脱流装置でも同様である。さらにこの場合、副生硫酸を肥料に利用すると耕地を酸性化してその荒廃を招き環境保全上課題を残すことを認識すべきだろう⁵⁾。また、乾式排ガス脱硫装置による硫酸製造は、硫酸の肥料としての使用を促進することになる。

特に我が国においては硫酸は余剰である。この点石膏は不足し輸入しており石灰-石膏法は資源的、環境安全性の意味でも優位性が存在する。

さらに、電気集塵装置で回収したフライアッシュをセメント原料に利用したり、バグフィルターで回収した転炉排ガス中フュームを製鉄原料に用いたり、灯油洗浄で回収したガソリン出荷施設からのガソリン蒸気を原油タンクに戻すことは、優れた大気汚染物質回収技術利用方法である。このように、大気汚染防止装置の利用にはその資源的、エネルギー的制約を考慮して回収物質の利用、環境安全性付与に十分な検討を必要とするとともに、装置運転に必要とする資材と副生物質の運搬手段に関して考察することが肝要であろう⁶⁾。

7.1.4 大気汚染防止組織の確立

さて技術的活動には技術者を中心とする大気汚染防止組織確立は不可欠で、防止技術のソフト部分として重視すべきである。そして、これは従来の生産技術の考え方に基本的変更を迫る場合もある。例えば、敷地面積の多くを大気汚染防止装置で占められた火力発電所もあるし、火力発電所の重要部分である石炭堆積場を排ガス脱流装置建設のため、割かざるを得なくなった石炭専焼火力発電所がある。また排ガス脱流装置等の管理を円滑化するためだろう、一般に電気技術者が多い火力発電所長に化学技術者を任命したという電力会社もある。このように大気汚染防止技術は、従来の工学分野の学術的境界を完全に超えるまでになっていることも大気汚染防止組織運営のため留意すべき事項だろう⁷⁾。

7.2 大気汚染対策の変遷

7.2.1 はじめに

大気汚染の防止する方法としては

- (1) 被害地域と発生源を離す（距離減衰を図る）
- (2) 煙突や排気筒を高くし、地上での高濃度をさける。
- (3) 集塵装置や有害ガス処理装置等の処理装置を付ける。（自動車：三元触媒）
- (4) 燃料を良質なものに転換する。（自動車：低公害車）

などが考えられるが、これらの施策をより確実に実行に移すためには、

- (1) 協定を結び（公害防止協定等）、その中に目標を定めて、対策を具体化させる。
- (2) 法律、条例などにより規制値を定め、遵守させる。
- (3) 指導標準、指導要綱、指導指針などを作成し、目標値を置き守らせる。

などがあり、これらの組み合わせにより対策効果が発揮される。

7.2.2 指導・協定による例

1951年宇部市議会は企業代表、市議会代表、学識経験者の3者で組織する「ばい煙対策委員会」を市長の諮問機関として設立し、この指導で、1951年石炭使用量月85,600tを1962年には153,600tと79%以上増加したにもかかわらず、煤塵量は55.9t・月・kmから18t・月・kmと3分の1以下に減少させた。（40台近い集塵装置を整備し、煤塵はセメント混和材として売却、10年間で9億円の売り上げを得た）：通称「宇部方式」といわれている。

このほか、大手の公害発生企業と自治体とが協定を結ぶ方式が多数みられた。

7.2.3 段階的規制の導入とその効果

(1) すす・ばいじん対策

1932年「大阪府煤煙防止規則」が公布され、リングルマン濃度3以上の黒煙を禁止したのが大気汚染規制の始まりである。このとき採られた対策は無煙炭焚きとボイラー技術者養成であった。その後は戦争などの影響で前進は見られなかった。

戦後、1955年、「東京都ばい煙防止条例」が制定され、リングルマン濃度表による規制が始まった。さらに、1962年政府は、「ばい煙の排出の規制に関する法律」を制定し、リングルマン濃度表とJISZ8808に規定するばいじん質量濃度を制限する規制が導入された。

これに基づき東京、川崎、大阪、北九州などですす・ばいじんの排出濃度規制が行われた。しかしながら、硫酸化物による大気汚染は一層進行し、自動車排出ガスによる大気汚染も加わるなど複雑深刻化してきた。

(2) 総合的な大気汚染対策

このような大気汚染を防止するため1968年に「大気汚染防止法」が制定され硫黄酸化物量規制が導入された。また、1970年には、光化学スモッグや鉛による大気汚染など新しい公害問題が提起されたことから、自動車排出ガスの炭化水素規制や有害物質（Cd、Cl、HCl、F、HF、Pb、NOx、など）の規制が行われるようになった。

また、合成、分解、その他の化学的処理に伴い発生する物質の内、人の健康又は生活環境に被害を生ずるおそれのある物質（アンモニアなど26種）を「特定物質」とし、事故時の措置を義務付けた。さらに、物の粉碎、選別、堆積等により飛散する粉じんについて、構造、使用、管理基準を定めた。その後、1974年、硫黄酸化物総量規制、1986年に窒素酸化物総量規制がそれぞれ地域を指定して施行され、さらに1989年12月アスベストの排出規制が導入された。表7.2.1に大気汚染防止法規制措置等一覧を示す。

1997年1月ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンが指定物質となり抑制されることとなった。

表7.2.1 大気汚染防止法規制措置等一覧

規制物質	物質の例示	発生形態	発生施設	規制基準等	規制措置等	
ばい煙	硫黄酸化物	SO ₂ 、SO ₃	物の燃焼	ばい煙発生施設	排出量基準 (量規制、地域ごとK値方式、総量規制基準)	改善命令、直罰など
	ばいじん	すすなど	同上	同上	同上 (濃度規制、施設の種類・規模ごと)	同上
	有害物質	NOx、Cd、Pb、HF、Cl ₂ 、Hclなど	物の燃焼、合成、分解、加圧など	同上	同上 (濃度規制、物質の種類・施設の種類ごと。NOxについては総量規制基準もある。)	同上
	特定有害物質	(未指定)	物の燃焼	同上	同上 (量規制、K値方式)	同上
粉じん	特定粉じん	石綿	解綿、切断、研磨など	特定粉じん発生施設	規制基準 (濃度規制、敷地境界)	改善命令
	一般粉じん	セメント粉、石炭粉、鉄粉など	物の粉碎、選別、堆積など	一般粉じん発生施設	構造・使用・管理基準	基準適合命令
自動車排出ガス	CO、HC、Pb、Noxなど	自動車の運行	特定の自動車	許容限度 (保安基準で考慮)	交通規制、整備命令等(他法による。)	
特定物質	C ₆ H ₅ OH(フェノール)、C ₆ H ₅ N(ピリジン)など	物の合成等の化学的処理中の事故	特定施設(政令等で特定せず。)	なし	事故時の措置命令	
有害大気汚染物質(指定物質)	ベンゼン (C ₆ H ₆) トリクロロエチレン (C ₂ HCl ₃) テトラクロロエチレン (C ₂ Cl ₄)	物の洗浄、乾燥	指定物質排出施設	環境基準		

(3) 大気汚染対策による効果

(7) 東京都でとられた固定発生源対策とその効果(二酸化硫黄、浮遊粉じん)を図7.2.1に示す。

(1) また、自動車排出ガス規制(一酸化炭素)とその効果を図7.2.2に示す

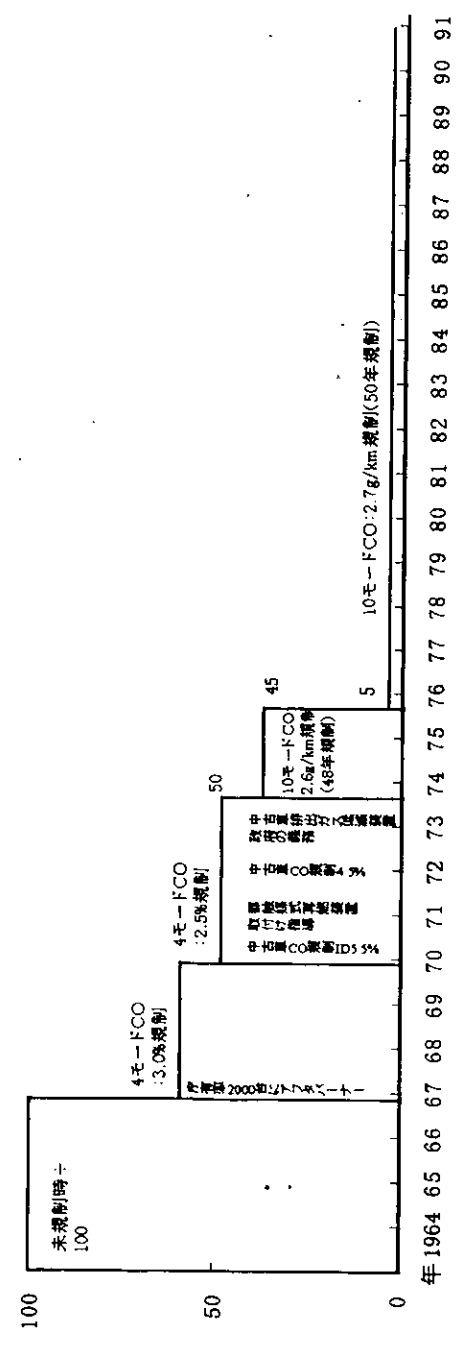
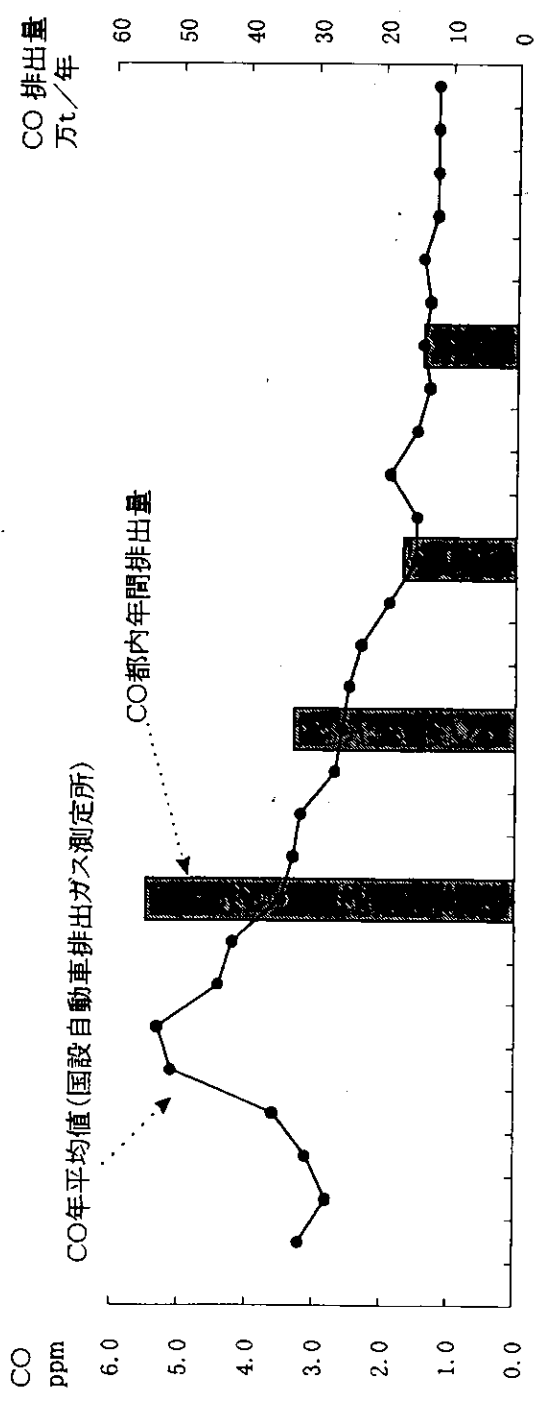


図 7.2.2 CO年平均値と自動車排出ガスCO規制の推移

7.3 良質燃料対策

7.3.1 はじめに

良質な燃料を使用することにより、大気汚染物質の生成を抑制し、削減しようとするものである。燃料の種類を転換してしまう方法（石炭焚きから重油かガス焚きに替える）。同一燃料の中でより良質な燃料を使う（硫黄含有率の高いものから低いものに切り替える）方法とが採用されている。

7.3.2 良質燃料対策の必要性

事務所ビルや商業ビルが集中し都市化の進んだ地域では、それぞれのビルのボイラが排出基準を守っていても、発生源が集中しているため高濃度汚染をもたらす。

このような密集化したビル街では、敷地も少なく、規模も小さいことなどから排煙脱硫装置の設置は困難である。そこで、このような地域に対しては、季節を限った燃料使用基準が有効となる。

7.3.3 大気汚染防止法による燃料使用基準

この基準は、次の二通りある。

- (1) 季節による規制：札幌、東京など14都市で燃料中の硫黄分を規制する。
- (2) 総量規制地域の規制：総量規制対象施設より小さい施設に対し規制しようとするもので、東京、大阪など24地域で、硫黄分0.3%以下の中から地域にあわせて規制する。

7.3.4 良質燃料使用による効果

- (1) 気体燃料（天然ガス、LPG等）
 - ア) 僅少な過剰空気で燃焼し、燃焼効率が高い。
 - イ) 硫黄分、灰分を含まないため硫黄酸化物、ばいじんの発生もない。
 - ウ) 窒素分を含まないため、FuelNOxの生成はない。（ただしThermalNOxには注意する必要がある）。
- (2) 液体燃料（重油、軽油、灯油等）
 - ア) 重質油ほどばいじんを発生するが、石炭に比べ、ばいじんの発生は少ない。
 - イ) 重質油は硫黄分、窒素分を含んでいるため、硫黄酸化物や窒素酸化物を発生する。この場合には、排煙脱硫や排煙脱硝が行われる。
 - ウ) 重油脱硫により、硫黄分を除去した低硫黄重油燃焼では、硫黄酸化物の発生は少ないし、窒素酸化物の発生も少ない。これは脱硫の際に窒素分も同時に除去されるためと考えられる。図7.3.1 重油中の硫黄分と窒素分の関係を参照されたい。

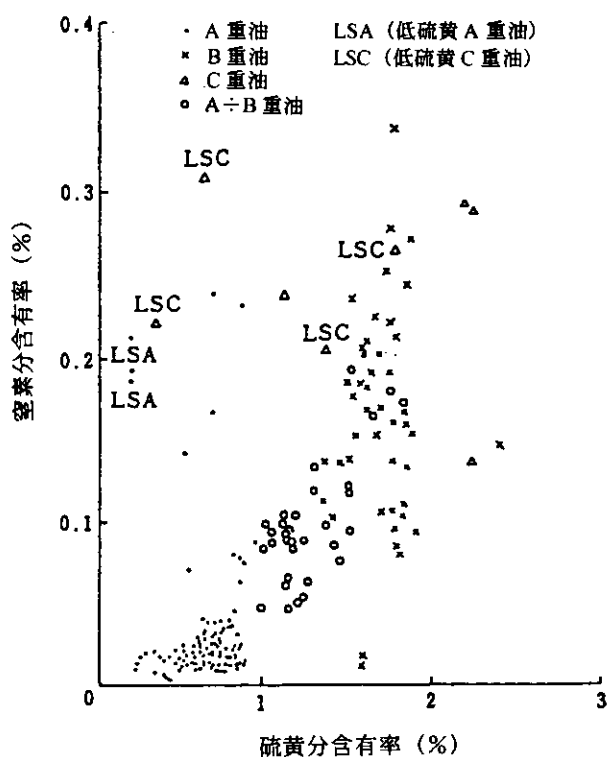


図 7.3.1 重油中の硫黄分と窒素分の関係

(3) 固体燃料（歴青炭、無煙炭、亜炭、コークス）

- 7) 灰分、硫黄分を多く含んでいるため、ばいじんや硫黄酸化物が多量に出る。
- 1) 窒素分も含んでいるため、窒素酸化物も出る。
- ウ) 燃焼管理が難しく、熟練を要する。
- エ) 大型燃焼施設では、微粉炭燃焼や流動層燃焼が行われ、排ガス処理でばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物を除去している。

7.3.5 良質燃料の供給

1967年より統計がとられ、その年の燃料中の硫黄分が2.5%であったものが1980年には1.33%と低減した。図7.3.2に硫黄分別に見た重油供給の推移と平均硫黄含有率の推移を示す。なお、現在は1.1%前後で推移している。

このようにして、1985年には二酸化硫黄の環境基準を国内全域で達成した。

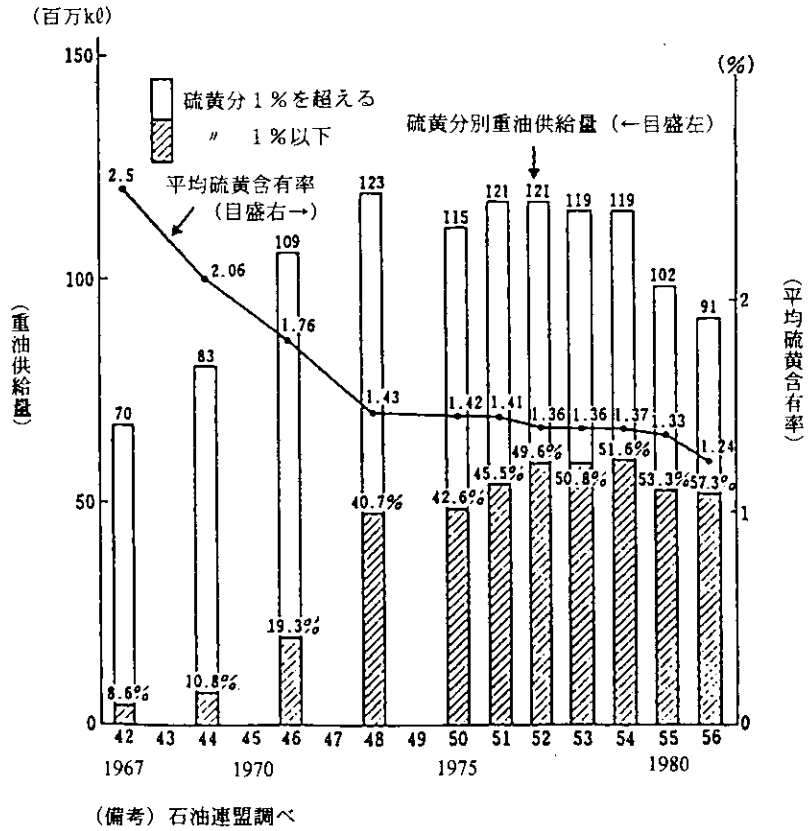


図 7.3.2 硫黄分別に見た重油供給の推移と平均硫黄含有率の推移

7.4 燃焼管理と省エネルギー

7.4.1 燃焼管理の意義¹⁾

燃焼管理とは燃焼装置の操業において、燃焼方法や設備管理を合理化し、燃焼効率の改善を図ることをいう。

石炭が主要燃料だった時代には、熱経済とすすの発生防止がその主要目的であったが、流体燃料の時代になると、自動燃焼制御が採用され燃焼設備の設計の良否が燃焼管理の重要な因子となった。

また、光化学スモッグ問題により、NO_x生成抑制をも考慮した燃焼管理が必要となり、燃料、燃焼装置、燃焼技術等の改善が進められた。

7.4.2 日本における燃焼管理と省エネルギーの動向

(1) 低空気比燃焼の採用

燃焼排ガス中の酸素濃度の測定及び制御が、過剰空気量を適切に制御し、完全燃焼を達成するとともに、排ガスによる熱損失を減少させることを目的に精力的に行われている。すなわち、炉内空気量を少なくすることにより過剰空気が持ち去る熱量を減らしている。原理的には、図7.4.1²⁾に示すように、空気不足に起因するCO、H₂等の未燃分発生による熱ロスと、過剰空気を加熱するに必要な熱ロスからなるトータル熱損失の極小点に相当する酸素濃度に燃焼を制御すれば、トータル熱損失は最小となる。しかし、現実には侵入空気の問題等により酸素制御目標値はこの極小点より高めにとっている。表7.4.1³⁾には各燃焼装置の標準空気比を示す。この数値を目標として、技術的に可能な範囲内で省エネルギーの合理化を図るべく低空気比燃焼を実施するよう操炉すべきである。

