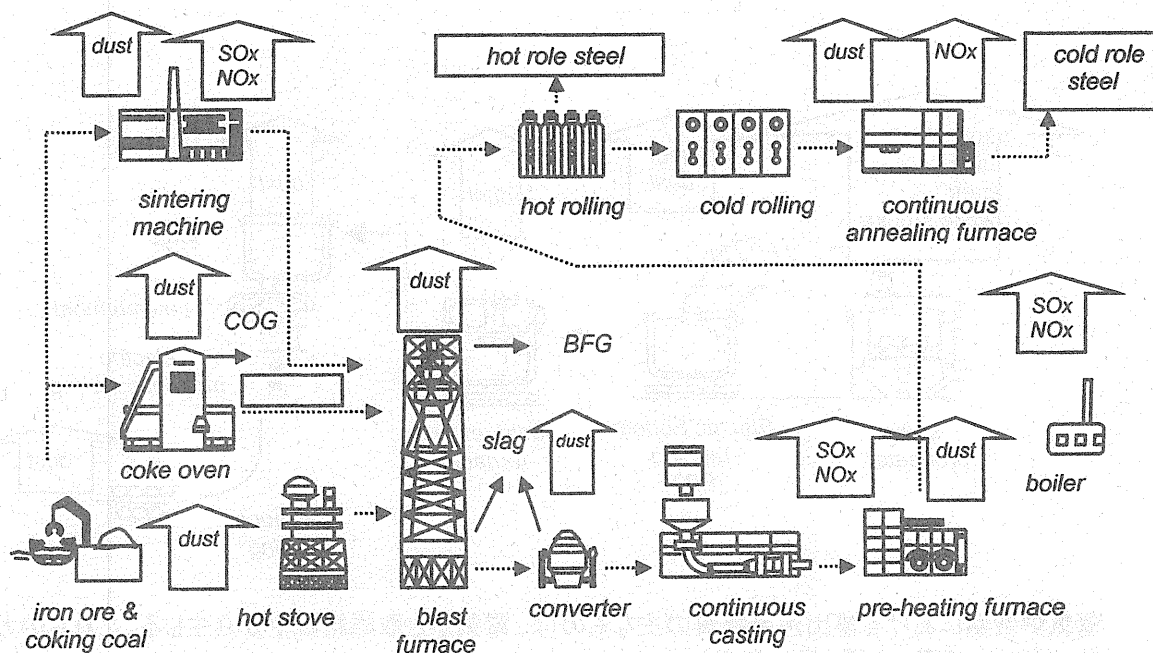


### Ⅲ.鉄鋼産業

#### 1. 製鉄工程と大気汚染物質

一環製鉄所の概略製造工程と各工程で発生する大気汚染物質をスライドに示す。



原料処理工程では、鉄鉱石と石炭が船または列車から荷降ろしされ、貯蔵されるが、そこから大きな粒子がダストとして飛散する。

コーク製造工程では、石炭の破碎、混合、石炭のコークス炉への挿入と炉からの出炭時にダストが発生する。

焼結工程では、粉碎された鉄鉱石、石灰石、微粉コークスを混ぜてペレットに焼結されるが、その原料処理工程から、粒子の大きなダストが飛散する。焼結炉から排出される排ガスには SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>が含まれる。

高炉工程では、主な汚染物質はダストであり、主に鑄床で発生する。そのほかに、原料が炉頂から投入されるときにダストが発生する。

転炉工程では、主にダストと煤煙が吸錬時とその前後に発生する。

圧延工程では、余熱炉と連続鑄造炉から、ダスト、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>が発生する。

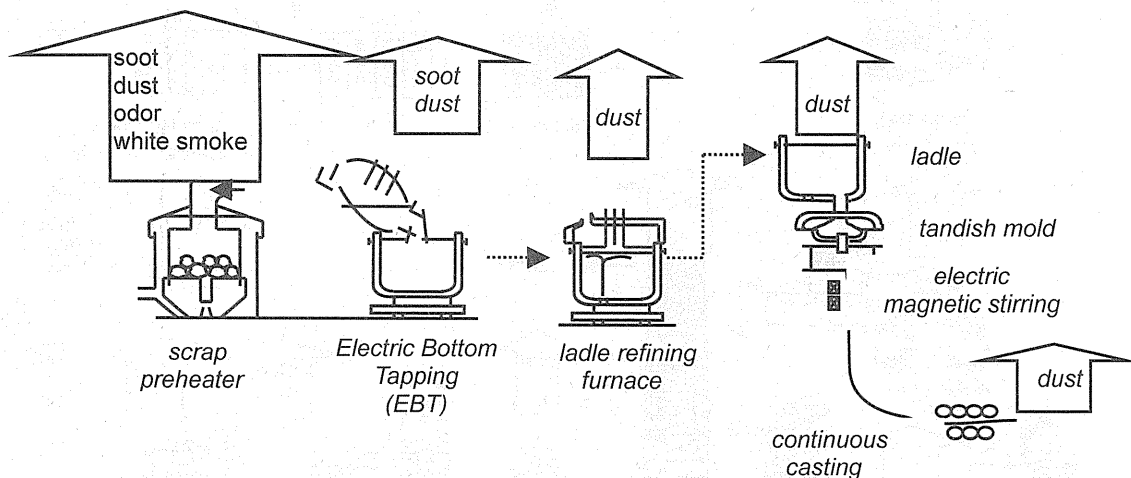
そのほかに、製鉄所にあるボイラーから SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>が発生する。