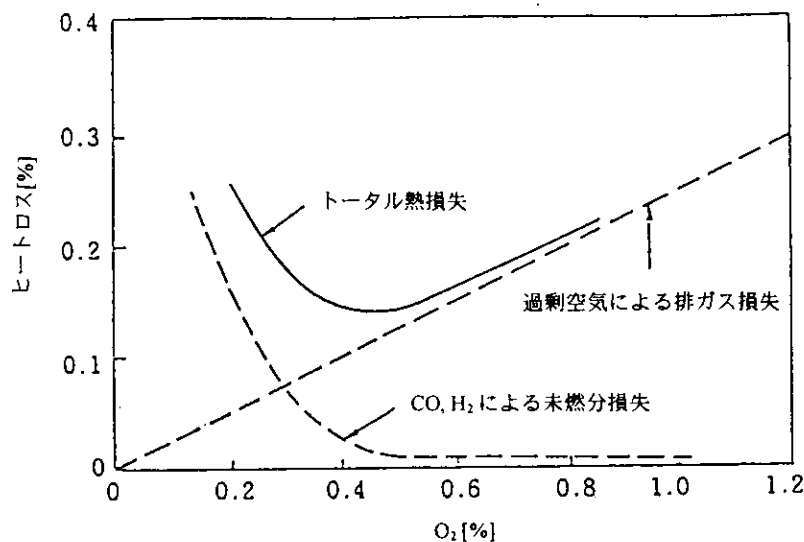


図 7.4.1 O₂濃度とトータル熱損失の関係

表 7.4.1 標準空気比

(1) ボイラ

区 分	負荷率 [%]	標準空気比			
		固体燃料	液体燃料	気体燃料	高炉ガスその他の副生ガス
電気事業用	75~100	1.2~1.3	1.05~1.1	1.05~1.1	1.2
その他	蒸発量が毎時 30 t を超えるもの	1.2~1.3	1.1~1.2	1.1~1.2	1.3
	蒸発量が毎時 10 t を超え 30 t 以下のもの	—	1.2~1.3	1.2~1.3	—
	蒸発量が毎時 10 t 以下のもの	—	1.3	1.3	—

(2) 工業炉

区 分	標準空気比
金属鑄造用溶解炉	1.3
連続鋼片加熱炉	1.25
連続鋼片加熱炉以外の金属加熱炉	1.3
連続熱処理炉	1.3
ガス発生炉およびガス加熱炉	1.4
石油加熱炉	1.4
熱分解炉および改質炉	1.3
セメント焼成炉	1.3
アルミナ焼成炉および石灰焼成炉	1.4
連続式ガラス溶解炉	1.3

低空気比燃焼を行うことにより排ガス熱損失が減少し、燃料消費量を節減できる。さらに、燃焼空気量、排ガス量が減少し、押込送風機（FDF）、誘因通風器（IDF）の動力も減少するので、動力費も節減できる。

この他、低空気比燃焼は次の対策にも効果があり、燃焼管理上、実行されている。

① NO_x対策

燃焼領域における酸素濃度を低くするので、NO_xの生成量を抑制できる。

② 低温腐食対策

低空気比燃焼を行うと、SO₂からSO₃への酸化反応が抑制され低温腐食の原因となるSO₃の発生割合を低下させる。

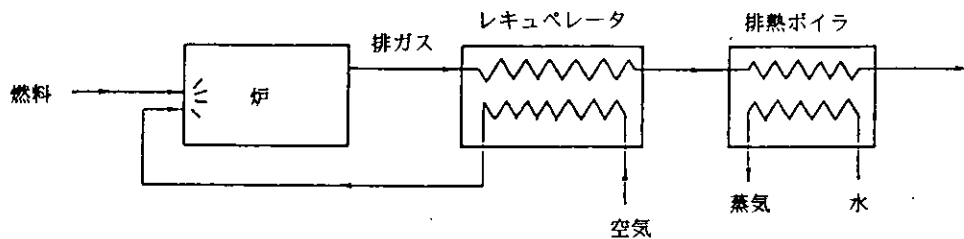
③ アシッドスマット対策

燃料の燃焼によって発生したすすが核となって、燃料中の硫黄から燃焼によって生成した硫酸をすす中に吸着し、燃焼ガスの露点温度付近で雪状に成長したものをアシッドスマットというが、低空気比燃焼を行えば、SO₃の生成が抑制され、硫酸の生成が抑制されるので、アシッドスマットの生成が少なくなる。

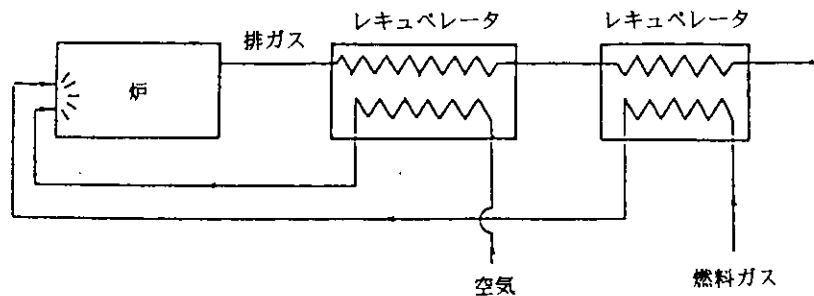
(2) 燃焼用空気・気体燃料の予熱

燃焼炉における最も手近で効果的な省エネルギー対策は、排熱による燃焼用空気及び燃料の予熱であるが、現在のところ、燃焼用空気を予熱することが多い。燃料の予熱は、熱分解や安全性の点から十分な配慮がなされた上で実施すべきで、特に液体燃料は最適霧化温度に予熱する以外、燃料節約を目的として予熱することはない。従って、省エネルギーの目的で燃料を予熱するのは気体燃料に限られる。

空気や気体燃料の予熱にはレキュベレータ（排熱回収用熱交換器）を用いる。レキュベレータは金属製あるいはタイル（セラミック）製で、隔壁を通じて排ガスの熱を空気あるいは気体燃料に伝えるものである。レキュベレータによる排熱回収の配列例を図 7.4.2⁴⁾ に示す。



(a) 燃焼用空気を予熱しさらに排熱ボイラで蒸気を発生する場合



(b) 燃焼用空気と燃料を予熱する場合

図 7.4.2 レキュベレータによる排熱回収の配置例

(3) 省エネルギーを巡る最近の動向

工業炉分野で省エネルギーに大いに貢献できる技術としてリジェネレイティブバーナーシステム⁵⁾が開発された。この技術は工業用加熱炉の排熱回収率が 80%以上という高効率の省エネルギー効果を有し、50%近い燃料節約率が達成される。また、高温予熱空気にも十分対応できる低 NO_x 燃焼技術として、FDI (Fuel Direct Injection) 燃焼も開発された。

火力発電分野では、出力規模の拡大と熱効率の改善に力が注がれているが、特に熱効率の改善は省エネルギーの他に、CO₂排出量を抑制する観点からも重要である。圧縮した空気中で燃料を燃やして燃

焼ガスを発生させ、その膨張力を利用して発電機を駆動するガスタービンと、ガスタービンから発生する余熱を利用して蒸気タービンを回転するコンバインドサイクル発電では 48～49%という従来の火力発電所を上回る高熱効率を実現している。また、石炭を燃料とする場合には、加圧流動層ボイラや石炭ガス複合発電などの新技術が実用化を目指している。

7.4.3 指摘課題

2度のオイルショックを契機として、日本では省エネルギーに対するたゆまぬ努力を続けてきたが、最近では CO₂ 対策として、さらなる熱効率の改善が求められている。一つのエネルギー源から2種類以上の有効な二次エネルギーを複合的に生産、供給するコージェネレーションシステムの採用もその一手段である。

開発途上国においては、一般的に平均熱効率は 30%程度であり、省エネルギーを実施できる余地は大きい。低空気比燃焼と排熱回収の実施をその対策としてまず実施すべきである。これによって、省エネルギーと同時にエネルギーコストの大幅な低減を果たすことができる。

7.5 工程管理

7.5.1 概説

大気汚染防止には、発生源における大気汚染物質発生量を減少することが肝要である。このため、防止装置を設置し汚染物質を回収したり、燃焼管理によって汚染物質発生量を低減している。そして、後者同様な考えで生産工程を合理的に管理し、大気汚染物質発生量を低減させることが可能である。生産工程には多くの種類が存在するので、以下実例で工程管理による大気汚染対策に関し紹介する。

7.5.2 作業場の清掃による方法

1960年代のことで、現在こんな例は、我が国で存在しないと思われるが、1月に1,400t程度の固体原料粉碎工程を稼働させた小規模工場が操業し、粉塵飛散で住民から苦情を申し立てられ問題になった。工場内の粉碎機からの粉塵が床に堆積して飛散し、その工場内空气中濃度は、粉碎機付近で50～500mg/m³であって工場内の見通しが悪化する状況だった。これを、堆積塵を清掃し目視的に粉塵飛散低下を認めた経験がある。清掃は工程管理上重要と思われる。

宅地造成、土地改良現場や土砂採掘現場では、多数のダンプ・トラックが、土砂の運搬にあたっておりその環境影響は注目されている。そして、輸送中にタイヤに付着した土砂が、粉塵飛散原因になって苦情の原因になった。また、積載している土砂の道路上落下も粉塵飛散の原因である。このため、現場から発車するダンプ・トラックを、浅い洗浄用池の中に入れてタイヤを洗浄し、積載土砂を被う等その落下防止につとめているケースがある。

7.5.3 工程内で使用する原燃料管理による方法

ガラス工場で原料に用いる粘土には、少量のフッ素を含む場合があり、ガラス熔融炉からのフッ化水素排出の原因になる。このため粘土の品質を管理してフッ素含有量の少ない粘土を原料に選び、フッ化水素排出量を低減すべきである。

さらに大型造船所での船体塗装工程における塗装器具の清掃現場で、使用済み有機溶剤を捨てたり、必要以上の量の溶剤を用いたり、使用方法が不合理だったので、使用量を減少させて有機溶剤揮発量を低減させた例がある。

燃料炭の硫黄含有率を混炭により管理して、燃焼の結果生成する灰の電気抵抗を適切に保ち、電気集塵装置の集塵率を高率に保っている例がある。

7.5.4 工程の維持管理強化による方法

揮発性有機化合物を大量に輸送するシステムの輸送管には、フランジ、バンド等の継ぎ手が多く調節バルブも多い。また、これを輸送するにはポンプやコンプレッサーも必要だが、これらにはパッキング部分は不可欠である。

とはいえ、この部分から場合によっては揮発性有機化合物が蒸発する。

例えば、ナフサ輸送システムのポンプから平均0.15 g/hの炭化水素が漏洩するというデータがあり、液体炭化水素輸送システムのバルブから0.031 g/hの炭化水素漏洩のデータがある¹⁾。

そして、この蒸発量はこれら施設の維持管理に関係するといわれている²⁾。大気汚染防止のため、これら工程では維持管理とくにパッキング部分のそれを強化することが望ましい。

7.5.5 工程改善による方法

ある半導体メーカーの下請け工場で、金属材料を多数の広口ビーカーに入れ、それぞれに濃硝酸を加えて加熱洗浄していた。大量の刺激性硝酸ガスが、建屋から大気中に排出して苦情原因となった。広口ビーカーを還流冷却管つきフラスコに代えるか、コニカルビーカーに代えて時計皿をビーカーの口に乗せ、硝酸蒸気を冷却凝結させたところ問題は解消し、硝酸消費量も減少した³⁾。

大型塗装施設で、塗装すべき金属部品のおおきさに関係なく塗装噴霧器の振り角度を保持して塗装していた。このため、小型金属部品の塗装には塗装無駄が多く、必要以上に塗料中有機溶剤が揮発した。そこで、金属部品の大きさを光センサーで検出し、その大きさに応じて噴霧器の振り角度を調節するよう工程管理システムを作り上げ、塗料使用量を削減して、有機溶剤揮発量を減少させた。塗装施設における有機溶剤含有塗料の噴霧塗装工程を、水性塗料や粉体塗料工程に変更すれば、有機溶剤揮発量は減少する⁴⁾。

7.5.6 工程の組合わせ合理化による方法

近接した2基のボイラーが片方は負荷不足で、片方は過負荷で稼働していたため、ともに相当の黒煙を排出した。そこで2基のボイラーの蒸気供給システムを連絡し、負荷調節してこの状況を改善した。

胡麻油の製造工程で、胡麻の臭が悪臭として苦情の対象になった。そこでその工場のボイラーの燃焼空気に胡麻油の製造工程排気を用いるよう工程を変更して苦情を解消することに成功した。

同様な考えに立てば、自動車製造工場の塗装工程のブース排気には、塗料中の有機溶剤を含んでいる⁴⁾。この排気を火力発電所の燃焼空気に用いるよう工程と工場立地を考慮すれば、有機溶剤をエネルギーに利用可能で、その揮発量を皆無にすることは可能である。

製鉄高炉とセメント焼成炉の立地を考慮して、高炉をセメント燃成炉に隣接させれば、高炉が副生するスラッグを水滓として容易にセメント工場に供給可能で、焼成したセメントクリンカーと倍量の高炉セメント製造が可能になり、セメント増産が図られ、焼成燃料原単位を削減出来る。

7.6 集塵装置

7.6.1 はじめに

集塵とは、処理ガス中に含まれる粒子を分離・捕集する操作をいう。集塵装置は、一般に生産プロセスの最終段階で用いられ、大気汚染防止装置と呼ばれているが、作業環境の保全、排ガスの浄化、有用粒子の回収、プロセスの高純度化など異なる目的を持って様々な分野で活用されている。通常、集塵の対象となるものには、燃焼過程から発生する煤塵のほか、粉碎等の機械的操作に伴って発生する粉塵もあり、これらは総称して「ダスト」と呼ばれる。ここでは、排ガス中ダストの最近の集塵技術について概説する。

7.6.2 日本における集塵技術の変移

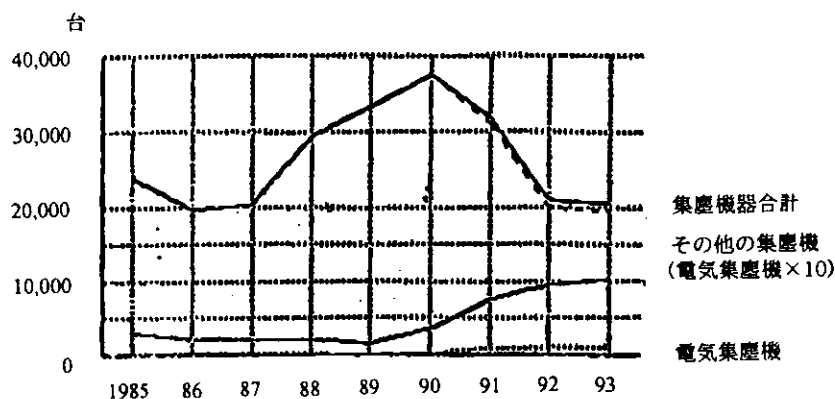
集塵技術は戦後大きく発展してきた技術であり、現在ではサブミクロンの微粒子までの分離・除去を可能とした技術である。大気汚染防止が重要視されるようになり、幾度となく煤塵の排出基準が強化され、それに呼応した形で集塵技術が向上した。集塵技術には原理的に分離捕集可能な粒子（とくに粒径）、集塵率などに制約がある^{1, 2)}。すなわち、従来はサイクロンなどの遠心力集塵装置やスクラバなどの洗浄集塵装置でダストの排出基準をクリアーできたが、現在の厳しい基準ではバグフィルタなどのろ過集塵装置や電気集塵装置（ESP:electrostatic precipitator）など高性能な装置を適用しなければならぬ状況となった。さらに、近年廃熱利用などによる省エネルギー効果を目指す高温高压技術として、セラミックフィルタや充填層フィルタなどの新しい高温集塵装置技術が登場するようになった^{3, 4, 5)}。

7.6.3 集塵装置の分類

集塵装置は、排ガス中からダストを分離してダストホップに捕集するため、重力、慣性力、熱力、拡散力、電気力などを、一つあるいは幾つかを同時に利用している。主体となる集塵作用力によって分類すると、1) 重力集塵装置、2) 慣性力集塵装置、3) 遠心力集塵装置（サイクロン）、4) 洗浄集塵装置（スクラバ）、5) ろ過集塵装置（バグフィルタ）及び6) 電気集塵装置（ESP）となる⁶⁾。表7.6.1はこれらの装置の主な特徴をまとめたもので、一般に、1)～3)の集塵装置は、高濃度ダストの前処理（一次集塵）や粗大ミストの分離捕集の目的として、4)～6)は排出基準を達成する目的で使用される。図7.6.1は我が国における集塵装置の生産台数の推移を表わしたもので、トータル台数は景気の動向を反映して1990年を頂点に減少しているが、数千台のESPとその他の集塵装置の中でバグフィルタが増加傾向にある。

表 7.6.1 各種集じん装置の実用範囲

分類名	形式	取り扱われる 粒度 (μm)	圧力損失 ($\text{mm H}_2\text{O}$)	集じん率 (%)	設備費	運転費
重力集じん装置	沈 降 室	1,000~50	10~15	40~60	小 程 度	小 程 度
慣性力集じん装置	ルーハー形	100~10	30~70	50~70	"	"
遠心力集じん装置	サイクロン形	100~3	50~150	85~95	中 程 度	中 程 度
洗浄集じん装置	ベンチュリースクラバー	100~0.1	300~900	80~95	"	大 程 度
音波集じん装置		100~0.1	60~100	80~95	中程度以上	中 程 度
ろ過集じん装置	バグフィルター	20~0.1	100~200	90~99	"	中程度以上
電気集じん装置		20~0.05	10~20	90~99.9	大 程 度	小~中程度



出典：通産省：「機械統計年報」

図 7.6.1 集塵機器の生産台数の推移

7.6.4 新技術の開発

(1) ろ過集塵技術

①セラミックフィルタ⁹⁾

セラミックフィルタは、300~1,300℃、数気圧~10気圧以上といった高温高压排ガス中のダストの集塵のため、シリカ、アルミナ、ジルコニア、シリコンカーバイドなどを基盤材質にしている。形状は織布製や不織布製、多孔性の円筒型、またろ過面積を非常に大きくとることができる図 7.6.2 に示すような十字流型 (cross flow) などがある。装置は極めてコンパクトとなる利点があるが、ダストの払い落とし特性、ダストの目詰まりによる圧力損失の増大、寿命などの点で課題が残されている。

②粒子充填層フィルタ

粒子捕集機構として、慣性力、拡散力、遮り力、重力の他、高温排ガスと移動する充填層粒子との温度差に伴う熱力 (熱泳動力) が働く。高温高压集塵のために開発された装置で、ろ過材として数 mm

程度の砂、砂利、セラミックなどの粒状物を用い、500℃程度の高温排ガスに適応される。集塵率は粒径は1 μm程度のダストに対して約93%、圧力損失は従来のバグフィルタと同程度とされている。