詳細については P.139～151を参照。

## 2. 電気炉製造工程と大気汚染物質

電気炉による製鉄は、(1)溶解工程、(2)脱炭脱燐のための酸化精錬工程、(3)酸化スラグ除滓後の還元スラグによる脱硫、合金、温度調整を行う還元工程からなる。これらの工程で行われる原料の投入、取出しは不連続作業である。

スライドには、電気炉製鉄所で一般的に行われている普通鋼と合金製造の代表的な工程を示す。



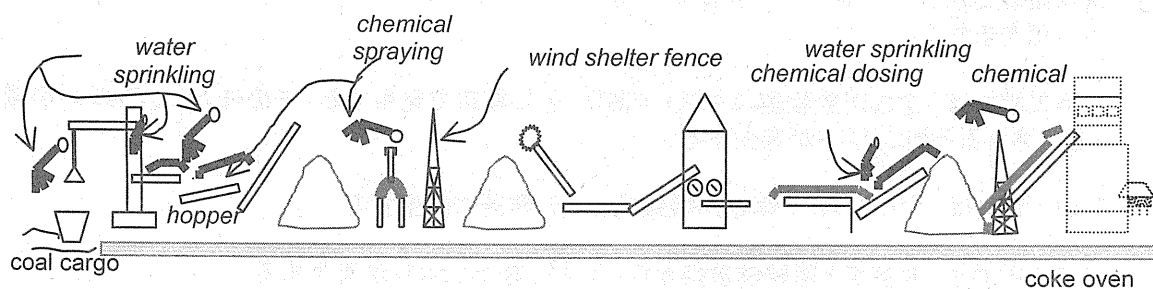
電気炉製鋼における排出汚染物質の主なものは、電気炉と取鍋精錬炉から生じる。これらのガスは、ダスト、煤塵、白煙、臭いを含む。

詳細については P.152～154を参照。

## 3. 粉塵の飛散防止

### 3-1 石炭処理工程

概略の石炭処理工程とダスト防止方法をスライドに示す。



ダスト飛散防止技術の主流は、散水法である。石炭処理工程における主な散水管所は：

- (1) 貨物船のハッチ内
- (2) 荷降バケット
- (3) 払出ホッパー

- (4) ベルトコンベアー、同接続箇所
- (5) 貯炭場

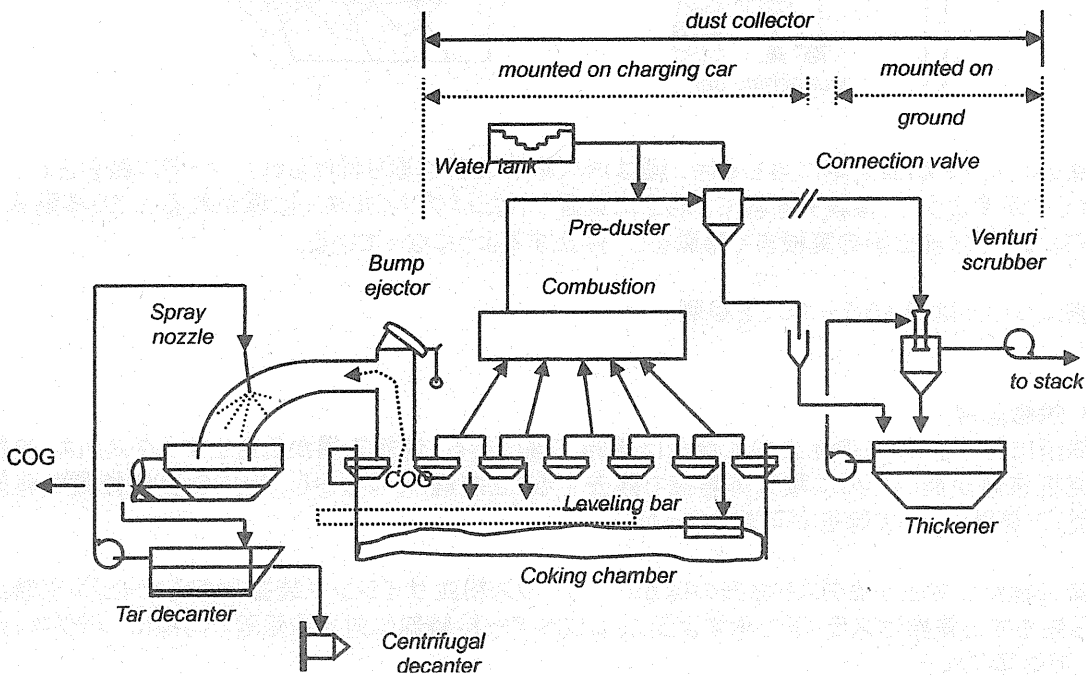
積み上げられた原料の表面をネットまたはシートで、時には、ポリビニールアセテートあるいはタールのような化学剤で覆うことがある。防風フェンスが設置されることもある。開口面積40%を持つ、高さ7mの防風フェンスで、風速を50%以上低下させることができるという報告がある。

ベルトコンベアー輸送では、ダスト飛散防止のために、ベルトコンベアーカバー設置、防風板の取付け、散水機取り付け、落下鉄鉱石・石炭の受皿取付、ベルトクリーナー取付、コンベアー接続部の密閉化が行われている。ダストの集塵を行うために、コンベアーの接合部にはフードが設けられる。