③エレクトレットフィルタ¹⁰⁾

これまでのフィルタの機械的粒子捕集機構において粒子の捕集に有効に作用しない0.1 μm付近の粒径がある。半永久的に分極した電荷をもつ繊維からなるエレクトレットフィルタでは、機械的粒子捕集機構に加えて、無帯電粒子では誘気力、帯電粒子では電気力（クーロン力）と誘気力が作用するので、この粒径範囲の粒子でも効率よく捕集できるうえ、従来のフィルタと同じ圧力損失でその他の粒径の粒子をも高効率で捕集できる。圧力損失が低く高集塵率が実現できる省エネルギー型のフィルタといえる。

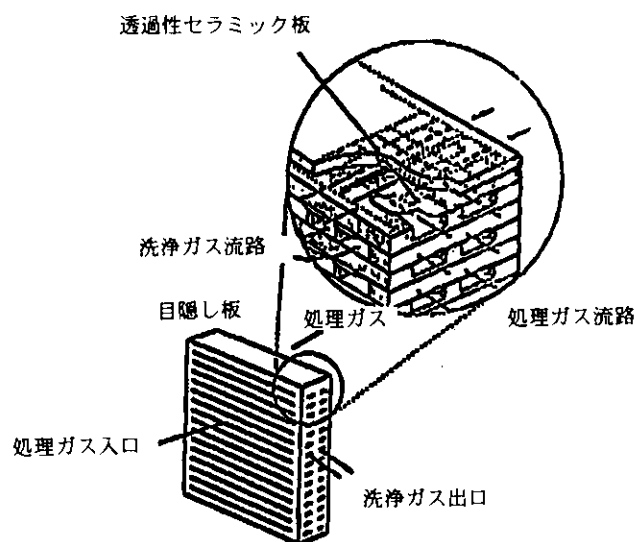


図 7.6.2 セラミック製十字流フィルタの形状

(2) 電気集塵技術

①パルス荷電型

電気集塵装置においてとくに問題になることは、石炭燃焼ダストのような高電気抵抗ダストの捕集で、逆コロナや逆電離現象が生じ、集塵率を著しく低下することである。この対策の一つとして開発されたものが、パルス荷電型 ESP である。従来の ESP は直流高電圧を採用しているが、この装置ではパルス高電圧を用いる。パルス荷電ではコロナ電流の分布が均一であり、かつパルス頻度の調整により印加電圧を下げずにコロナ電流の広範囲な設定ができるので、高電気抵抗ダストに応じて、逆コロナが生じないコロナ電流で適宜運転でき、安定した集塵、消費電力の削減など省エネが期待できる。

②移動電極型

図 7.6.3 に示すように、集塵極を常時移動させて集塵面を清浄に保つことによって、集塵極の付着ダスト層に形成される電界をできるだけ小さくし、逆電離現象を抑制する。電極は上から下にゆっくり

りと移動し、付着したダストは下部の非電界域において回転ブラシによって剥離され、電極の清浄化を図っている。

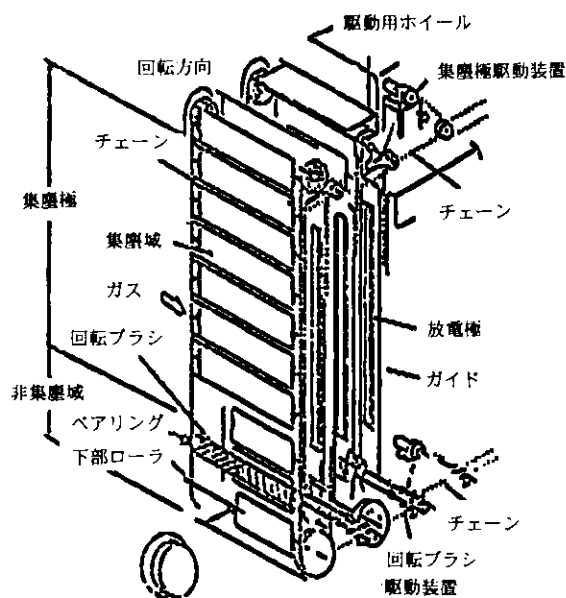


図 7.6.3 移動電極型電気集塵装置の構造

③高流速湿式型¹¹⁾

図 7.6.4 に示すように、放電極を挟んで隣り合った集塵極の間隔、すなわち集塵極間隔を狭めて処理ガスの流速を速め、装置の小型化を図ったものである。基本処理ガス流速を従来 (2~3 m/s) の 2 倍以上とし、放電電流密度を従来 (0.3 mA/m²) の数倍以上にすることによって、集塵面積を 1/2 以下と大幅に縮小している。

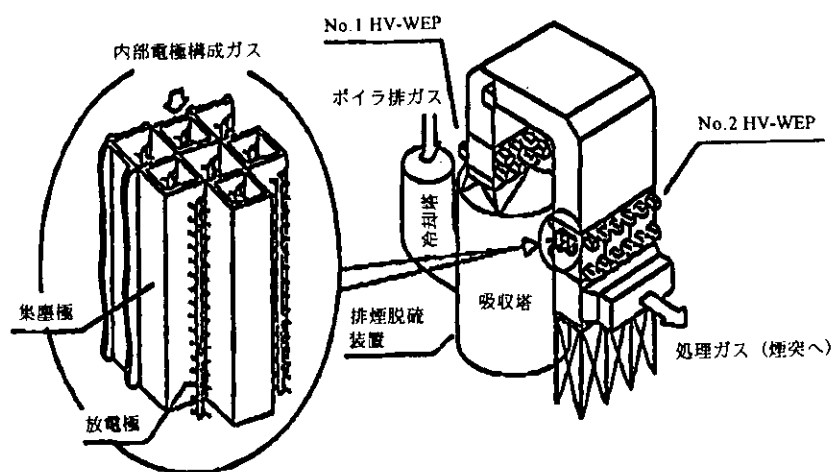


図 7.6.4 高流速湿式電気集塵装置の概要

7.6.5 おわりに

各種集塵装置の特徴を比較したものは、上記の表 7.6.1 に示した。これらの装置の選択は、発生するばい煙の性状、装置の特性、設備費、経済性などを十分考慮して決定する必要がある。新しい集塵技術は日進月歩で、上述の他にも多数あるが、ここにあげた参考文献や関連工業規格などを参照されたし。

我が国の集塵技術は世界的に見てかなりの高い技術レベルに達しているが、今後も新たなる技術開発が重要で、より高性能化を図りつつ、省エネルギー型あるいは省資源型といった集塵技術の確立を期待したい。また、環境保全の観点から膨大に発生する集塵ダストの減容化や再資源化についても併せて検討する必要があるだろう。

7.7 排煙脱硫装置と副生品

わが国では、排煙脱硫装置が、1970年代に入って急速に普及しはじめ、平成6年の環境庁の集計では、設置基数2,196基、総処理ガス流量2億2,000万 m^3/h に及んでいる。

排煙脱硫の方式は、湿式法と乾式法に大別され、現在設置されている大部分が湿式法である。湿式法は脱硫率がよく、負荷変動に対しても安定な脱硫成績が得られ、技術的に確立された方法である。電気事業用の石炭火力など発電ボイラー用の大容量には石灰-石こう法、一般産業用の自家発電ボイラー用には水酸化マグネシウム法が主に普及している。

表7.7.1に稼働中、開発中の各種排煙脱硫法とその副生品を挙げる。

主な脱硫プロセスについて、特徴とその副生品について以下に示す。

表7.7.1 脱硫プロセスと副生品

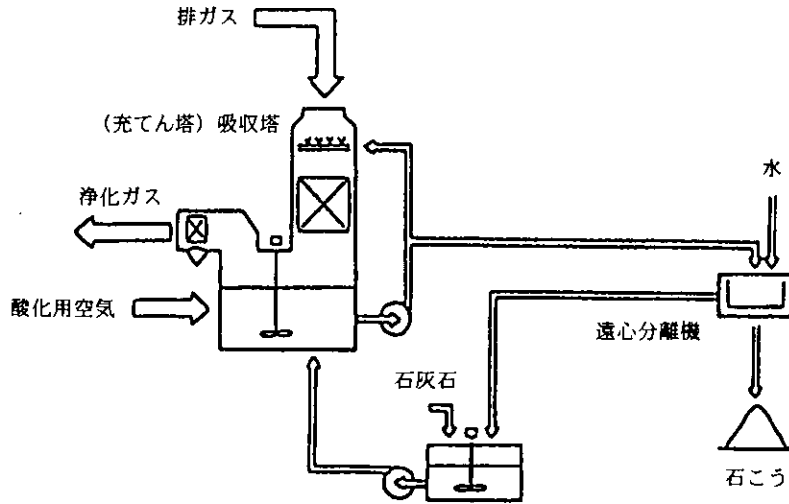
プロセス	吸収剤	副生品	用途
石灰石こう法	石灰石 消石灰	石こう	石こうボード セメント
水マグ法	水酸化マグネシウム	硫酸マグネシウム	放流
アンモニア法	アンモニア	硫安	肥料
電子ビーム法	アンモニア	硫安	肥料
ソーダ法	水酸化ナトリウム	亜硫酸ソーダ ボウ硝	パルプ蒸解剤 化学薬品
簡易脱硫法	石灰石、消石灰	石こう + 石炭灰	土壌改良剤 路盤剤

7.7.1 各種脱硫法

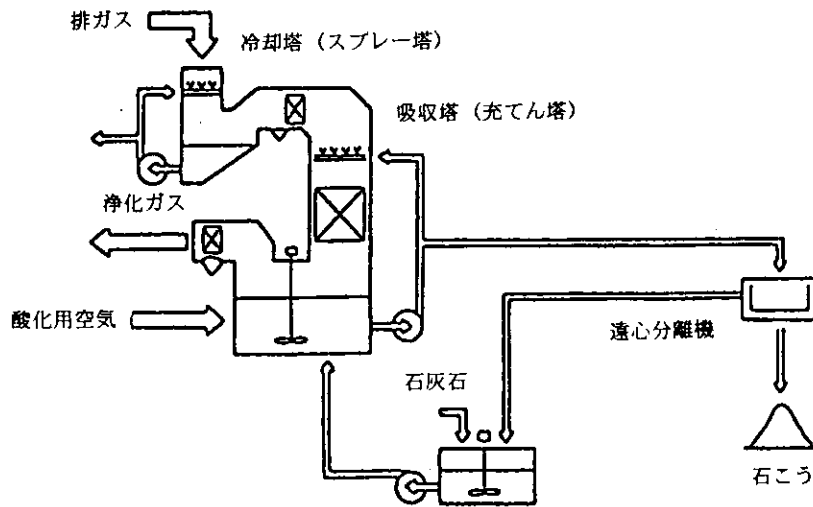
(1) 石灰-石こう法

石灰石や消石灰の微粉をスラリー液として SO_2 を吸収し、石こうを副生する。石灰石や消石灰の溶解度が低く、吸収塔内に石こうが固着するトラブル（スケーリングトラブル）が当初発生したが、この対策もほぼ解決されて、大型の排煙脱硫装置の主流となっている。基本的なプロセスは、排ガスを冷却し、吸収塔で SO_2 を吸収し、生成する亜硫酸カルシウムを、酸化塔で空気酸化し、石こうとして回収する方式（2塔式）である。最近では、冷却、吸収、酸化を一塔で行う方式が多く採用されている。図7.7.1に示すように、冷却塔は条件によって別に設置することもある。

この一塔方式は、吸収された SO_2 が吸収塔内で直ちに酸化されて石こうとなるため、液中の SO_2 分圧が小さくなり、一旦吸収した SO_2 の再離散が少なくなり、吸収液のpHが4.5～5程度の低い領域でも SO_2 の吸収反応は進行することになる。また、この一塔方式の利点は、排水中のCOD起因物質の生成が少なくなり、排水処理施設も軽減できる特長がある。石こう純度は冷却塔、酸化塔を別に設置する2塔方式に比べるとやや低下するが、設備費は従来の方法の50～60%程度に低減できる。



(a) 吸収-酸化-塔方式 (スート混合-塔方式)

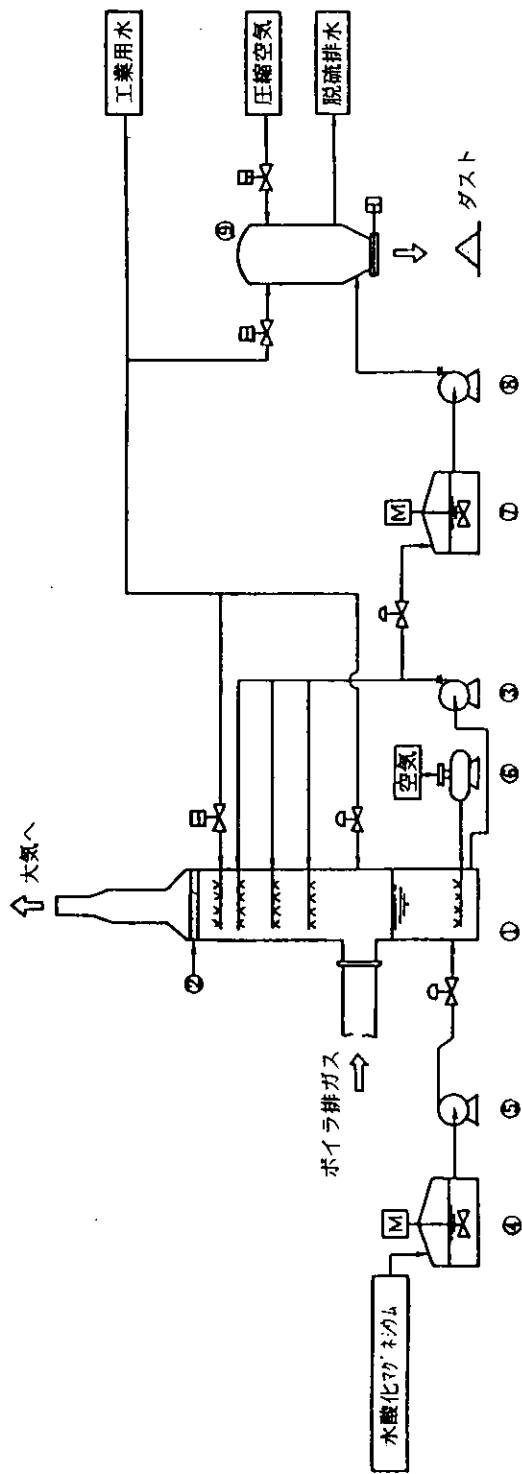


(b) 冷却塔設置方式 (スート分離二塔方式)

図 7.7.1 石灰石-石こう法の標準的プロセス²⁾

冷却塔の設置は、排ガスの性状や回収する石こうの純度などを考慮して決められるが、冷却塔を設置した場合、石こう純度 95%以上、除塵率 90%以上で、副生石こうを回収利用する面では有利である。反面、設備費がかかり、排水量、汚泥量を増加することになる。

吸収装置は、圧力損失の小さい装置の充填塔やスプレイ塔が多く、もれ柵式装置、ジェットバブリング装置 (図 7.7.2) なども用いられている。



- (注) ①：吸収塔 ④：水酸化マグネシウムタンク ⑦：フィルタ供給タンク
 ②：ミストエリミネータ ⑤：水酸化マグネシウムポンプ ⑧：フィルタ供給ポンプ
 ③：吸収塔循環ポンプ ⑥：酸化空気ブロワ ⑨：フィルタ

図 7.7.3 水マグ法脱硫装置同時脱硫酸化方式フローシート⁴⁾

(4-2) 電子線照射による脱硫法

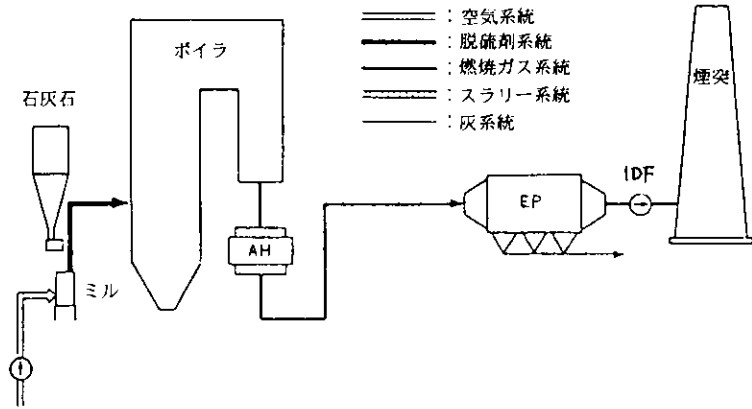
このプロセスは排ガスを 70~90℃に冷却し、アンモニアを注入するとともに電子線を照射し、排ガス中の SO₂ と NO_x を硫酸と硝酸の肥料にして集塵装置で回収する脱硫脱硝方式である。このプロセスは、日本で開発され、米国と独国で実証試験が行われているが、まだ実用には至っていない。このプロセスの特徴は副生物が肥料で廃棄物がなく、排水が無いことなどが挙げられる。今後、大型電子線照射装置が製作され、消費電力が低下すれば、肥料など資源の活用の点からも期待される方法である。

(5) 乾式、半乾式法

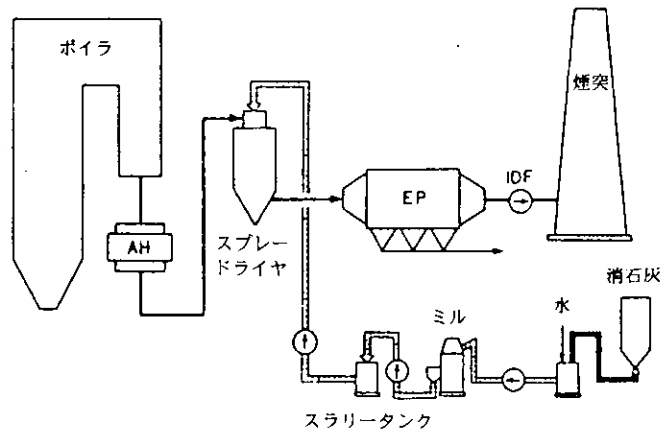
脱硫率はやや低いが、コストの低廉な簡易脱硫法として乾式あるいは半乾式法が開発されている。①石灰石を 900~1,200℃の炉内に吹き込み SO₂ を吸収させる方法、②消石灰スラリーを煙道内に噴霧し SO₂ 吸収し副生物をダストと共に集塵装置で回収する方法の二方式がある。いずれの方式もその後で水をスプレーする方式や集塵装置で回収した吸収剤の未反応成分を含むダストを吸収剤として再循環する方法などがある（図 7.7.4）。設備が簡単である反面、吸収剤の反応率が低いこと、副産物の利用価値が低く、その廃棄が可能な地域に限定されている。

(6) 活性炭による脱硫法

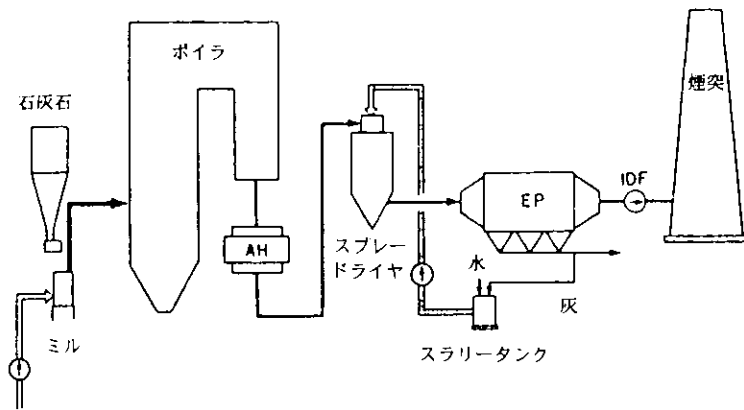
日本とドイツで開発が進められており、活性炭を二段に分け、前段で SO₂ を吸着し、後段でアンモニアを注入して活性炭を脱硝触媒とし NO_x を窒素にする脱硫脱硝法である。吸着した SO₂ は硫黄または硫酸として回収する。活性炭プロセスは他の湿式プロセスと比べ建設費は低いが、運転費は高い。



(a) 炉内脱硫



(b) 半乾式脱硫



(c) ダスト再循環半乾式脱硫システム

図 7.7.4 簡易・乾式、半乾式脱硫⁵⁾

7.7.2 排煙脱硫の今後の動向

大容量の排煙脱硫が石灰-石こう法であることは当分変わらないと考えられる。今後は、排水設備も含めた設備のコンパクト化、国内では硫黄分の少ない石炭を燃焼する機会が多く、出口濃度レベルの低減化、脱硫率の向上が要求される。省エネルギー対策としては、排熱利用、白煙防止の排ガスの再加熱方法の検討などである。排水処理設備の低減として、無廃水法が検討されている。排ガスの熱を利用し排水を蒸発させ排水中の固形分を集塵器で捕集する方式と廃液を電気透析法で固液分離する方式が開発されている。

発展途上国でも、排煙脱硫装置の設置も増加するとみられるが、脱硫性能を犠牲にしても安価な設備を望む傾向がある。硫黄や硫酸あるいは直接に肥料を副生するプロセスはいずれも設備費が高価である。石灰石、消石灰を用いる乾式法、半乾式法の簡易式脱硫プロセスでは、副生物が石炭灰との混合物として回収されるため、今後、この混合物の有効利用についての検討が重要な課題となる。

7.8 燃焼改善による NOx 対策

7.8.1 はじめに

窒素酸化物 (NOx) の排出防止技術には、NOx 抑制技術 (低 NOx 燃焼技術) と排煙脱硝技術とがあり、ほとんどの燃焼装置で実用化されている。燃焼改善による NOx 対策としては、低 NOx バーナ・二段燃焼法・排ガス再循環が主として採用されており、さらに炉内脱硝法も大型ボイラで適用されている。

7.8.2 日本における燃焼改善による NOx 対策の歴史

NOx はそれ自体で人の健康に悪影響を及ぼすばかりでなく、1970 年夏に起こった立正高校事件以来、近年多発傾向にある光化学オキシタンドの原因物質の一つでもあるとされ、その発生源である固定燃焼装置、自動車等で種々の対策が採用されている。

環境庁は 1973 年 5 月に NO₂ の環境基準を設定したが (1 時間値の 24 時間平均値が 0.02 ppm 以下)、その後、1978 年 7 月に 1 時間値の 1 日平均が 0.04~0.06 ppm のゾーン内、またはそれ以下とするように改訂した。

この環境基準を達成すべく、環境庁はばい煙発生施設を対象とする NOx 排出基準を 1973 年 8 月に設定し (第 1 次規制)、その後 1975 年 12 月 (第 2 次規制)、1977 年 6 月 (第 3 次規制)、1979 年 8 月 (第 4 次規制)、1983 年 9 月 (第 5 次規制) と逐次、強化拡充が行われてきた。

これらに沿って、低 NOx 燃焼技術の開発は各方面で精力的に進められてきた。当初は二段燃焼法が代表的な低 NOx 燃焼技術だったが、その後低 NOx バーナが各メーカーで開発され、さらに改良型低 NOx バーナ、炉内脱硝法等が開発され、実用化されている。

その結果、現在では、燃焼改善によって排ガス中 NOx 濃度を 60~70% 程度減少させ、ボイラの場合、NOx 濃度を石炭燃焼で 200 ppm、重油燃焼で 100 ppm、ガス燃焼で 50 ppm 程度まで下げることが可能である。低減費用は排煙脱硝の 1/10 程度である¹⁾。

7.8.3 日本における低 NOx 燃焼技術

(1) 燃焼過程における NOx の生成

燃焼に伴って発生する窒素酸化物は大部分が NO であり、NO₂ は少ない。NO は大気中で酸化されて NO₂ になる。NO と NO₂ を併せて NOx と呼ぶが、燃焼用空気中の N₂ と O₂ が高温状態において反応して生成する thermal NOx と、燃料中の N 分が燃焼中に酸化されて生成する fuel NOx とに区別される。

thermal NOx は①燃焼温度が高いほど、②燃焼領域での酸素濃度が高いほど、③高温域での燃焼ガスの滞留時間が長いほど、多量に発生する。また、fuel NOx は燃焼領域での酸素濃度が高いほど多く発生する。

(2) 低 NOx 燃焼技術

工業用の燃焼装置において NOx の排出量を減らすには、上述した NOx の生成機構の逆の原理に従っ

てNOxの生成を抑制するか、生成したNOxを排ガスから除去する排煙脱硝を行えばよい。図7.8.1は発電用ボイラに、NOx抑制技術及び排煙脱硝技術を適用した場合を図示したものである。

NOx発生量を低減するには、まず燃焼管理によるNOx低減対策を実施すべきである。低空気比燃焼の実施、炉内への空気の侵入の防止のほか、加熱プロセスや装置全体のバランスを考えて必要以上に炉内温度、火炉負荷、予熱空気温度を上げないことが重要である。

燃焼改善によるNOx対策には以下のようなものがある。

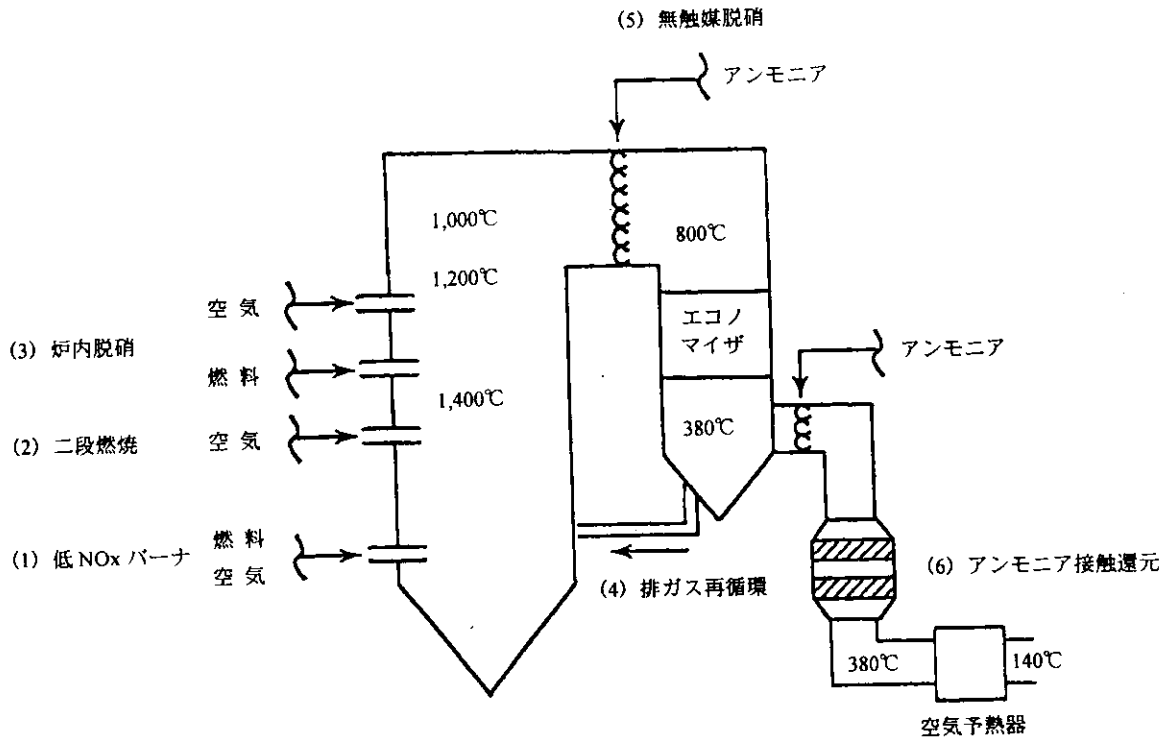


図7.8.1 発電用ボイラにおけるNOx低減技術

①低NOxバーナの使用

低NOxバーナの使用は、設備費が比較的安く、NOx低減効果が大いことから、現在NOx対策の主流となっている。酸素濃度の低減、火炎温度の低下、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、あるいはその組合せを、バーナに取り入れることによってNOxの低減を図るもので、(7)急速燃焼型 (イ) 分割火炎型 (ウ) 自己再循環型 (エ) 段階的燃焼型等の低NOxバーナが開発されている。特にthermal NOx, fuel NOxの両者に対して効果があり、NOx低減率の大きい段階的燃焼型が多く使用されている。

②二段燃焼法

燃焼用空気を二段に分けて供給し、第1段階では理論空気量の80~90%程度に、供給する空気量を制限し、第2段階で不足の空気を補って供給し、系全体で完全燃焼させる。第1段階の還元域の形成により、火炎温度の低下と酸素濃度の低下によってNOxの生成を抑制する。ほとんどすべての大型ボイラでは本方式を採用している。

③炉内脱硝法

本方式は炭化水素燃料がNO_xを還元することを利用し、主燃料の一部をバイパスさせて脱硝用燃料として用い、脱硝反応もすべて炉内で完了させるもので、リバーニング法、三段燃焼法と呼ばれているものもこの方式に属する。NO_xの40～50%を低減し、他の燃焼改善法と組合せれば80%程度の低減ができる。ただし、炉の高さ（長さ）がやや大きくなるので、既存の炉には適用し難い場合が多い¹⁾。

④排ガス再循環

図 7.8.1 に示すように、燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に混入して燃焼させ、火炎温度の低下によってNO_xの低減を図るものである。排ガス循環率は安定燃焼限界から制限を受けるが、通常10～20%である。

(3) 低NO_x燃焼技術の最近の動向

オイルショック後の微粉炭燃焼ボイラの増加により、多くのメーカーが微粉炭燃焼用低NO_xバーナの開発を精力的に進めてきた。PMバーナは供給微粉炭を分配器で高濃度と低濃度の微粉炭流に分けて供給し、炉内で燃料過剰及び希薄火炎を形成させるものである。燃料過剰火炎の上下には拡散混合を遅延させるため、排ガスを投入し、バーナ1次燃焼域に強い還元炎を形成させて、低NO_x化を図っている。NO_xはバーナ自身で200 ppm程度まで低減させ、二段階燃焼との組合せにより100 ppm程度になると報告されている²⁾。

炉内脱硝法においてもアドバンストMACT法や拡大還元燃焼法（INPACT法）に見られるように、バーナとオーバーファイアエアポート（OAP）までの滞留時間を大きくとり、その中間にも二段燃焼用のインタステージエアポート（IAP）を設け、いわゆる多数燃焼とし、NO_x低減を図っている。

また、高温空気予熱燃焼用のNO_x対策としてFDI（Fuel Direct Injection）バーナシステム³⁾が開発された。FDIは燃料の自己着火温度を上回る高温の炉内に、ある離隔距離をおいて燃料と空気を別々に高速で直接噴射し、炉内で燃焼させた方式である。これによると、それぞれの噴流には炉内ガスが十分に混合される（自己排ガス再循環効果）と、燃料と燃焼用空気の炉内での流れが平行に近いと、急速な混合は起こらない（緩慢燃焼効果）。この二つの効果で、火炎温度に高温のピークが発生することを抑え、NO_x排出量を1/10程度に低減する。

7.8.4 指摘課題

燃焼改善によるNO_x対策は、排煙脱硝法と比較し、NO_x低下率は劣るものの、低減コストは排煙脱硝法の1/10程度である。たとえば、排煙脱硝法を採用せざるを得ないにしても、まず燃焼改善でNO_xを減らしてから排煙処理を行う方が、アンモニアの使用量削減等によりコスト的に有利となる。また、燃焼装置によっては、排煙脱硝装置を付設する場所に余裕が無い場合もある。酸性雨問題の顕在化により、途上国の排煙処理は現在SO_x対策が中心となっているが、NO_xの排出も必ず大きな問題となるであろう。燃焼改善によるNO_x対策は途上国で早急に実用化されるべきであり、それもエネルギーロスの少ない方法が望まれる。

7.9 排ガス脱硝装置

7.9.1 はじめに

日本における窒素酸化物（NO_x）による大気汚染は、低NO_x燃焼及び排煙脱硝によって改善された。

7.9.2 日本における排煙脱硝技術の歴史

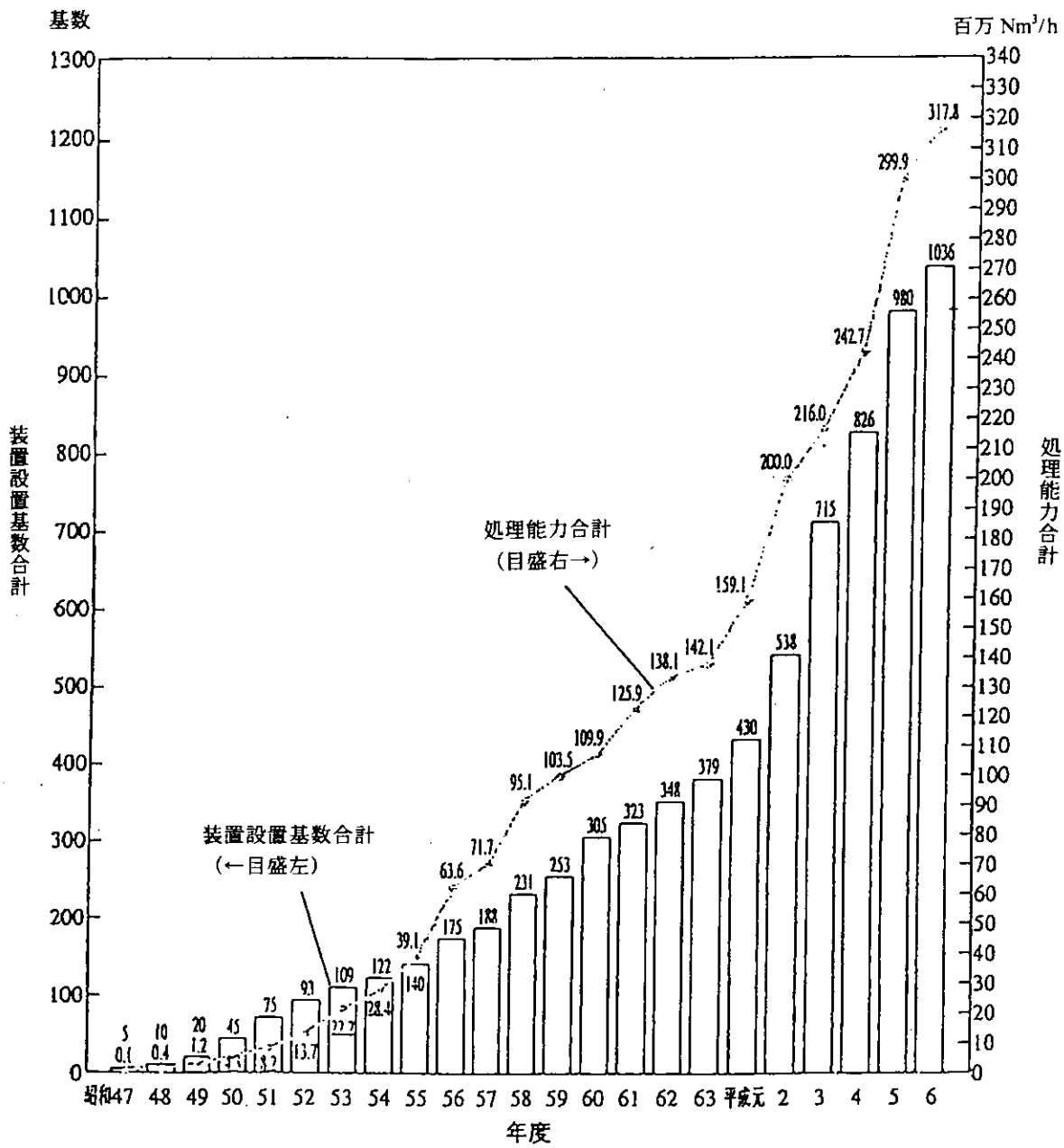
前述のように1970年に東京で発生した立正高校での光化学スモッグ禍を契機に、NO_xは大気汚染物質として注目をあび、低NO_x燃焼技術とともに排煙脱硝技術の研究も開始された。

当初は乾式法として、接触分解法、接触酸化法、非選択接触還元法、湿式法として、直接吸収法、酸化吸収法、液相吸収還元法、錯塩生成吸収法などが研究されたが、NOは反応に乏しく、これらの方法は結局実用化の段階に入らなかった。実用化（実証試験段階を含む）された排煙脱硝プロセスを表7.9.1¹⁾に示す。我が国で実用化されているものの大部分が乾式であり、乾式のなかでもアンモニア接触還元法が最も多く、処理能力で全体の約90%以上を占めてる²⁾。また、最近になって同時脱硫、脱硝が可能で排煙処理システムについても、精力的に実証試験が行われ、その技術開発が進んでいる。

表 7.9.1 脱硝プロセス一覧表

	反 応 剤	方 法	実用化の状況	
乾 式	アンモニア接触還元法	NH ₃ , (NH ₂) ₂ CO	触媒を用いてアンモニアとNO _x を反応させ、無害な窒素(N ₂)と水蒸気(H ₂ O)に分解させる方法。	ボイラ、ガスタービン、ディーゼル、ごみ焼却炉、加熱炉等に適用されており、現在実用化されている脱硝装置の90%以上を占めている。
	無触媒還元法	NH ₃ , (NH ₂) ₂ CO	アンモニアを還元剤として排ガス中に吹込み、気相無触媒でNO _x をN ₂ に還元する。	石油加熱炉、ごみ焼却炉等に採用実績があるが、脱硝率が低く、未反応還元剤も多いので適用先は少ない。
	活性炭法 (同時脱硫・脱硝法)	NH ₃	活性炭(または活性コークス)により排ガスのSO _x を吸着し、NO _x は活性炭(活性コークス)の触媒作用により、NH ₃ でN ₂ に分解させる同時脱硫脱硝法。	ボイラ、焼却炉等に数基採用されている。事業用流動層ボイラの同時脱硫・脱硝装置として活性コークス法が実用化されている。
	電子線照射法 (同時脱硫・脱硝法)	NH ₃	排ガスにNH ₃ を加え、電子ビームを照射してSO _x を硫酸に、NO _x を硝酸とする同時脱硫脱硝法。	米国、ドイツ等で長く実証試験が行われており、日本においても実証試験が実施されている。ボイラ、焼却炉等への適用が期待される。
湿 式	酸化還元法	O ₃ , ClO ₂ , Na ₂ SO ₃	NOをオゾンまたは二酸化塩素で強化し、ソーダ溶液に吸着させる方法。	比較的小型のボイラや加熱炉に数基採用されている。酸化剤として使用されるオゾン、二酸化塩素等が高価なため、大型装置への適用は難しい。

図7.9.1³⁾に示すように、排煙脱硝装置は、1972年頃から設置され始め、1994年度末には1036基が稼働中である。なお、総排ガス処理能力は3億1780万m³N/hであり、排煙脱硫装置のそれを上回っている。



注：昭和57年までは当該年度の1月1日現在の数値であり、昭和58年以降は当該年度の3月31日現在の数値である。

(資料) 環境庁

図 7.9.1 年度別排煙脱硝装置届出状況

7.9.3 日本における排煙脱硝技術の最近の動向

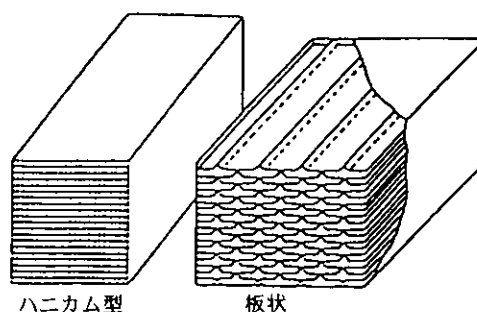
(1) アンモニア接触還元法

排ガス中に NH₃ を注入し、触媒の作用によりガス中の NO_x を N₂ と H₂O とに分解するものであり、その基本反応は (1)、(2) 式のとおりである。