詳細については P.156～157を参照。

### 3-2-1 コークス製造— 石炭挿入工程

ダストは、石炭をコークス炉に挿入した時と、コークスをコークス炉から消火車に排出したときに発生する。



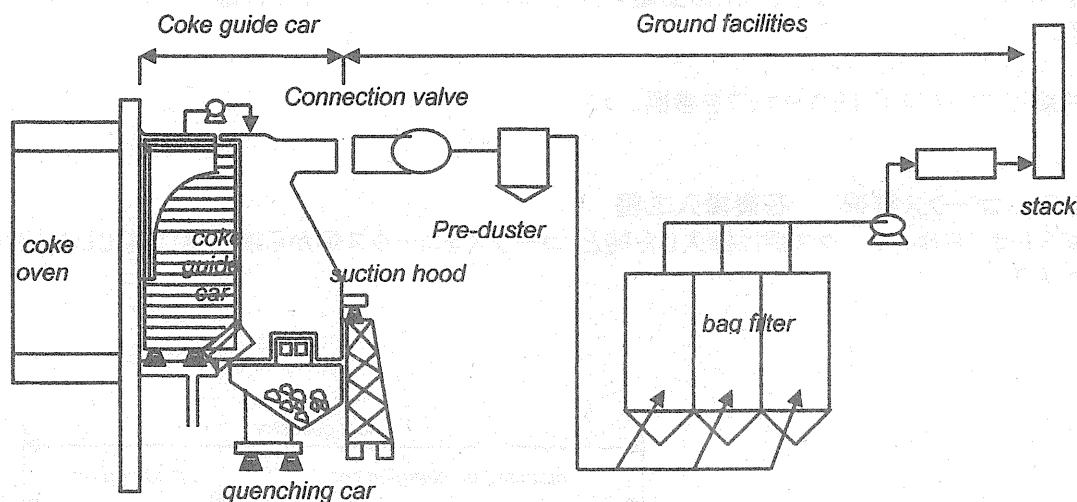
石炭を炭化室に挿入したときに、炉内ガスと石炭の置換により、煙が発生するが、その煙は、石炭が高温の炉内表面に接触したときに発生する水蒸気と微細石炭粉塵を含む。

これらの煙の一部は、上昇管エジェクターに吸い込まれる。しかし、大半の煙は、石炭挿入車に搭載されている燃焼室を経て、地上に設置されている集塵機に吸い込まれる。吸引されたガスは燃焼室で最初に燃焼され、次いで、予備集塵装置で水洗され、さらにベンチュリースクラバーを経て煙突から大気中に排出される。ベンチュリースクラバーの水はシックナーに送られる。

詳細については P.156～157を参照。

### 3-2-2 コークスの製造 — コークス排出工程

炭化室の両側の炉扉を開ける時に、残留ガスがダストと共に煙となって出る。また、コークスがコークスガイド格子に押出される時と、消火車に落ちる時にも、また、それを消火車で消火塔に搬送する際にもダストが発生する。コークスを押出すときには多量のダストが発生するので、この操作中の集塵は非常に大切である。



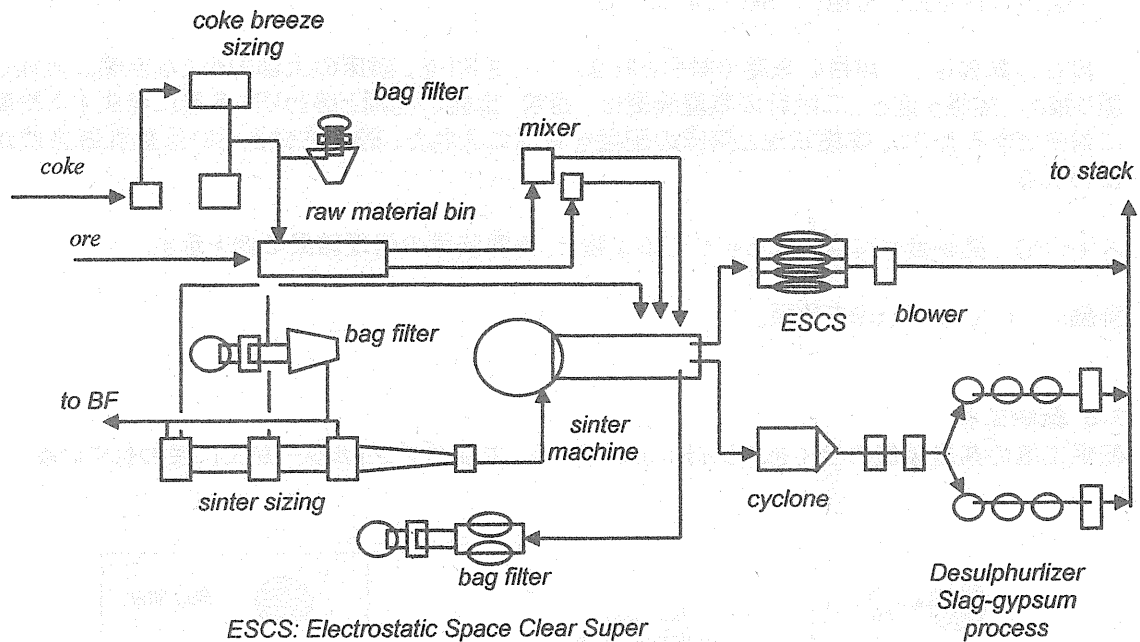
赤熱のコークスが消火車に落ちる時、煙は消火車の上部に取り付けられたフードに吸引され、スライドに示すように、接続弁を経て、地上に設置されたバグフィルターに導かれる。この移動式フードはコークス排出炉の真横まで移動をし、停止するようになっている。

詳細については P.156～157を参照。

### 3-3 焼結工程

製鉄所におけるダストの発生の大部分は焼結工場にある。焼結工場から発生するダストは、見掛電気抵抗値が高いために電気集塵機で除去することが難しい。しかし、ESCS(高性能電気集塵装置)の登場によって除去が可能となった。

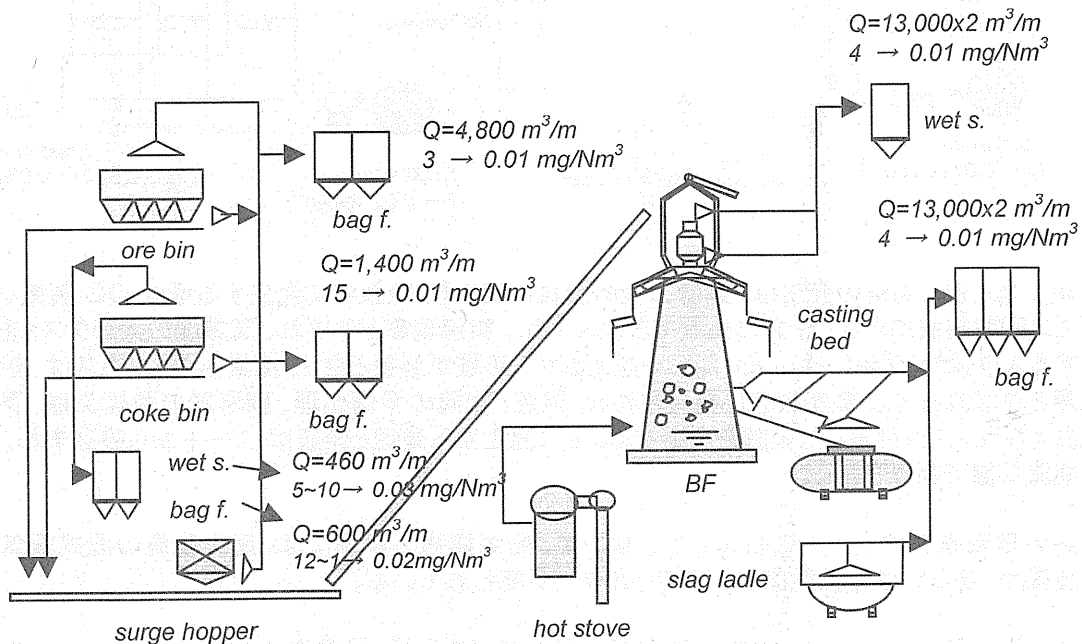
焼結工程から発生するダスト除去のほかに、コークス粉炭サイジング装置と焼結サイジング装置から発生する集塵はスライドで示すように、コンベアー接続部に対する処理と同様に、バグフィルターで処理される。



詳細については P.158を参照。

### 3-4 高炉工程

高炉におけるダスト管理の主なところは、高炉の鑄床の辺りであり、そこでは2段処理が使われている。最初の集塵では、出鉄口、スキマー、熔銑桶および落口から排出されるダストは、上部フードまたは、サイド吸引装置によって吸収される。



高炉の出鉄口の集塵に対して上部フード吸引方式あるいは、サイド吸引方式が、出鉄口部のクレ

ン操作の作業性を考慮して用いられている。

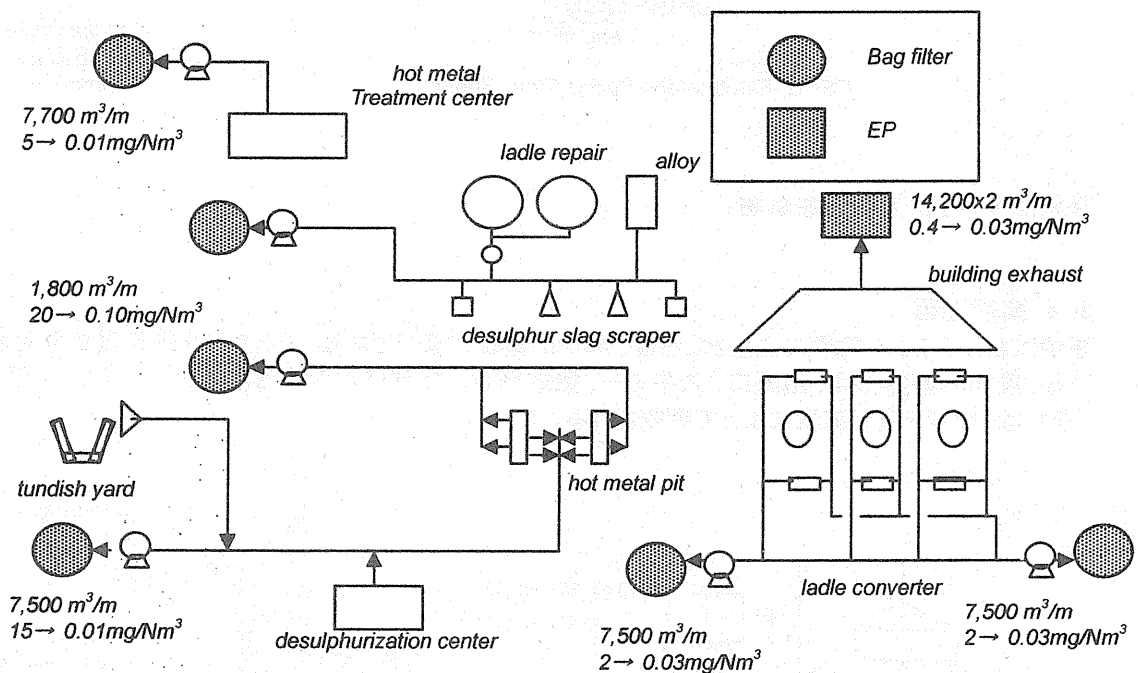
二段目の集塵は、一段目の集塵で吸引されなかったダストを、鑄床の上部の小さな空間に可能な限り集め、捕集を図る。二段目の集塵装置は、通常、出銑の初期と終わりに多量に発生する粉塵に対処できるように、排煙状況と鑄床の配置を考慮に入れた、貯留方式あるいは垂れ幕方式が使われる。