現在用いられている触媒は SO_x による被毒の少ない TiO₂ を担体とし、V₂O₅、WO₃ 等を活性体とするもので、用途に応じて様々な成分配合のものが使用されている。触媒形状は圧力損失を少なくするために、ハニカム状または板状の並行流型が主に用いられている。(図 7.9.2⁴⁾ 参照)

これまでの技術開発により、アンモニア接触還元法による脱硝装置は安定した自動運転ができるようになり、発電ボイラ、ディーゼルエンジン、ガスタービン、ごみ焼却炉などに広く採用され、現在の脱硝装置の主流となっている。



ハニカムに通常 150 mm × 150 mm で長さは 500-1000 mm、板状の寸法はさまざま

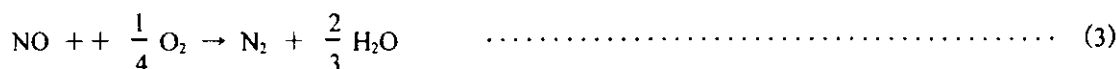
図 7.9.2 代表的な触媒の形状

安藤淳平：世界の排煙浄化技術、石炭技術研究所、141 (1990)

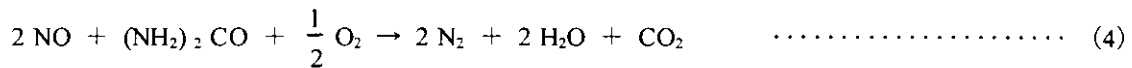
(2) 無触媒還元法

本法は NO_x と O₂ が共存する燃焼排ガスの 800~1,000℃ の温度域に還元脱硝剤としてアンモニアまたは尿素水などを吹き込むと、NO を選択的に還元するという原理に基づいたものである。基本反応は (3)、(4) 式のとおりである。

・アンモニアの場合



・尿素水の場合



反応式で明らかなように、無触媒還元法を行うためには燃焼ガス中の酸素が不可欠である。しかし、共存酸素濃度が1%を越えると、900℃付近からアンモニアの酸化によるNOの副生が多くなるため、脱硝率はある濃度で極大値を示すことになる。

本方式はボイラ、ごみ焼却炉などで使用されているが、脱硝率は30～40%とあまり高くない。特に、ごみ焼却炉ではNO_x濃度の最高ピーク時における低減対策として使用されることが多い。

(3) 同時脱硫・脱硝技術⁵⁾

排煙処理技術として、脱硫については湿式石灰石-石膏法が、脱硝についてはアンモニア接触還元法がすでに技術的に確立し、実用化されている。しかし、湿式石灰石-石膏法においては多量の用水を必要とすることや、アンモニア接触還元法においては触媒寿命やリークアンモニアによる後段機器の閉塞への対策が必要であることから、乾式同時脱硫・脱硝技術の開発が鋭意推進されている。

① 活性炭法⁶⁾

本プロセスは活性炭（または活性コークス）により排ガス中のSO_xを吸着し、NO_xは活性炭の触媒作用によりNH₃でN₂に分解させる同時脱硫・脱硝技術である。焼却炉に数基採用されている他、1995年に運転開始した電源開発竹原火力発電所の流動層ボイラ（350MW）の脱硝装置として稼働している。

本プロセスにおいて、排ガス中のSO_xは脱硫塔の活性炭により容易に吸着され、硫酸あるいは硫酸アンモニウム（以下「硫安」と略記する）（アンモニアを注入した場合）の形で捕捉される。しかし、活性炭の吸着能力には限界があり、再生が必要となるため、活性炭は移動層とし、再生系で再生を行いながら循環使用する。

また、活性炭は、アンモニア接触還元法で使われている金属触媒と同じく、アンモニア存在下で還元分解する触媒として働く。また、活性炭表面の還元物質による脱硝反応や、吸着によるNO_x除去能力もあると考えられる。

② 電子線照射法⁷⁾

本技術は、排ガスにNH₃を加え、電子ビームを照射してSO_xを硫安に、NO_xを硝酸アンモニウム（以下「硝安」と略記する）とする同時脱硫・脱硝プロセスであり、石炭火力発電用ボイラの実証試験を終え、実用化直前の段階にある。

約130℃の排ガスは、まず乾式電気集じん装置でフライアッシュが粗取りされた後、GGHを通過し約110℃に冷却される。さらに、冷却塔で脱硫反応に適した60～70℃までに冷却され、反応器において電子ビームの照射を受ける。

ガスに電子ビームを照射すると、排ガス中に含まれるO₂、H₂OからO^{*}、OH^{*}、HO₂^{*}等の非常に酸化力の強いラジカルが生成する。SO_x及びNO_xは、これらのラジカルによってそれぞれH₂SO₄、HNO₃にまで酸化され、これら強酸があらかじめ添加してあるNH₃と反応することによって最終的に硫安及び硝安が生成する。

7.9.4 指摘課題

世界及び日本のエネルギー需要見直しからみて、化石燃料、特に石炭の燃焼による利用量の増加に伴って、SO_x・NO_x 排出総量のさらなる低減が求められている。

また、地球環境問題により最近では CO₂ 低減にも配慮せねばならない。火力発電所で集塵装置、排煙脱硫・脱硝装置稼働させることは、送電端効率を落とすことになる。今後は CO₂ 排出も含めたトータルな最適排煙処理システムの構築へ向けた技術開発が望まれる。

7.10 有害ガスの処理

有害ガスは、それぞれの発生源で排出形態が多様であり、その集煙方法および処理法を選択する際、処理ガスの特性と同時に設置場所、周辺環境、それに経済性などを考慮する必要がある。処理法を分類すると、①燃焼法、②触媒法、③凝縮法、④吸着法、⑤吸収法などがあり、①、②、③については7.12 炭化水素対策で記述されており、ここでは④吸着法、⑤吸収法についてその概要を述べることにする。

7.10.1 吸着法

吸着法は大きな内部表面積を持った多孔性の物質であり、被吸着物質に対して特有の親和力を有し、選択性もある。したがって、処理するガス成分に合わせて選定する必要がある。

吸着法による排ガスの処理は、比較的簡単な装置で確実な除去率を得ることが可能であるが、使用済み吸着剤の処理、吸着された成分の回収または廃棄処理についての考慮が必要である。一般に低濃度ガスの処理では、脱着工程を持たず新吸着剤と交換する方式が多く、大容量の高濃度ガス処理の場合は、脱着工程を設置して脱着成分の回収と吸着剤の再生を行っている。また、吸着装置を濃縮装置として用い、燃焼装置などと組み合わせて処理する方法も採用されている。

(1) 吸着剤

吸着剤の種類と主な用途を表7.10.1¹⁾に示す。吸着剤は、物理的吸着剤と化学的吸着剤とに大別でき、物理的吸着剤は活性炭、ゼオライトなどで、もっとも多く用いられているのは活性炭である。形状は、粒状の他に繊維状、球状、ハニカム状などがある。一方、化学吸着剤には、活性炭表面に酸、アルカリ、酸化剤、触媒成分などを保持させた添着炭がある。例としてアンモニア、アミンなど塩基性物質の処理用として石炭を化学的に処理したスルホン化炭、酸性物質の処理用としてスルホン化ソーダ炭などがある。そのほか、硫黄化合物の処理用には、鉄イオンを基剤としたものやイオン交換樹脂を応用した化学吸着剤がある。

(2) 吸着装置

吸着塔で吸着剤と処理ガスとの接触方法には移動層方式、固定層方式（充填方式）、ハニカム回転式などがある。装置構造及び操業管理が容易な固定層方式が多く用いられている。

固定層吸着装置を図7.10.1に示す。固定層への充填方式には、吸着剤を直に充填する方式と、搬出入可能なカートリッジとして交換する方法がある。

粒状活性炭の場合、吸着剤の層高は、30～80 cmの単一層または多段層で用いる。充填層を余り薄くすると層内での濃度分布が不均一になり、厚くすると圧力損失が増大する。粒状活性炭の場合、処理ガスの基本流速は30 cm/s～60 cm/s程度である。連続式固定層は、吸着、脱着を交互に行うため、少なくとも2塔が必要となる。1塔で吸着させている間に、他の塔を脱着するためであり、このサイクルを繰り返す場合、吸着剤が吸着成分で飽和される前に脱着側は脱着を完了し、吸着温度にまで冷却されていなければならない。

表 7.10.1 吸着剤の種類と用途

吸着剤の種類		主な用途	
物理吸着剤	活性炭	炭化水素系溶剤回収・脱臭、排煙脱硫、排煙脱硝、フロン回収、ハロゲン化炭化水素の回収、スチレンの吸着	
	ゼオライト（親水性）	アンモニアの吸着、空気の脱湿、し尿処理場の脱臭、空気中の酸素分離、微生物脱臭法の担体、硫化メチル・二硫化メチルの吸着	
	ハイシリカゼオライト（疎水性）	水溶液からのアルコール、芳香族、ハラフィンの吸着	
	モレキュラーシービングカーボン	空気中の酸素分離	
	シリカゲル	空気の脱湿・脱臭	
	アルミナ	空気の脱湿・脱臭	
	活性白土	溶剤の精製、油脂類の脱色精製・脱臭	
化学吸着剤	添着吸着剤	塩基性ガス用	アンモニア、トリメチルアミンの吸着
		酸性ガス用	硫化水素、メチルメルカプタンの吸着
		金属添着炭	一酸化炭素、シアン化水素、ホスゲンの吸着
		酸化剤添着炭	一酸化窒素、硫化水素系、アミン、アルデヒド、アクロレインの分解・吸着
	イオン交換樹脂	アンモニア、トリメチルアミンの吸着、硫化水素、メチルメルカプタンの吸着	
	酸化鉄系脱臭剤	硫化水素、酢酸の吸着	

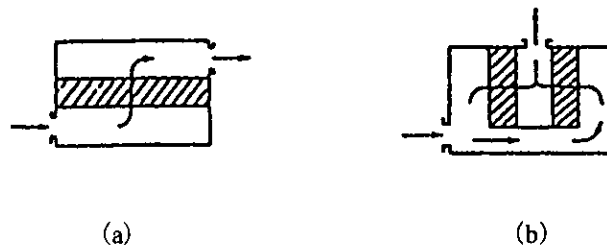


図 7.10.1 固定層吸着装置¹⁾

移動層吸着方式は、吸着剤を移動させながら処理し、再生工程へ移動させ連続操作を行う方式であり、大容量のガス処理に適している。粒状の活性炭を使用した移動層では活性炭が摩耗し易く、ダストによってふさがれ易いことなどの欠点がある。移動層方式の一種として、球状ビーズ炭を用いた濃縮方式を図 7.10.2 に示す。この方式は、球状（直径 0.7 mm 程度）の活性炭を傾斜多孔板上に流下させ、順次下の段へ移動させ、塔下部から処理ガスを導入し吸着させる。使用済みの吸着剤は連続的に脱着塔に送られ再生し、被処理ガス成分は脱離濃縮されて燃焼装置など他の処理装置に導かれて最終処理される。

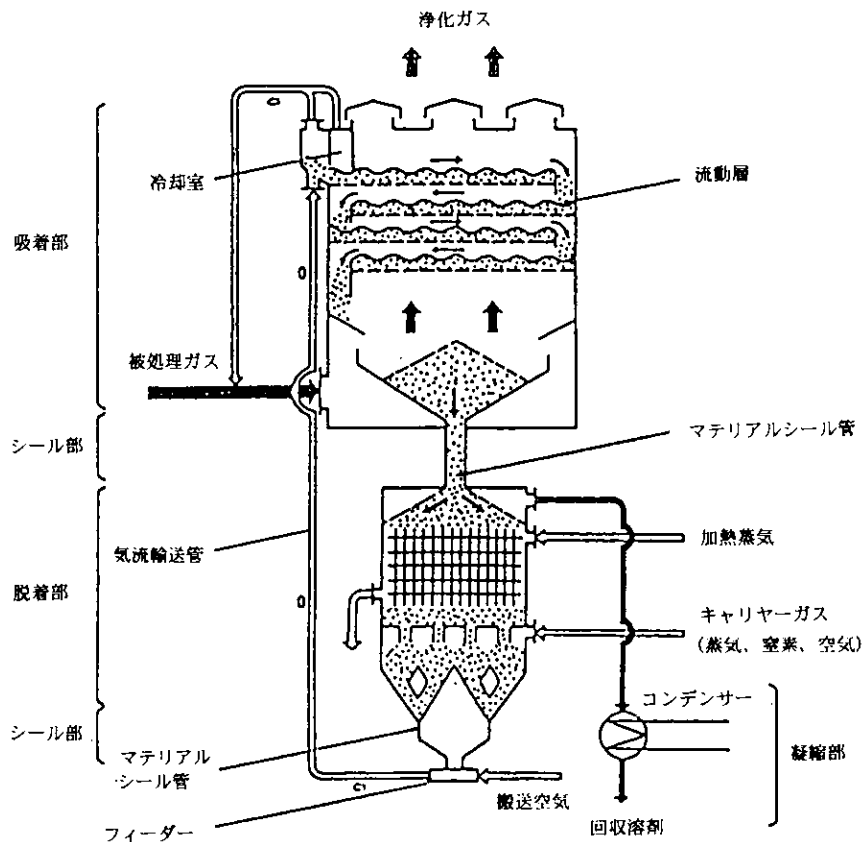


図 7.10.2 ビーズ炭を用いた連続吸脱着装置²⁾

図 7.10.3 にハニカム回転式吸着装置を示す。ハチの巣状の構造の活性炭を円筒形に成型した装置で、これを回転させ、吸着と加熱脱着を連続的に行い被処理ガス成分の濃縮用として用いられる。処理ガス成分が可燃性の場合、ガス量を減少させ成分濃度を高めて燃焼装置や触媒酸化装置と組み合わせて効果的に処理することが可能である。

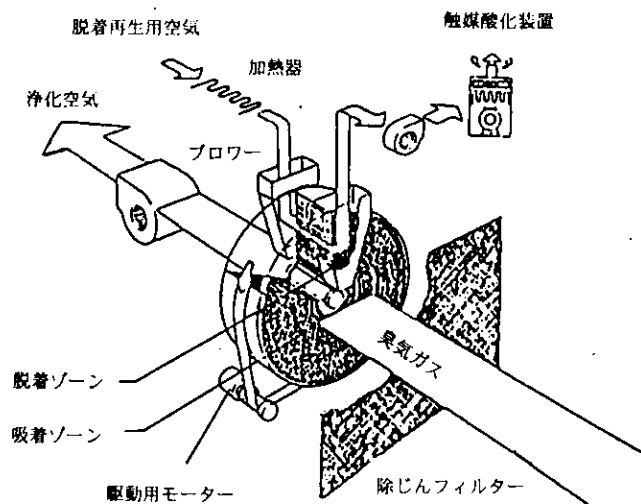


図 7.10.3 ハニカム回転式連続濃縮装置²⁾

(3) 吸着剤の再生

脱着法には加熱による熱スイング法と減圧による圧力スイング法とがあり、とくに熱スイング法である加熱脱着法が広く行われている。加熱媒体として加熱水蒸気、加熱空気、加熱窒素ガスなどが用いられ、加熱と同時に減圧して脱着する方式もある。可燃性の有機溶剤に対しては発火、爆発などを考慮しなければならない。とくにメチルエチルケトン、シクロヘキサノンなどのケトン類の回収では、ケトンの酸化、蓄熱による温度上昇での発火の例があり、とくに運転停止時充分に脱着する必要がある。

一般に、吸着剤の再生は、完全に脱着するには長時間を要するため、100%の脱着は行わない。実際には技術的及び経済的見地から適当な脱着率にとどめて循環使用する。

(4) 排ガスの前処理

処理ガスが高温で、かつ多量のダスト、ミストを含む場合、吸着操作上きわめて不都合であり、吸着剤を損なう原因となる。また、処理ガス濃度が高い場合、作業時間を長く保つためには、適当な前処理装置を付設する必要がある。普通は前処理として洗浄方式が多く用いられているが、活性炭を濡らさないように洗浄液の飛沫を吸着層まで同伴しないよう充分注意しなければならない。吸着は低温ほど除去率がよく、一般には、処理ガス温度40℃以下とする必要がある。

7.10.2 吸収法

(1) 中和吸収法と酸化吸収法

洗浄吸収法は、有害ガスの除去法として最も広く用いられている。吸収処理法を大別すると、物理的に水に吸収させる方法と、汚染ガスを吸収薬液と化学反応させる化学的吸収がある。後者には、中和反応により液中に固定させる方法、酸化反応により無害物に分解させる方式とがある。水による吸収は、成分が水に可溶で成分濃度が高い場合に適用される。中和法には、酸洗浄によるアンモニア、トリメチルアミンなど塩基性ガスの除去、アルカリ洗浄によるフッ素、フッ化水素、塩素、塩化水素、メルカプタン、硫化水素などの酸性ガスの除去が挙げられる。酸化吸収法は、吸収液として、次亜塩素酸ソーダ、過マンガン酸カリ、過酸化水素などの水溶液が用いられ、とくに、悪臭ガスの分解処理に使用されている。

ダストが共存する場合、ガス成分の吸収と同時にダスト除去にも効果がある。有機化合物系有害ガスは、水への溶解度が一般に小さく、吸収法だけで十分な除去効果を上げるのは困難であり、他の処理法と組合せて採用される例が多い。

(2) 吸収装置

吸収装置には、吸収液をガス中に分散する方式と、液中に処理ガスを分散させる方式とがある。吸収液への溶解度が大きいガスに対しては吸収液を分散させる装置が適しており、吸収液への溶解度の小さいガスの処理にはガスを液中に分散させる装置が適している。一般には、吸収液として被吸収成分の溶解度の大きな薬液を使用するので、液を分散させる充填塔やスプレー塔を採用する例が多い。大容量のガス処理には、多孔板式漏れ棚塔や十字流接触装置などが採用されている。

(3) ミスト除去

一般に、吸収洗浄方式では、吸収液がミストとなり大気中に飛散し二次的公害を引き起こすこともあり、ミスト除去装置を付設する必要がある。ミスト除去には、吸収塔上部に充填物を詰めただけのものが多いが、この形式ではミスト除去効果は低い。とくに、温度が高く、凝縮性ガスを含む場合、吸収塔を出たあと、配管ダクト内で成分が凝縮し、これが飛散するため、ミスト除去装置の設置場所は、できるだけ排出口の近くにすることが好ましい。

7.11 自動車対策

7.11.1 はじめに

自動車排出ガス対策のうちガソリン車対策は技術的にはほぼ完成されており、今後はディーゼル車のNO_x、黒煙・粒子状物質低減対策が重要な課題として残されている。

7.11.2 ガソリン車排出ガス低減対策

ガソリン車排出ガス低減の基本的理念は、①燃焼システム改良による汚染物質発生の抑制、②排気途中における後処理、③大気開放部の密閉化と蒸発ガスの吸気系への戻しの3点に集約できる。しかし、一般的にCO、HC対策とNO_x対策は相反関係にあり、ガソリン車排出ガス低減対策も複雑になり、複数の低減方法を組み合わせた機構が多くなっている。図7.11.1に現在のガソリン車に適用されている排出ガス低減対策系統図を示す。