スライドに、高炉操作に含まれるすべての工程と、集塵装置の処理結果の例を示す。

詳細については P.159を参照。

### 3-5 転炉工程

転炉工場の集塵装置の全てをスライドにしめす。ここではバグフィルターが主に使われている。



転炉工場における煙の発生は、吸錬工程の前後に起こる。吸錬中に発生する煙は OG 装置などのガス回収装置によって十分に処理できる。しかし、突沸現象と呼ばれ、高濃度の赤いダストを排出するスロッピング時には、OG 能力を超えるガス処理が必要となり、捕集されないガスは、炉口集塵と呼ばれる環境集塵装置に集煙される。除滓、脱硫の予備処理、副原料の取扱工程、要綱鍋およびランスに付着した金属を切断するときが発生する発煙と発塵は、フードから吸込まれ、環境集塵装置で集塵される。

転炉の建物集塵はそれほど普及していないが、転炉建物の集塵には、屋上設置の湿式電気集塵装置か、あるいは地上設置のバグフィルターが使われている。

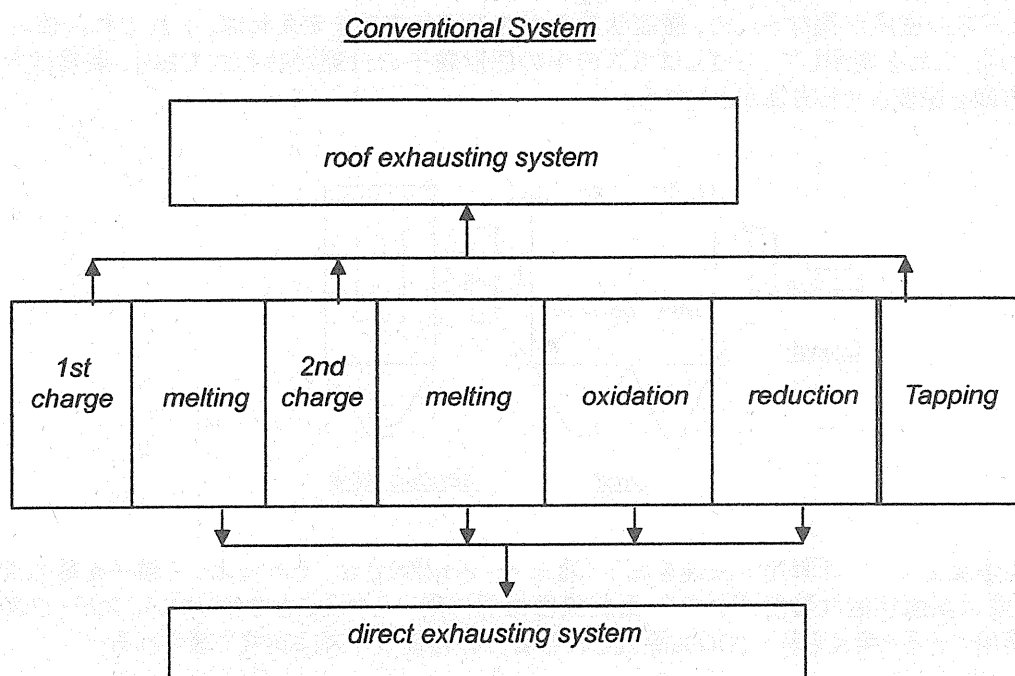
スロッピング防止のために、熔銑成分の安定が重要であるが、異常現象が起こった時には、建物からの粉塵の漏洩を最小限にする必要な対策が必要である。

詳細については P.161 を参照。

### 3-6 電気炉

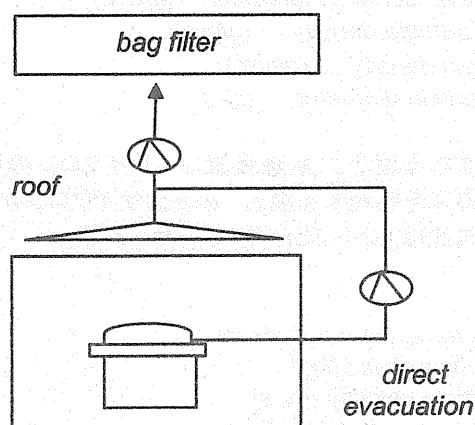
電気炉を使っている製鉄所で発生する排ガスは、主に電気炉と取鍋精錬から発生し、粉塵を含む。さらに、スクラップ鉄に付着した油分が、スクラップ鉄の余熱時に白煙と不快臭を持つヒュームを変わる。

このヒュームを除去するために、(1)直引集塵装置、(2)建屋集塵装置、(3)ドッグハウス集塵装置が用いられる。



直引集塵装置は、電気炉から排出される高濃度の粉塵を含む高温ガスを一定の温度まで下げて、ダストを除去する方法が取られる。

### Doghhouse System



建屋集塵装置は、スクラップ鉄を挿入したり、溶解鉄を炉から排出するために、電気炉の炉蓋を

開けたときに、直引集塵装置の処理能力を超えて漏れた排ガスを捕集するためのものである。

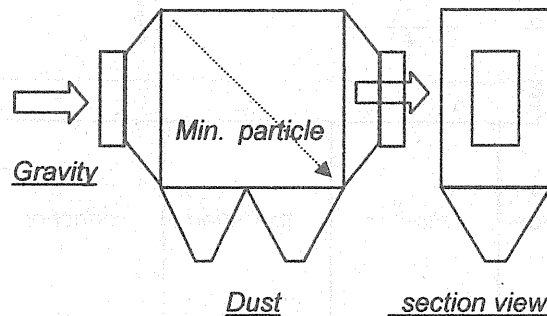
製鉄所の電気炉は、多量の粉塵とともに、騒音を発生する。これらの問題に対して、炉全体を密閉にするドッグハウスは効果的であり、排ガス量を20～30%減らすことも可能である。

詳細については P.162～164を参照。

#### 4. 集塵装置

##### 4-1 Gravitational, Inertial & Centrifugal Dust Collector

粒子とガスの密度が異なるため、層流状態のガスの流れ方向を変えれば、それぞれの流れ方向が変わる。これを利用して、しばしばガスの中の固形粒子の分離が行われており、通常はガスの流れ方向を急変させる方法がとられる。



重力集塵装置では、沈降室で流速を低下(通常1～2m/秒)させ、それによって粒子を重力沈降させる。重力集塵装置は装置が大きく、最終集塵処理に用いられることは余りない。ストークスの法則が適用できると考えられ、100%除去される場合の粒径サイズは次式で表される。

##### Stokes' Law

$$V = (g / 18 \mu) (\rho_1 - \rho) D^2 \quad (\text{cm/s})$$

$V$ : settling velocity (cm/sec)

$\mu$ : gas viscosity (kg/ms)

$g$ : gravitational acceleration (cm/s<sup>2</sup>)

$\rho_1$ : particle density (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho$ : gas density (g/cm<sup>3</sup>)

$D$ : particle diameter (cm)

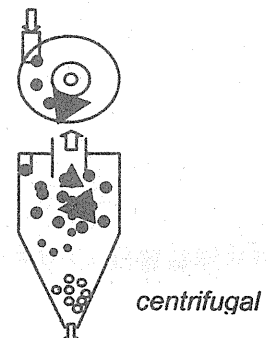
一般的にサイクロンと呼ばれる遠心力集塵装置は、サイクロンの中の粒子に遠心力が作用し、次式で示される。大容量のガスを処理する場合、小さなサイクロンが並列するマルチサイクロンが用いられる。流入部のガス流速は10～25m/秒で設定される。

$$\text{Centrifugal force } (F) = mv^2 / R \quad (\text{N})$$

$m$ : particle mass (kg)

$V$ : particle velocity (m/s)

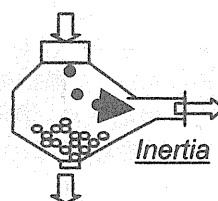
$R$ : cyclone radius (m)





慣性力集塵装置では、ガスの流れを邪魔板に衝突させるか、あるいは急激に方向を変えて慣性力を用いて粉塵粒子を除去・捕集する。

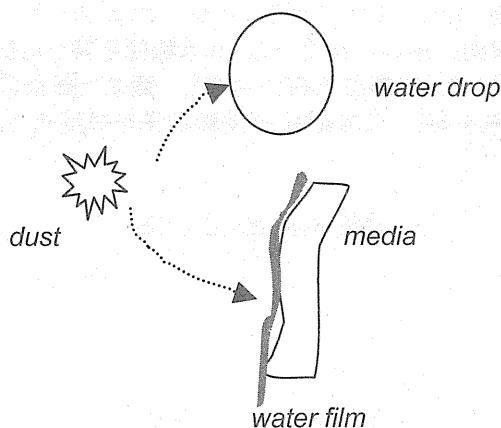
詳細については P.165～166を参照。



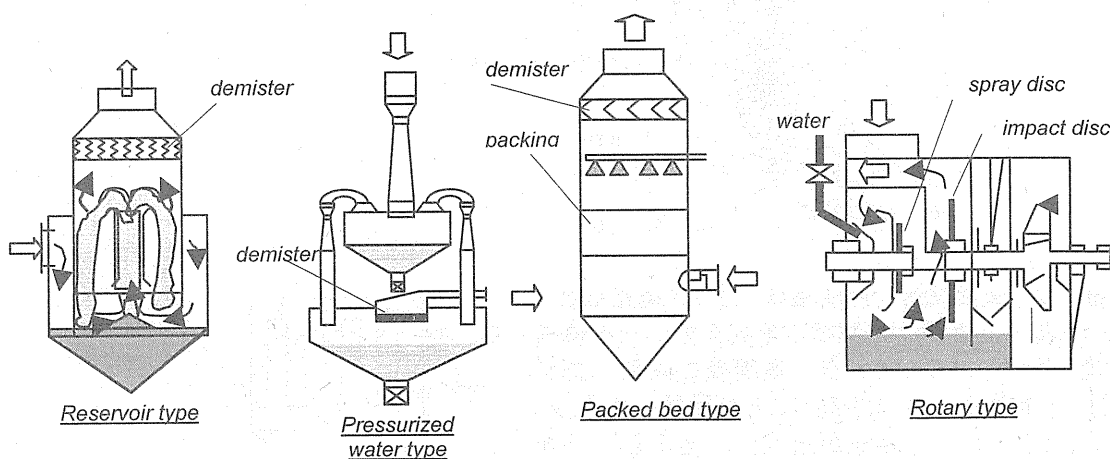
#### 4-2 洗浄集塵装置

湿式集塵装置で知られる、スクラバーはガス中の粒子を除去するのに液体を用いる。湿式集塵装置では、粒子が液滴か、連続的に充填材の表面を流れる液膜に付着して捕捉される。

Principle of dust collection:



いろいろな種類のスクラバーが使われており、スライドに示すように、溜水式、加圧水式、充填層式、回転式に大きく分けられる。



充填材を用いると、塔を小さくできるが、圧力損失が高くなる(それによって効率は高くなる)。スプレー塔の一般的な圧力損失は0.25～0.5kPaである。充填式の場合は、0.25～2kPaである。スプレー塔の場合、液・ガス比は1.3～2.7l/m<sup>3</sup>であり、充填式の場合は0.1～0.5l/m<sup>3</sup>である。

充填式の場合、基本的には、排ガスは塔の下部から入り、上昇流で上部へ移動する。洗浄水は塔の上部から入り、上昇移動してきた汚染ガスの先頭部にスプレーされる。接触により汚染物質は落下流体に吸収され、清浄化されたガスは上部から排出される。充填材(例えば、不規則なプラスチック片)は吸収効率の改善につながる。散水管に取り付けられたノズルから液体が噴霧される。

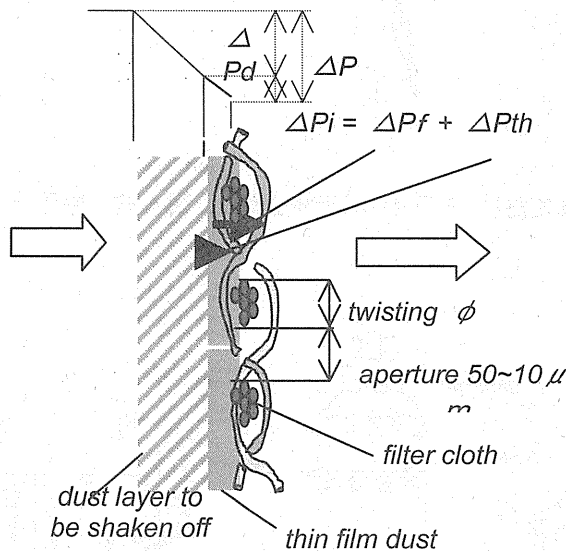
洗浄集塵装置の効率を保つには、その装置特性に合ったガス流速と液・ガス比を選定することが大切である。

詳細については P.166を参照。

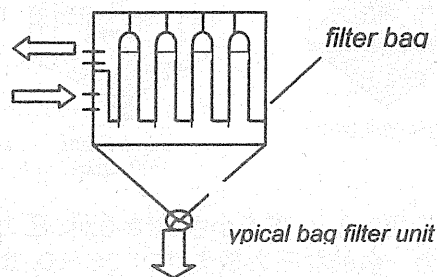
### 4-3 ろ過集塵装置

ろ過集塵装置には、大きく分けて(1)バグフィルターと(2)カートリッジフィルターがある。しかし、バグフィルターが最も一般的に用いられている。ある粒径を持った粉塵を含むガスが、スライドで示すフィルターを通過するとき、粉塵はろ布に付着し、織糸と織糸の間にブリッジを形成する。その初期付着層は多くの細孔を有し、この細孔が微細粒子を捕捉する。

#### Filtration Mechanism



ろ布には、天然繊維、合成繊維、ガラス繊維などを用いた種々の織布や、同様な素材を用いた不織布が使われる。バグフィルター集塵機の運転においては、ろ布表面の閉塞を防ぐことが重要である。バグフィルターの圧力損失が規定値に達すると、ろ布に蓄積したダストを払い落とす必要がある。その方法には二通りあって、間歇式と連続式がある。間歇式では、集塵室が3~4室に区切られている。ろ過装置の入り口と出口の両方に取り付けられたダンパーを閉じて、ろ布に付着したダストを払い落とす。連続式の場合には、ろ過を止めることなく、ろ布に付着したダストを絶えず払い落とす。そのため、圧力損失はほぼ一定値を保ち、高濃度の煤塵・



粉塵を含むガスや、付着性の煤塵・粉塵を含むガスの処理に適している。

見掛上のろ過速度(有効ろ過面積当りの原ガス量)は通常0.3~10cm/秒である。

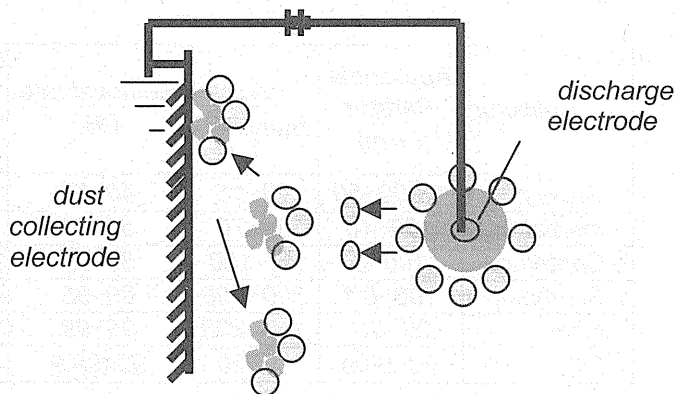
<u>Type:</u>	<u>Filter cloth:</u>	<u>Dust shake-off:</u>	<u>Apparent filtration rate:</u>
(1) bag filter	(1) woven fabric	(1) intermittent	0.3~10cm/s
(2) packed bed filter	(2) nonwoven fabric	(2) continuous	