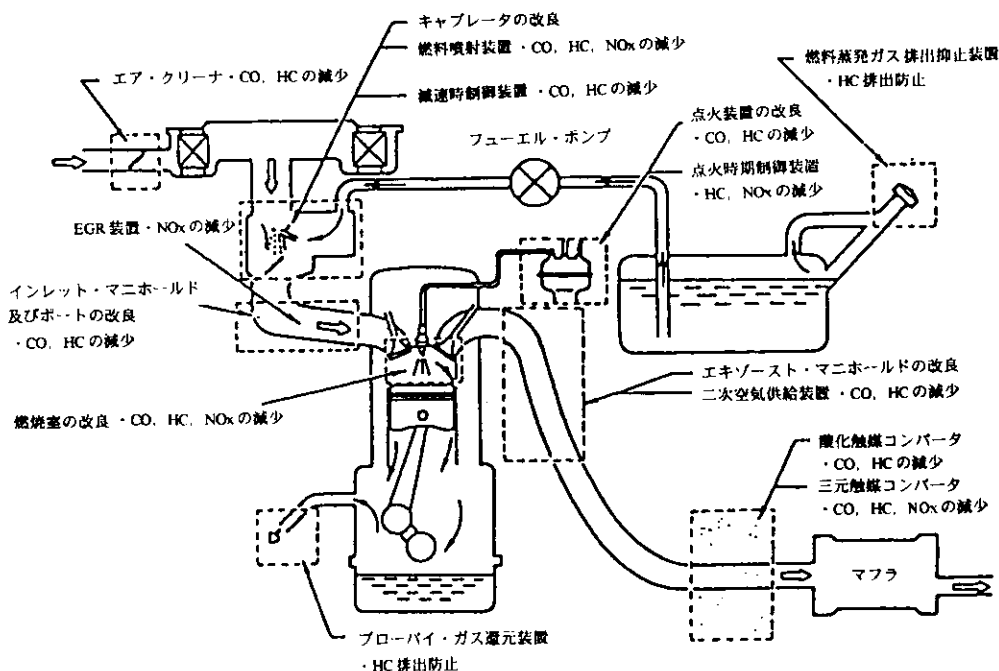


図7.11.1 排出ガス規制適合ガソリンエンジンの例

(1) 燃焼システム改良による汚染物質発生の抑制対策

①点火時期制御：一般的に点火時期を遅らせるとNO_x、HCが減少する。しかし、あまり遅らせると、出力や燃費に悪影響があるので運転性能と排出ガス浄化を両立させるようコンピューター制御を行っている。

②減速時制御装置：減速時はスロットルバルブが閉じ燃焼室に入る空気が少なくなり不完全燃焼が起こる。これを防止するために減速時に燃料カットしたり、減速時負圧を検知し、強制的にスロットルバルブを開き、吸入空気量を増加したりするシステムである。

③EGR：排出ガスの一部を吸気にもどして、燃焼最高温度を下げてNOx生成を抑制する。10%の排出ガス還流でNOx排出量を1/2にすることができる。

④リーンバーン：一般にCO、HCは空燃比が過濃側で排出が多く、NOxは理論空燃比付近で濃度が最高となり、それより薄い空燃比では排出濃度が低下する。そこで空燃比を22~24付近になるようにコントロールして、CO、HC並びにNOxを抑制しそれに伴って発生するエンジンの不安定性に対しては別途対策を施し、NOx低減と燃費改善を両立させる。（図7.11.2）

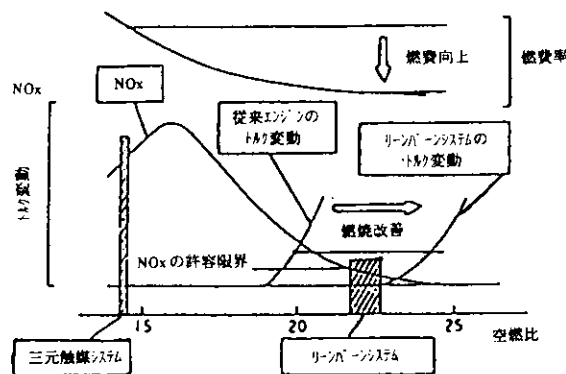


図 7.11.2 リーンバーンシステム

(2) 排気経路における後処理技術

①酸化触媒：排気管途中に触媒（白金、パラジウム等）を装着し、排出ガスを通過させることによりCO、HCを酸化しCO₂、H₂Oに無害化する。この場合触媒前に二次空気を供給する装置が必要で、二次空気供給装置にはエアープンプで強制的に空気を送り込む二次空気噴射装置と、エンジン排気管内の排気圧の脈動が負圧状態の時二次空気孔を大気開放、負圧に見合った二次空気を排気管内に導入する装置とがある。

②三元触媒：触媒に白金とロジウムを使用し、排出ガス中のCO、HCを酸化反応でNOxは還元反応により3成分同時に無害化する装置である。酸化触媒と違って空燃比は理論空燃比にコントロールする必要がある。そのためには排気ガス中のO₂濃度を絶えず検知しコンピュータに送信する空燃比フィードバックシステムが不可欠である。また、燃料供給装置もあらゆる空燃比制御に対応できる電子燃料噴射装置が用いられている。（図7.11.3）

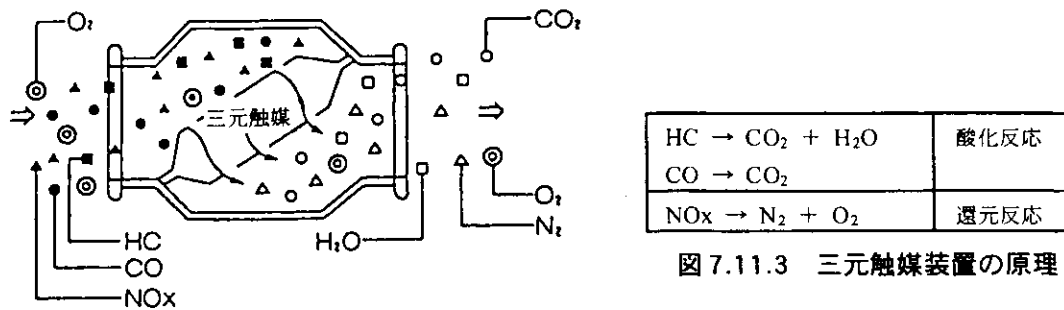
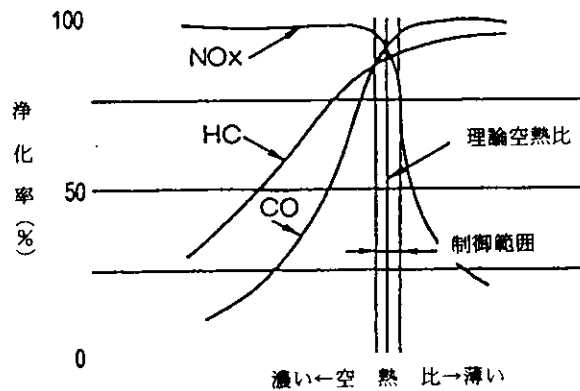


図 7.11.3 三元触媒装置の原理



(3) 未燃燃料対策

- ①ブローバイガス還元装置：ピストンとシリンダーの間を吹き抜けるブローバイガスをもう一度吸気系にもどし燃焼させるシステムである。
- ②燃料蒸発排出抑制装置：燃料タンクやキャブレターからの蒸発燃料を一旦活性炭（キャニスター）に吸着し、エンジン負圧を利用してもう一度吸気系に還流するシステムである。

7.11.3 ディーゼル車排出ガス低減対策

ディーゼル車の排出ガス低減対策は、①吸排気系の改良、②燃焼室改善、③燃料噴射系改良、④後処理、⑤燃料対策に大別できる。図 7.11.4 に低減技術概要図を示す。

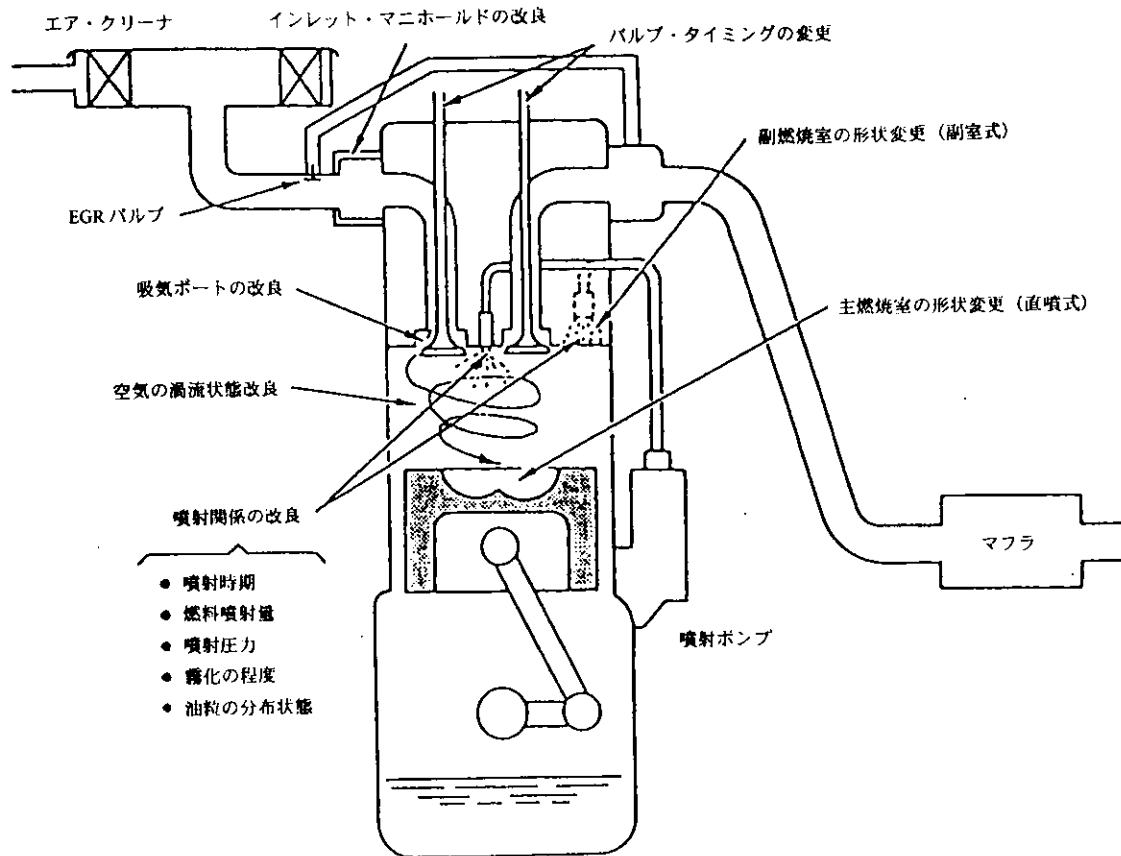
(1) 吸排気系の改良

吸気系では空気流動の最適化、体積効率の向上をめざしてインレットマニホールドの改良バルブタイミングの変更、吸気ポートの改良などを行い、吸気抵抗を減少させて空気の吸入効率上げ、燃焼に必要な空気を十分確保するとともに空気に適度の渦流を与えることにより燃料との混合を良くし燃焼が良好に行われるようにする。

また、多弁化をはかることにより、それだけガスの通路を広くし、吸排気を多量に素早く行うことを可能とし、体積効率を向上する。過給は、エンジンから排出された排気エネルギーでタービンをまわし、コンプレッサーを稼働させることにより、大気圧より高い圧力でエンジンに空気を送り込むことで、これにより空燃比が希薄となり黒煙・PM（粒子）が低減する。過給により温度の上昇した給気

は冷却してからエンジンに供給し、NOx 発生を抑制する。

排出ガスの一部を吸気系にもどして、燃焼温度を下げてNOxを低減する方法は乗用車で既に実用化されているが、トラック、バスについては乗用車に比べはるかに寿命が長くかつ使用条件が厳しいため、燃料中のS分によるエンジン内部の腐食、すすによる摩耗、オイルの劣化等信頼性、耐久性に課題が多いが、燃料中S分比率の低減、燃焼改善等黒煙抑制技術の向上により、今後中、小トラックを中心にEGRの適用が増加しよう。



規制に適したディーゼル・エンジン

図 7.11.4 排出ガス規制適合ディーゼルエンジンの例

(2) 燃焼室改善

黒煙・PMを低減するには、燃焼室内のスワールを活発にすれば良く、逆にNOxを低減するためにはスワールを小さくしてやれば良い。シリンダ内のガス流動状態は燃焼室の形状によって大きく影響される。

(3) 燃料噴射系の改良

①燃料噴射時期の遅延：ディーゼルエンジンのNOxは、予混合燃焼時に多く発生する。予混合燃焼で

は燃料噴射から着火までの時間が長ければ長い程、爆発的に燃焼が起こりNOx 排出量が多くなる。従ってNOx の発生を少なくするには、燃料の噴射をできるだけ遅らせ、予混合燃焼期間を短くすることが効果的な対策となる。しかし、燃料噴射時期を遅延することにより、燃焼温度低下、黒煙・PM 増加、燃費悪化、出力低下などが生ずる。このデメリットを克服するために燃焼室形状改良、空気流動活性化、噴霧拡散促進等の燃焼改善対策を同時に行う必要がある。また、最近では燃焼初期の予混合燃焼を抑制してNOx の低減をはかりつつ、かつ、燃焼後期の拡散燃焼を促進させて、黒煙・PM の低減と性能改善を両立させる燃料噴射率制御が行われている。

②高圧噴射：高圧で燃料を燃焼室内に噴射、燃料を微細化することにより空気との混合を良くし、燃焼を改善黒煙の低減をはかるもので、噴射圧力を400 kg/cm²から1,000 kg/cm²にすることにより黒煙を1/4 にすることができる。高圧噴射は燃焼を改善するものでNOx が増加する。燃料噴射時期遅延等のNOx 対策の併用も必要となる。

(4) 後処理

ガソリン車に使用されている酸化触媒、三元触媒をディーゼル車に適用することは燃料中S分に起因するサルフェイトの増加、O₂過多のためにNOx 還元処理ができない等のためになかなか難しい。しかし、近年のS分含有比の低減措置によりSOF 低減用酸化触媒の実用化が一部の車種でできるようになった。また、ハニカム状のトラップ（材質：コーゼライトや炭化珪素）に排出ガスを通しトラップにすすを捕集させ黒煙を低減処理するDPF（Diesel Particulate Filter）も実用化が進んでいる。

還元触媒については、ゼオライト（多量に水を含んだ結晶性の珪酸塩鉱物）触媒が高濃度のO₂の存在下においてもNOx を還元するが還元率が悪い（10%程度）、温度が低いと効果が出ない、水分が存在すると効果が下がる等の課題が多く、実用化は難しい。

(5) 燃料対策

燃料中のS分比率は、平成4年に0.4%⇒0.2%に低減し平成9年以降含有率を0.05%にまで低減される。また、含酸素化合物（ポリプロピレングリコールアルキルエーテル、植物油メチルエステル等）を軽油に添加することにより、HC、CO、PMが低減することができる、この場合増加するNOx はセタン価向上剤を添加することにより抑制する。

7.11.4 指摘課題

ガソリン車排出ガス低減技術は著しい進歩を遂げている。今後は重量ガソリン車等に適用する場合のコストアップの問題が大きい。ディーゼル車については燃焼改善による黒煙低減化が進んでいるが、それに伴い増加するNOx 対策が課題。またDPFシステムやハイブリッドシステム等については、コストの低廉化とシステムの信頼性、耐久性が課題。

7.12 炭化水素対策

7.12.1 はじめに

我が国では、昭和45年から光化学スモッグによる健康被害が問題となりはじめ、その原因物質である窒素酸化物とともに炭化水素排出量削減対策が行われてきた。近年、光化学スモッグ対策とは別に、ベンゼンのようにそれ自身健康被害をもたらす炭化水素や塩素系炭化水素なども問題となり、それらの対策は多岐にわたっている。

7.12.2 炭化水素の発生源

大気汚染に関わる炭化水素の発生源の内ここでは固定発生源について述べる。わが国での炭化水素の主な発生源は、ボイラなどの燃焼施設、ガソリンの給油を含めた石油関連工業、化学工業、印刷業、自動車工業、建設業、クリーニング業などである。炭化水素物質は大気中でペーパーもしくはミスト状で存在し、石油類、各種溶剤が主である。特にわが国で「有害物質」として指定されている炭化水素の内比較的広く使用されているものにメタノール、アセトン、メチルエチルケトン、ベンゼン、トルエン、キシレン、また塩素系炭化水素としてトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンなどがある。その他、オゾン層破壊の原因物質としてのフロンやベトナム戦争で使用された枯葉剤としてのダイオキシンなども炭化水素に含まれる。

7.12.3 燃焼排ガス中の炭化水素対策

ボイラなどでの燃焼施設排ガス中の炭化水素は、わが国では軽質の重油が普及していることもあって、通常10ppm以下である。燃焼排ガス中の炭化水素の低減は主に燃料と燃焼状態の改善による。燃料を軽質化すれば炭化水素も一般に低減する。燃焼状態の改善としては混合空気量の適正化が有効である。一般に重油での最適空気比は1.3程度であるが、図7.12.1に示すように空気比を小さくすると排ガス中の炭化水素濃度は増大する¹⁾。逆に空気比を過剰に大きくしても未燃炭化水素が生じて炭化水素濃度は増大する²⁾。

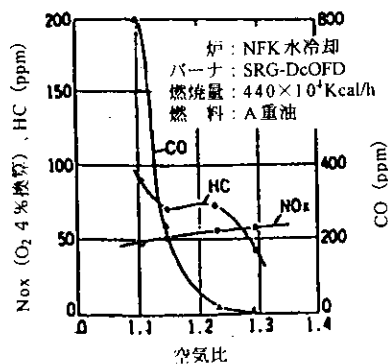


図 7.12.1 NOx, CO, HC と空気比との関係

7.12.4 ガソリンベーパー対策

我が国ではタンクローリー車からガソリンスタンドへの給油時に放出されるガソリンベーパーは、光化学スモッグの主要な原因物質の1つとなっている³⁾。このガソリンベーパーの排出量は気温上昇とともに上昇し、図7.12.2のようにガソリンベーパー排出量は増加する⁴⁾。即ち、大気温度が1℃上昇するとガソリンベーパーの排出量は10%程度増える。ガソリンベーパー対策は主にベーパーリターン方式による。装置を図7.12.3に示すが、給油時に配管系を遮断し、蒸気をタンクローリーに還流させるものである。この方式は装置が比較的安価なため我が国では主要都市で設置が義務づけられている^{3,5)}。

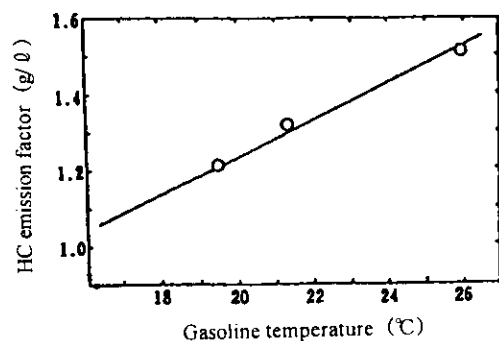


図7.12.2 ガソリン給油時におけるガソリン温度と炭化水素排出量

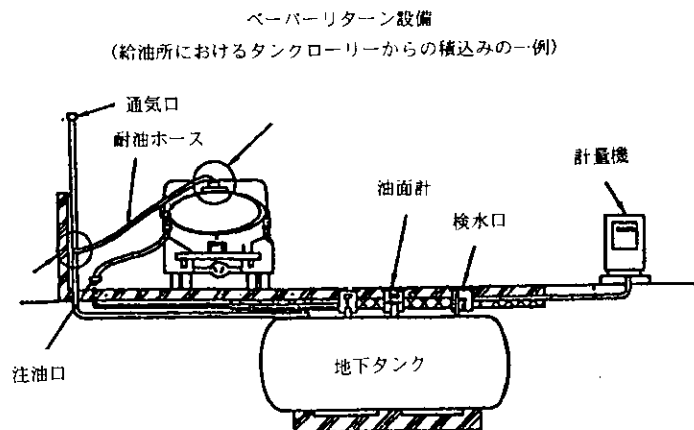


図7.12.3 ベーパーリターン設備

7.12.5 炭化水素の処理装置

炭化水素の処理方法には大別して、凝縮法、吸収法、吸着法、直接燃焼法、触媒酸化法があるが、吸着法は7.10で述べた。

(1) 凝縮法

この方法は、気化した炭化水素をその沸点以下に冷却凝縮して回収する方式である。そのため炭化水素濃度が高く、処理ガス流量が少ない場合に適する。多くの場合、単独で使用されることは少なく、吸着装置や吸収装置の前処理として使用される。ガソリンやトルエンなどの低沸点物質に用いられている。

(2) 吸収法

吸収法は炭化水素ガスに対する溶解度の大きな吸収液にガスを接触吸収させる方法である。吸収液には灯油、軽油、アセトン、アルコールなどが一般に用いられる。多くの場合、吸収液へのガスの溶解度は温度に影響され、我が国では季節によって除去率が変ることがあるが、精油所でのメインタンクからタンクローリ車への給油時に使用されている。またガスが酸やアルカリと反応性をもっている場合は吸収液にカセーソーダや過マンガン酸カリ溶液などを使用する。

(3) 直接燃焼法

直接燃焼法は燃焼効率が良い場合炭化水素濃度によらず95%以上の高い除去効率が得られ、塩素系炭化水素のような有害ガス(Cl₂等)を発生するものを除き、すべての炭化水素に適用可能である。しかし、補助燃料が必要なため、焼却炉排ガスの除じん対策やスクラバー後の白煙除去のためのアフターバーナなどと併用して用いられる場合が多い。

(4) 触媒酸化法

触媒酸化法は、白金、ニッケルなどの触媒の下で250~350℃で0.1~0.3秒間の燃焼条件で炭化水素ガスを完全燃焼する方法である。この方法では直接燃焼法に比べて燃料費を30~40%軽減できる。しかし、排ガスによっては触媒が汚染されたり、ガスに対する触媒の選択性などもあり適用に当たって注意を要する。また低温のガスは昇温する必要がある。図7.12.4にガス温度と酸化率の関係を示す⁶⁾。

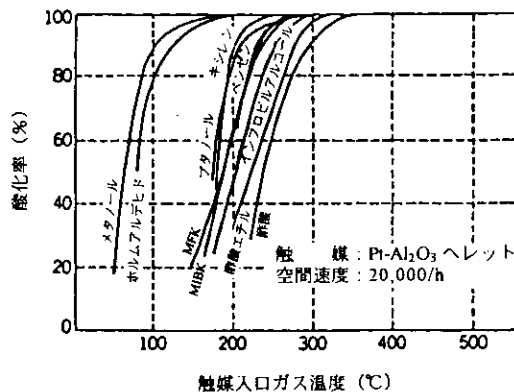


図 7.12.4 触媒酸化法におけるガス温度と酸化率の一例

7.12.6 塩素系炭化水素の対策

我が国では電子産業、クリーニング業で多量に使用されているトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンが問題となっている。これらは排ガス処理の前に室内や洗浄槽からの排出を極力抑えることが重要であり、例えば、蒸気洗浄槽の蒸気空隙率を大きくとるなど溶剤の損失を抑制するように努める。

7.12.7 フロン

フロンの回収方法としては活性炭吸着法が一般的である。その他の方法では発生するハロゲン類の処理が必要となる。またフロン類を含むカークーラーや冷蔵庫などの野外解体作業は行わないことが重要である。

我が国では、ダイオキシンの主要な発生源はごみ焼却炉とみられており、都市ごみ焼却場周辺での大気中でのダイオキシンの摂取量は0.9～1.2 pg/Kg/dayと報告されている⁷⁾。対策としてはコロナ放電を含まない低温集じんが有効である。そのためわが国の自治体では都市ごみ焼却炉での電気集じん装置による高温集じんからバグフィルターを用いた低温集じんへの転換が徐々に進められている。

7.13 悪臭対策

7.13.1 防臭・脱臭対策の進め方

防臭・脱臭対策の立案の基本は、臭気発生源、発生機序とその排出状況を正確に把握する必要ことである。臭気の場合、予期しない場所から発生している場合も多く、発生源の数及び発生量をもれなく調査し、それを減少させることを防止対策の基本とする。臭気の発生量として臭気排出強度（Odor Emission Rate, OER）を調査し、主たる臭気発生源を確認し、基本的に OER の大きい発生源から対策を取る。なお、OER は臭気濃度と排ガス量（ m^3/min ）の積で示される。対策の第一としては、臭気発生源からの発生要因を調べ、工程変更を含むその臭気発生量の低減を検討する。次いで処理ガス量をなるべく少なくするために、カバーや適当なフードワークにより開放部、開口部を少なくしたり、建屋等からの漏洩対策を実施する。処理ガス量を少なくすることは、脱臭装置のコストを削減する上で必要なことである。その後に発生臭気の脱臭対策を行う。まず、主要な臭気成分及びその濃度を把握し、それに最適な脱臭方法を選択する。その他発生源が数カ所にわたる場合には、高濃度臭気、低濃度臭気を明確にし、高濃度臭気と低濃度臭気を分離して処理する必要がある。この場合、臭気ガスを新しく設置する脱臭装置に導くだけでなく、高濃度臭気を既設の焼却炉用助燃空気として、また既設の水処理用曝気ガスとして使用する方法により、処理する方法も実施されている。図 7.13.1 にし尿処理場での脱臭対策例を示す¹⁾。

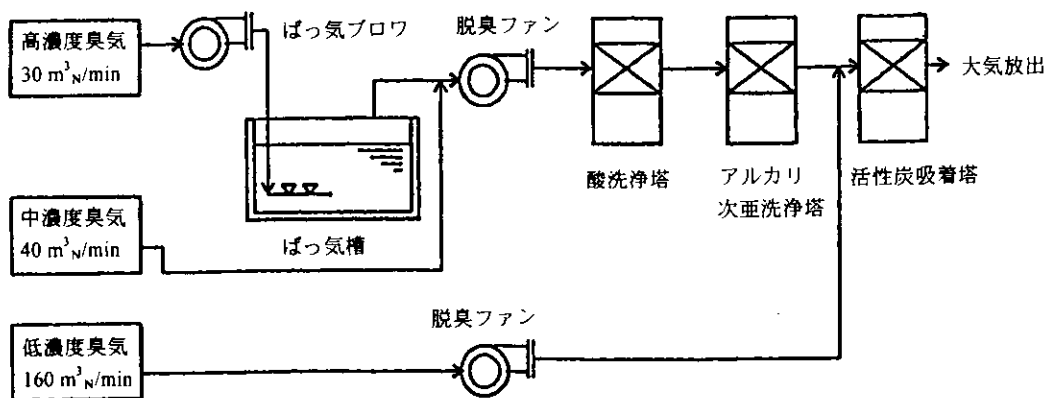


図 7.13.1 し尿処理場の脱臭対策例¹⁾

7.13.2 悪臭除去装置^{2) 3)}

悪臭除去装置としては、燃焼法、吸着法、薬液洗浄法、生物脱臭法、オゾン酸化法、消臭・脱臭剤法等による方法が利用されている⁴⁾。これらの装置は脱臭の対象物質の物理化学的性状及び発生施設の状況等を考慮して選択する。以下に各装置の特徴及び適用範囲について示す。

(1) 燃焼方式

①直接燃焼法

臭気成分を燃焼により高温（650～800℃、0.3～0.5秒の滞留時間）で分解し、脱臭する方法である。燃焼には、都市ガス、灯油等の補助燃料を用いる。完全燃焼すれば最も確実な方法であるが、不完全燃焼の場合かえって不快な臭気とともに有害物質が発生する。広範囲の臭気に対して適用性がある。高温で使用するため、ランニングコストが高くなり、熱回収装置が必要となる。連続的に高濃度の排出する発生源の対策に効果的である。しかし、脱臭後の排ガスの臭気濃度を100以下にすることは難しい。

②触媒酸化法

臭気成分を接触酸化分解して脱臭する方法である。白金、バナジウム、マンガン等の触媒を利用して、比較的低温（300～350℃）で酸化する。そのために、直接燃焼法に比べ使用熱量は少なく、ランニングコストは少ない。重金属、シリカ、ハロゲン等の触媒毒のほか、ダスト、ミスト、ヤニ等も性能に影響するため、フィルター等の前処理を必要とする。

③蓄熱式燃焼法^{5) 6)}

蓄熱式燃焼法は処理ガスを高温に保ち（800～900℃）処理ガス中の臭気物質を酸化し、二酸化炭素と水にして排出する方法で、直接燃焼方式と基本的なメカニズムは同じである。この装置は、脱臭後の高温の排ガスを一旦蓄熱体（金属やセラミック蓄熱材が充填されている）の中を通して排気することにより、排ガスが持つ熱量を蓄熱体に吸収させ、その熱を利用して未処理のガスを昇温させて燃焼室で脱臭する構造となっている。この場合、熱の授受が蓄熱体から直接行われ、かつ十分な接触面積を保持しているため、熱回収率は90～95%以上となる。溶剤系臭気に利用されており、臭気濃度が比較的低濃度で稼働時間の長い場合、ランニングコストが低く、メリットのある方法である。

(2) 吸着法

活性炭等の吸着剤に臭気成分を吸着し、脱臭する方法である。処理ガス流量が比較的大きく、低濃度の臭気成分の処理に適し、脱臭装置の最終段階の処理方法に採用されている。濃度、湿度、ガス量により処理装置の規模が大きく変わり、また、臭気物質にあわせて吸着剤の種類を選ぶ必要がある。吸着法は吸収法のような他の装置と組み合わせて使用される場合が多く、高濃度臭気を他の装置で除去し、比較的低濃度臭気を処理している。吸着剤をそのまま交換する装置や、スチーム等で再生する装置、また、新しくハニカム式の装置等も利用されている。

(3) 薬液洗浄法

水、酸、アルカリ、酸化溶液等によって、排ガス中の溶解しやすい物質を溶液に吸収させ、脱臭する方法である。吸収液としては、酸性ガス（硫化水素等）にはアルカリ溶液（水酸化ナトリウム）、アルカリガス（アンモニア、アミン等）には酸性溶液（硫酸等）、アルデヒド・ケトン類に対してはチオ硫酸水素ナトリウム及び一般有機物の酸化剤としてアルカリ一次亜塩素酸ナトリウム等が用いられる。本法は比較的処理ガス流量の大きい場合にも対応できる。イニシャルコストは比較的安価であるが、廃液処理が必要で、ランニングコストに影響する。最近では吸収液として活性汚泥を用いて、生物脱臭法との組み合わせで脱臭する方法も実用化されている。

7.14 開発計画と対策事例

7.14.1 はじめに

我が国では海岸埋立による工業用地造成が進められ、臨海工業地帯操業は日本の工業の特長である。そしてここを舞台に大気汚染が提起され種々対策がとられてきた。工業開発計画は、我が国の大気汚染問題を考える上で見逃せない。

7.14.2 根岸湾工業地帯造成と横浜方式公害防止協定

根岸湾は横浜港南側海域で、古く沿岸漁業が営まれた。明治31年、奥田直弘らはこの海域埋立計画を神奈川県知事に申請した。しかし、明治43年の横浜市会討議、昭和15年の内務省決定、昭和26年の国際観光基地計画等を経たものの実現せず、昭和32年横浜市会で『根岸湾海面埋立事業第一期計画』が可決され昭和34年ようやく着工した。大気汚染が問題となったのは大規模工場が立地した第一、第二期計画約610.5万m²の工業用埋立地（図7.14.1¹⁾）である。とくに、東京電力(株)進出予定地の一部を昭和37年に閣議決定した石炭対策要綱による電源開発(株)の53万Kw石炭専焼火力発電所建設用地に用いることを昭和39年東電が横浜市に同意を求めたことから具体化した。石炭火力発電所による大気汚染経験を持つ横浜市民が、これに反対したのは当然で、煤煙規制法の行政権限を持たなかった飛鳥田一雄横浜市長は、東京電力(株)への土地売却契約書に記載された『第三者に転売したり、貸与したりする場合、横浜市の同意を必要とする。』の条項と『埋立て地引き渡し後も第三者に転売したり、貸与したりする場合、横浜市の同意を必要とする。』の条項とで、電源開発の土地使用容認条件として公害対策を横浜市と協議し実行するとの紳士協定を締結して我が国で初めて液化天然ガス専焼火力発電所をここで稼働した東京電力にも同様の締結を求めた。これが、横浜方式と呼ばれた公害防止協定で全国地方自治体に波及した²⁾。なお煙突高さ、煙道中大気汚染物質濃度を規制される等具体的条件に、電源開発²⁾は英国ロッジ社の技術硫酸調質電気集塵装置を採用し大気汚染対策に万全を尽くした³⁾。また、最大立地面積を占め根岸湾工業地帯生みの親といわれた日本石油精製(株)根岸製油所^{1) 3)}は良質低硫黄燃料使用、低NOxバーナ採用、電気集塵装置設置などの対策を実行した⁴⁾。

7.14.3 四日市石油コンビナート計画と大気汚染問題^{5) 6)}

昭和31年、伊勢湾沿岸の旧海軍第二燃料工廠跡の約100ヘクタールに昭和四日市石油(株)が原油処理能力日量4万バレルの製油所を着工し、原料供給される工場群が昭和32年に着工してこのコンビナートは稼働した。すなわち昭和34年、三菱油化(株)四日市工場が年産2万2,000tのエチレンプラントを完成し、昭和36年中部電力(株)が日本最初の重油専焼三重火力発電所(12万5,000Kw)を稼働した。なお、この第1コンビナートには表7.14.1の諸工場が立地し通産省の計画に応じ三重県、四日市市は、約90ヘクタールを埋立てここに大協石油(株)、中部電力(株)などの第2コンビナートが昭和38年に稼働して四日市は我が国有数の石油化学工業地帯に発展した。しかし、高度経済成長の象徴だった巨大コン

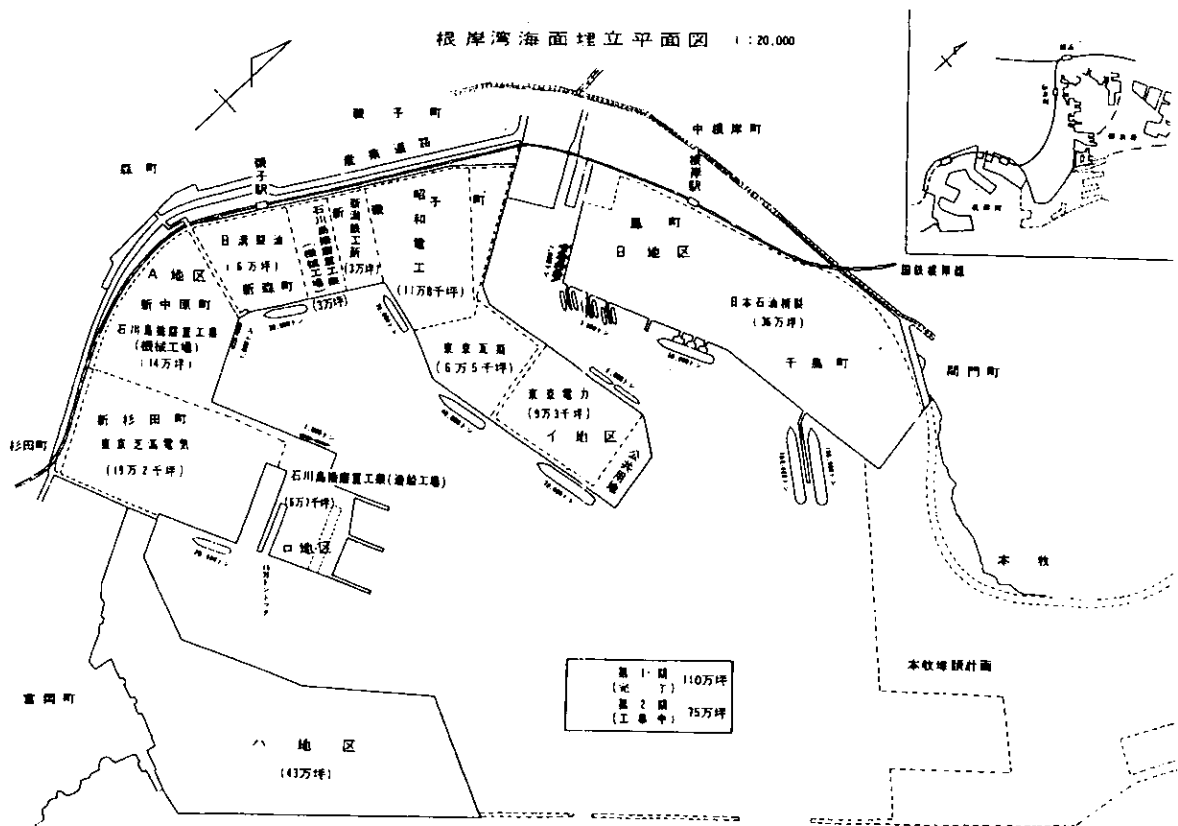


図 7.14.1 根岸湾工業用埋立地立地図

表 7.14.1 四日市第 1 コンビナートの主要企業⁵⁾

企業名	当時の主な生産製品
昭和四日市石油 四日市精油所	ガソリン、灯油、重油
三菱化成工業 四日市工場	カーボンブラック
日本合成ゴム 四日市工場	合成ゴム
味の素 東海工場	グルタミン酸ソーダ
四日市合成 四日市工場	界面活性剤
日本ブタノール 四日市工場	ブタノール
中部電力 三重火力発電所	電力
三菱油化 四日市工場	エチレン、ポリエチレン、ポリプロピレン
三菱モンサント化成 四日市工場	スチロール系樹脂
松下電工 四日市工場	熱硬化性樹脂
三菱江戸川化学 四日市工場	過酸化水素
油化パーディッシュ 四日市工場	発泡性ポリスチレン
石原産業 四日市工場	酸化チタン、農業

ピナートは、大気汚染等環境汚染問題を背負った。昭和35年4月、第1コンビナートに隣接する塩浜地区連合自治会から『工場騒音とガスで夜も眠れない。』と四日市市に対策が要請され、同年7月『刺激臭ガスで吐き気をもよおす。』と苦情が寄せられた。四日市市は同年10月公害対策係を創設し、四日市市公害防止委員会を設置した。そして三重県立医科大学吉田克巳教授、名古屋大学水野宏教授が担当し、大気汚染と健康影響調査が開始された。昭和36年夏、同年3月に大気中二酸化硫黄濃度が1時間値で1ppmを超え、最高1.64ppmを記録した磯津地区住民は工場からの風で咳、喉の異常と激しい喘息を訴えた。吉田教授はこの症状を研究し、二酸化硫黄と硫酸ミストが繊毛細胞を侵して気管支炎症、肺炎、肺気腫に進行すると述べた。反公害運動が高まり同年10月、四日市市総合連合自治会は、早期解決と防止設備改善を決議した。三重県と四日市市は昭和35年11月組織的大気汚染調査を開始し、昭和37年の報告書は磯津地区の大気汚染を早期改善しなければ被害が増大すると警告し吉田教授は健康被害が二酸化硫黄高汚染地域で高いと疫学調査で明らかにした。昭和38年第2コンビナートが稼働し、四日市市長は市民の先頭に立ち対策にあたりと約束したがこの地域は、昭和37年の煤煙規制法で地域指定されず、黒川調査団派遣で決定し昭和41年指定された。とはいえ、これは効果なく黒川調査団員伊東彊自気象研究所応用気象部長が、指摘した疾風汚染を回避すべく高煙突が建設され成果があったが汚染地域を拡大した。昭和36年頃から呼吸器系疾患が増加した塩浜地区では、その医療費を全額自治会が負担し公費負担を要望した。昭和39年大気汚染によると思われる死亡者が発生し、同年12月四日市市議会で市長は公費負担の実施を表明し、昭和40年『四日市市公害関係医療審査会』が発足して医療費公費負担が開始された。その後、患者は増加し続け本質的解決のないまま推移して裁判で解決する機運が生じ、昭和42年9月磯津地区住民9人が第1コンビナート6社を提訴した。4年10ヵ月の長期裁判は原告勝訴となり企業は環境保全姿勢を問われ危機感を生じ行政にも多くの反省を生んだ。四日市市地域では昭和47年三重県公害防止条例による硫酸化物総量規制が公布され、年間10万t以上だった硫酸化物排出量は、驚異的速度で1.7万tにまで減少し住民の閉塞性肺炎患死亡率も昭和50年をピークに減少に転じた。なお、硫酸化物対策の30%は排ガス脱流装置により他は低硫黄燃料への転換で達せられた。

7.14.4 扇島プロジェクトの意義と大気汚染対策⁷⁾

明治45年、我が国最初の鋼管製造を目指し創業した日本鋼管(株)は、川崎市で鋼管製造プラントを稼働し大正8年高炉稼働を、昭和13年にトーマス転炉操業を開始して製鉄一貫企業の雄として繁栄した。

扇島プロジェクトは、神奈川県東京湾沿岸川崎市と横浜市に分散所在していた敷地面積約394万m²、高炉7基、年間粗鋼生産量約550万tの同社京浜製鉄所を年間粗鋼生産量を据え置き、東京湾に新たに建設した人工島扇島の敷地550万m²に移設し高炉2基に集約して、製鉄施設を近代化し、大気汚染等の公害防止対策を果たすべく実施された今世紀最後といわれた大型製鉄高炉新設をとまなう製鉄所移設事業である。なおこの事業には、大気汚染を主とする公害防止のため神奈川県、横浜市、川崎市と同社の間で公害防止協定が締結され話題になった。

このプロジェクトは扇島建設を昭和46年末開始し、昭和51年に新設の扇島第1高炉と既存の水江高炉の2基体制に移行して、昭和54年新設扇島第2高炉の稼働により既存水江高炉の火を落とすという約8年間の長期にわたるものだった。

そして流量132万 m³/hの電気集塵、排ガス脱流、排ガス脱硝装置からなる焼結炉全排ガス処理システム、原料ヤードの粉塵対策、乾式消火方式コークス炉、徹底した高炉と転炉集塵システム、燃料低硫黄化とガス化、省エネルギーシステム導入等の大気汚染対策は製鉄設備合理化とともに注目された。

7.15 大気汚染防止技術のコスト

7.15.1 設備投資金額の推移

過去における大気汚染防止対策装置の生産額（支払ベース）の推移を示したのが図 7.15.1 である。1966 年から 1995 年までのおよそ 30 年間にわたる大気汚染防止対策装置の生産額（支払ベース）を単純に合計すると約 4.7 兆円に達する。1990 年価格（1 ドル＝142 円）に換算すると、総額 6.6 兆円（467 億ドル）で、その内訳は、集塵装置が 2.3 兆円（467 億ドル）、排煙脱硫装置 1.4 兆円（102 億ドル）、重・軽油脱硫装置 8800 億円（62 億ドル）、排煙脱硝装置 4,400 億円（31 億ドル）などである。集塵装置は、大気汚染対策の一番基礎になるものであり、これが全体の約 3 分の 1 を占める。

歴史的に見ると、1960 年代半ばから大気汚染防止対策装置への投資が急増したが、まず最初に重点が置かれたのは集塵と重油脱硫であり、次いで高層煙突であった。そして、1970 年代に入ってから排煙脱硫が導入され、1970 年代半ばから排煙脱硝が導入された。

7.15.2 硫黄酸化物対策

我が国においては、1960 年代前半においては、汚染の激しい地域では硫黄分の少ない原油の生だきが行われた。次いで、1967 年から、原油の精製過程で重油中の硫黄分を除去する重油脱硫技術が導入された。重油脱硫のための設備投資は 1966 年から開始され、1967 年から 1976 年の 10 年間で約 5,850 億円に上がった。これによって、重油中硫黄分の約 45% が除去できた。重油脱硫の導入によって、1966 年以前は平均 2.6% であった重油中硫黄分が、1970 年には 1.93%、1973 年には 1.43% にと急速に低下した。

しかし、重油脱硫によって重油中の硫黄分を減らすには技術的な限界があり、環境基準達成のためには排煙脱硫の導入が不可避となった。また、それと並行して、1969 年から天然ガスの輸入が開始された。

これに対して、排煙脱硫設備への本格的な設備投資は 1970 年に開始された。その金額は、1974 年に 1,467 億円、1975 年に 952 億円、1976 年に 980 億円と大きな額を記録し、1980 年代前半には毎年 300～400 億円のレベルにあった。その後、1990 年代に入ると、1970 年代に設備された装置の更新期に入ったこともあり、再び金額が大きくなっている（図 7.15.1 参照）。

また、1990 年代に入ってから、1970 年代半ばから少なくなっていた重・軽油脱硫への投資も再び活発になっている。

7.15.3 個別設備の対策費用－重油火力発電所の例

以上によって、設備費だけからマクロ的に見た硫黄酸化物対策費用の概要が把握できる。他方、これをミクロ的に分析するには、建設費（設備投資費用）だけでなく、運転費も含めた計算が必要である。こうした計算例として、ある火力発電所（発電容量 300 MW、排ガス量 100 万立方メートルの重油火力発電所）のモデル的な結果（西嶋）を引用すると、重油（重質油）を燃料として、石灰石膏法に

よって排煙中の SOx 濃度を 2,000 ppm から 200 ppm にまで脱硫する場合の費用は消費する重油 1 トン当たり 2,600 円と見積られている。ちなみに、1993 年の C 重油の卸売り価格が 1 キロ当たり約 19,000 円であるから、重油価格の 10% 以上が脱硫のためにかかることになる。また、重油の硫黄分濃度を 1.5% 程度とすれば、硫黄 1 トン当たりを除去する費用が約 20 万円と大きい。

排煙脱硫のみならず、集塵、排煙脱硝も含めた対策費用合計の試算では、発電電力量 1 キロワット時当たり、1.35 円である。これは、あくまでもひとつの試算例に過ぎないが、現在、火力発電による発電原価が 1 キロワット時当たり、約 10 円なので、その約 13% に相当する。

7.15.4 硫黄対策コストの経済影響

以上に示したとおり、我が国において硫黄分を含む化石燃料を燃焼する場合には、その硫黄含有量に応じたコスト負担が必要であり、その額は、燃料価格そのものの 10~20% にも相当する。これはマクロ経済に対して燃料価格の上昇とほぼ等価の影響を持つと考えられる。ここで、C 重油の卸売り価格の推移を見ると、1973 年 9,100 円だったものが、1974 年には 19,300 円に急上昇し、1982 年に 61,400 円とピークを記録した後、1990 年代に入ってから 2 万円前後と低い水準にある。石油危機後に石油価格がこのように大きく変動していることを考えると、硫黄対策コストの経済影響はこの変動による影響に吸収された部分が大きいと言えよう。

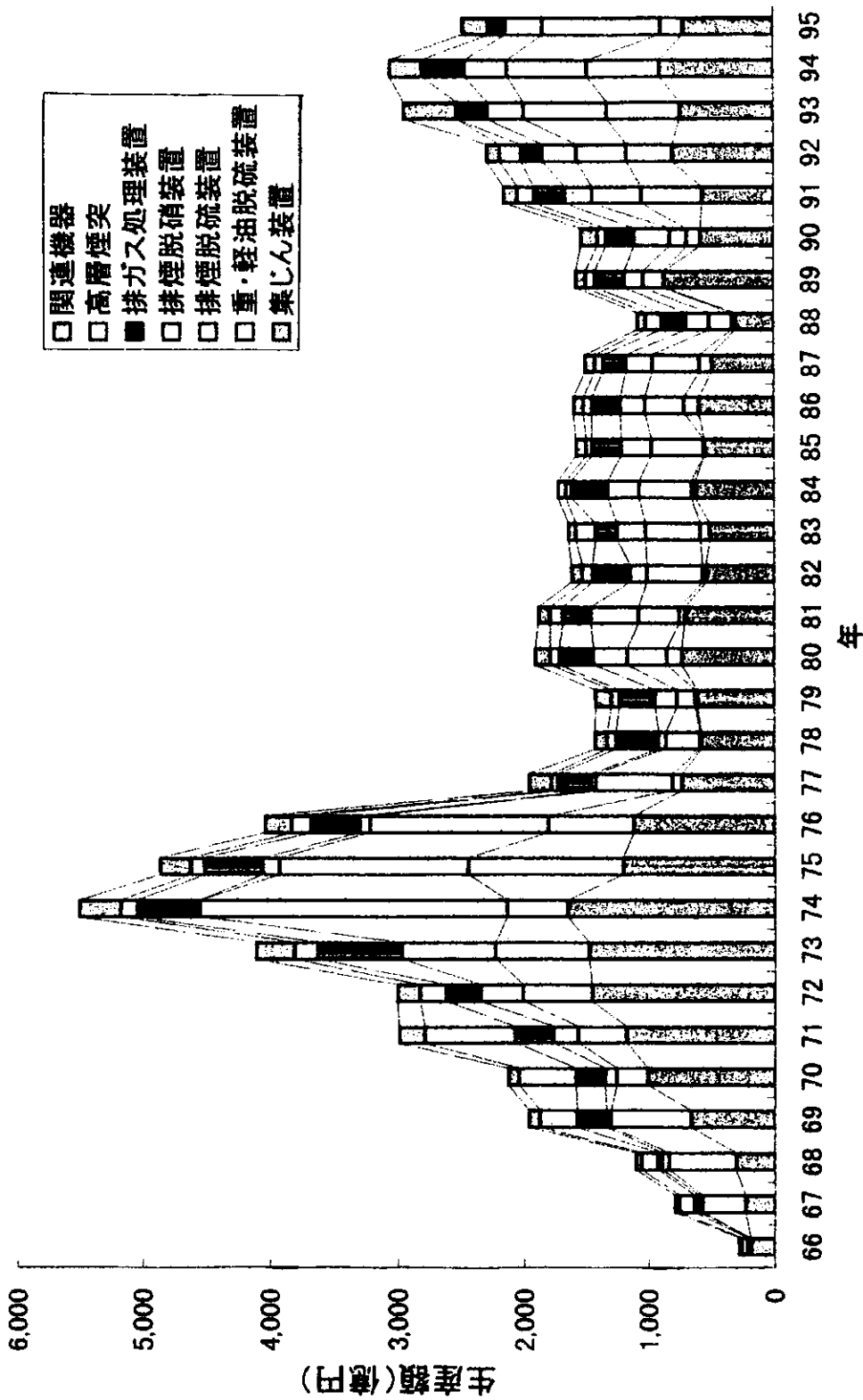


図 7.15.1 大気汚染防止装置生産額の推移 (1990 年価格)

(日本産業機械工業会資料から作成)

(7.1) 引用文献

- 1) 新保元二；生産は環境と調和できるか, pp.165-168, 日刊工業新聞社 (1973)
- 2) 浦野紘平；化学物質の新しい環境安全管理制度, 環境汚染物質排出・移動登録 (PRTR), 化学工学, 61, 50-53 (1997)
- 3) 鎌谷親善ほか訳；アイド現代化学史2 専門の分化, pp.448-449, みすず書房 (1979)
- 4) 大場英樹；環境問題と世界史, pp.191-202, 公害対策技術同友会 (1979)
- 5) 槌出敦ほか；化学者槌田龍太郎の意見, pp.99-112, 化学同人 (1979)
- 6) 氷見康二；わが国とアジア諸国の大気汚染対策, 無機マテリアル, 1, Nov. (No.253) 67-76 (1994)
- 7) 氷見康二；環境技術者はいかにあるべきか—工学の立場から地方公害試験研究機関の研究者の進む路を考えて, 国公害研会誌, 11, 109-123 (1986)

(7.4) 引用文献

- 1) 通産省環境立地局監修；「公害防止の技術と法規（大気編）」p.86 (1990)
- 2) 省エネルギーセンター編；「省エネルギー燃焼技術」, p208 (1984)
- 3) 同上, p220 (1984)
- 4) 同上, p.2 (1984)
- 5) 新井紀男監修；「燃焼生成物の発生と抑制技術」, p.417 (1997)

(7.5) 引用文献

- 1) 神奈川県環境部；昭和54年度炭化水素系物質排出実態調査報告書, pp.6-44 (1980)
- 2) U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION, AND WELFARE, Public Health Service; Atmospheric Emissions from Petroleum Refineries, GUIDE FOR MEASUREMENT AND CONTROL (1960)
- 3) 氷見康二；公害の現状と対策 (VI), 石膏と石灰, No.125, 31-37 (1973)
- 4) 神奈川県公害対策事務局；神奈川県における炭化水素系物質の蒸発防止に関する調査報告書 (1975)

(7.6) 引用文献

- 1) 通産省環境立地局監修；「公害防止の技術と法規（大気編、四訂）」
- 2) (株)産業調査会事典出版センター；大気汚染防止機器 (1995)
- 3) 井伊谷綱一；ろ過集じん技術の新しい方向, 産業公害, 18, (4), 304-310 (1982)
- 4) (株)東レリサーチセンター；気体フィルタの新展開 (1994)
- 5) エヌ・ティ・エス；(社)日本伝熱学会編エネルギー新技術体系 (1996)
- 6) JISB9909「集じん装置の仕様のあらわし方」
- 7) 粉体工業技術協会（集じん分科会）・粉体工学会（高温集塵グループ会）；平成5年度例会
- 8) 粉体工学会（高温集塵グループ会）；平成6年度第1回例会
- 9) 金岡千嘉男, 田森行男；高温セラミックスフィルタの開発と動向, 粉体と工業, 20, (2), 57-64 (1988)
- 10) 大谷吉生, 江見準, 森治朔；エレクトレットフィルタの初期捕集効率と集塵性能の安定性, 化学工学論文集, 18, (1) 29-36 (1992)
- 11) 永田真之；高速流湿式電気集塵装置, 産業機械, 517, 27-30 (1993)

(7.7) 参考文献

- 1) 環境庁編；平成8年度版環境白書（各論）p.49 (1997)
- 2) 荒井；三菱重工技報, 27, (4) 303 (1990)
- 3) 小川；硫酸と工業, (9), 161 (1991)
- 4) 池野ほか；石川島播磨技報, 30, (3), 183 (1990)
- 5) 吉井ほか；三菱重工技報, 29, (1), 60 (1990)

(7.8) 引用文献

- 1) 安藤淳平；「世界の排煙浄化技術」, 石炭技研, p.170 (1990)
- 2) 高橋恭郎ほか；三菱重工技報, 17, (6), 929 (1980)
- 3) 仲町一郎；燃焼研究, No.98, 51 (1994)

(7.9) 引用文献

- 1) 城戸伸夫；ガス浄化技術の基礎, 「環境と省エネルギーのためのエネルギー新技術体系」, エヌ・ティ・エス, pp.395-401 (1996)
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課；ばい煙処理装置の設置実態について, 環境と測定技術, 22, (2), 4-7 (1995)
- 3) 環境庁；平成8年度版環境白書（各論）p.35 (1997)
- 4) 安藤淳平；「世界の排煙浄化技術」, 石炭技研, p.141 (1990)
- 5) 城戸伸夫；我が国の大気汚染防止技術の現状, 産業と環境, (285), 31-34 (1996)
- 6) 電源開発株式会社；活性炭式乾式同時脱硫脱硝技術, 地球を守る環境技術 100 選 94, pp.44-47 (1994)
- 7) 土居祥孝ほか；電子ビームによる石炭火力発電所排煙処理実証試験, エバラ時報, (166), 56-64 (1995)

(7.10) 参考文献

- 1) 加藤征太郎；公害防止対策要説「大気編」, 産業環境管理協会 (1991)
- 2) 水島清；ケミカルエンジニアリング, (7), 81 (1994)
- 3) ダイキン資料, EDX-10 b
- 4) 出雲正矩；公害と対策, 21, (12), 46 (1985)

(7.11) 参考文献

- 1) 環境庁大気保全局；日本の自動車環境対策, 平成8年7月 (1996)
- 2) (社)日本自動車整備振興会連合会；自動車排出ガス対策平成5年版 (1993)

(7.12) 引用文献

- 1) 広瀬靖夫；燃焼排出物, 工業加熱, 18, (3) 65-71 (1981)
- 2) 辻正一；公害防止燃焼技術概論, 日本熱エネルギー技術協会 (1973)
- 3) 安藤保；横浜市におけるHC規制の現況について, 大気汚染学会誌, 13, 382-386 (1978)
- 4) 櫻村広秋, 須山芳明, 才木義夫, 山本昭夫, 氷見康二；自動車へのガソリンの給油時における炭化

水素排出量, 同上, 18, 432-438 (1983)

- 5) 環境庁大気保全局; 炭化水素排出抑制マニュアル (1981)
- 6) 化学工学協会; 悪臭・炭化水素排出防止技術 (2) (1977)
- 7) 環境庁; インターネットホームページ (1997)

(7.13) 引用文献

- 1) 川崎慎一郎, 滝島満; し尿処理施設における活性汚泥ばっ気脱臭による処理, 臭気の研究, 24, 141-145 (1993)
- 2) 石黒辰吉; 臭気対策の基礎と実際, オーム社 (1997)
- 3) 新環境管理設備事典編集委員会; 大気汚染防止機器; 産業調査会 (1996)
- 4) 悪臭法令研究会; 新訂ハンドブック悪臭防止法, ぎょうせい (1996)
- 5) 岡田久行; アドテック蓄熱式脱臭装置による VOC を含む排ガスの処理, 臭気の研究, 27, 189-191 (1996)
- 6) 山田英男; 蓄熱式燃焼脱臭法, 同上, 27, 192-199 (1996)
- 7) 大迫政治, 樋口能土, 田中勝; アンケート調査にもとづく生物脱臭法の技術的評価 (その3), 同上, 25, 310-313 (1996)
- 8) 森田陽一; 微生物を用いた排ガス処理, 資源環境技術総合研究所第10回研究講演会資料, 48-53 (1996)

(7.14) 引用文献

- 1) 横浜市; 横浜市根岸湾臨海工業地帯造成事業概要 (1965)
- 2) 横浜市港湾局臨海開発部; 横浜の埋立, pp40-101, 技報堂 (1992)
- 3) 氷見康二; 開発途上国への環境技術移転について (1), 生活と環境, 38, (6) 72-76 (1993)
- 4) 日本石油株式会社, 日本石油精製株式会社社史編纂室; 日本石油精製三十年史, 日本石油精製株式会社 (1982)
- 5) 財団法人国際環境技術移転センター; 四日市公害・環境改善の歩み (1992)
- 6) 吉田克巳; 四日市における大気汚染とその経緯, 第24回大気汚染学会講演要旨集, pp.63-73 (1983)
- 7) 日本鋼管株式会社七十年史編纂委員会; 日本鋼管株式会社七十年史 (1982)

(7.15) 参考文献

- 1) 西島洋一; 「地球環境をエンジニアリングする」社会経済生産性本部
- 2) 日本産業機械工業会; 「環境保全装置の販売実績」
- 3) 石油連盟; 「内外石油資料」