詳細については P.167~168を参照。

#### 4-4 電気集塵装置

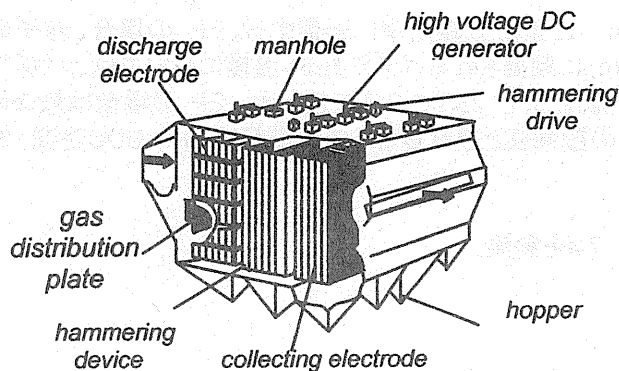
電気集塵装置(EP)は排ガス中の非常に小さな液体や固体粒子を除去するのに用いられる。装置は通常は心線の高電圧電極と、板または管の接地陽電極の間にコロナ放電を発生させる。この電場を衝突しながら通過する粒子は、放電極から集塵電極に移動するイオンによってイオン化される。そしてこれらの粒子は集塵電極に引き寄せられ、集塵電極に静電力で保持される。

Principle of dust collection :



粒子は、槌打衝撃法または水洗によって定期的に取り除かれる。集塵装置は平板か管のどちらかを使うことができる。通常は、スライドに示すように多くの数の電極が付いている。

Structure of EP



EP はガスと粒子の性状にあまり左右されることは無く、高効率集塵が可能であり、圧力損失を伴わずに集塵できる。

詳細については P.168~169を参照。

#### 4-5 集塵装置の選定

集塵装置の選定を行う場合、スライドに示す粒子とガスの物性を考慮しなければならない。

##### Parameter

- particle distribution
- dust concentration
- specific gravity
- electric resistnace rate
- flow rate
- due point
- gas temp.

排煙ガス中のダストの大きさと粒径分布は、それぞれの集塵装置の粒子除去効率に大きな影響を及ぼす。それぞれの集塵装置で除去される粒子径を表に示す。見えない粒子濃度は 20 mg/Nm<sup>3</sup> といわれている。もし、高濃度煤塵ガスにろ布集塵装置を適用すれば、ダスト振り落しを頻繁に行わなければならない。EP は排煙ガスの濃度の影響をそれほど受けない。

Collector	Applicable Particle (μm)	Δp (mmH <sub>2</sub> O)	Removal rate (%)	Equipment Cost (¥/y /Nm <sup>3</sup> /h)	Operating Cost (¥/y/Nm <sup>3</sup> /h)
Gravity	1,000~50	10~15	40~60		
Inertial	100~10	30~70	50~70		
Centrifugal	100~3	50~150	85~95	300~2,200	100~1,000
Scrubbing	100~0.1	300~900	80~95	400~2,200	100~1,300
Filter	20~0.1	100~200	90~99	300~2,100	300~1,100
EP	20~0.05	10~20	90~99.9	400~4,400	100~1,00

粉塵濃度に関しては、重力集塵装置と慣性力集塵装置の場合、大きな粒子と小さな粒子の凝集が促進されるので、粉塵ガス濃度が高くなるにしたがって、高い除去率が得られる。ベンチュリースクラバーとジェットスクラバーの場合、煤塵を高濃度に含むガスに適用すると、ベンチュリーのスロート部が摩滅するので、ダスト濃度 10 g/ Nm<sup>3</sup> 以下のガスに適用すべきである。

スライド4-1に示したように、比重が分離効率に影響する。EP の場合、粒子の最適な見掛電気抵抗率は 10<sup>4</sup>~5x10<sup>10</sup> Ω cm に制御されるべきである。温度に付いては、バグフィルターの場合、ろ布の耐熱温度の限界からおおよそ 250℃以下で使われ、EP の場合は鉄の耐熱温度限界から 500℃以下で使われる。表の設備費と運転費は、年間運転時間6,000時間、電力代 ¥ 14/ kWh を基準に求めている。

詳細については P.170~173を参照。

### 5. 脱硫技術

#### 5-1 製鉄所における排煙脱硫

一貫製鉄所から排出される SO<sub>x</sub>は主に焼結工場が発生しており、工場全体の57%を占めている。コークス製造工程から、直接 SO<sub>x</sub> が大気中に排出されることはない。

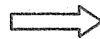
排煙脱硫装置 (FGD) は反応過程により乾式と湿式に分類される。どちらの方式も排煙中の SO<sub>x</sub> を90%除去することができる。今日広く用いられている FGD は、湿式非再生方式である。石灰石

膏法は、運転費が経済的に優れているため、納入装置の40%を占めている。

Method	Reaction	Byproduct
Activated carbon	$SO_2 + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow H_2SO_4$	$H_2SO_4$
Caustic soda	$2NaOH + SO_2 \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O$ $Na_2SO_3 + H_2O + SO_2 \rightarrow 2NaHSO_3$	$Na_2SO_4$
Ammonia	$2NH_4OH + SO_2 \rightarrow (NH_4)_2SO_3 + H_2O$ $(NH_4)_2SO_3 + SO_3 + SO_2 + H_2O \rightarrow 2NH_4HSO_3 + H_2O$	$(NH_4)_2SO_4$
Slaked lime	$CaO + SO_2 \rightarrow CaSO_3$ $CaSO_3 + O_2 \rightarrow 2CaSO_4$	$CaSO_4$

湿式方式において、二酸化硫黄は、石灰(CaO)、苛性ソーダ(NaOH)、アンモニア((NH<sub>3</sub>))、消石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)などと反応する。消石灰は亜硫酸カルシウム(CaSO<sub>3</sub>)を生成し、その一部は煙道ガス中の酸素との反応と、後段のスラッジのばっ気により硫酸カルシウム(CaSO<sub>4</sub>)に変換される。硫酸カルシウム(石膏)は安定物質であり、石膏板の主成分である。そのほか、石灰石膏法は設備費と運転費が経済的に優れており、装置の安定性が高いために、日本では広く使われている。

Limestone - Gypsum Process  
SOx Rem. >90%



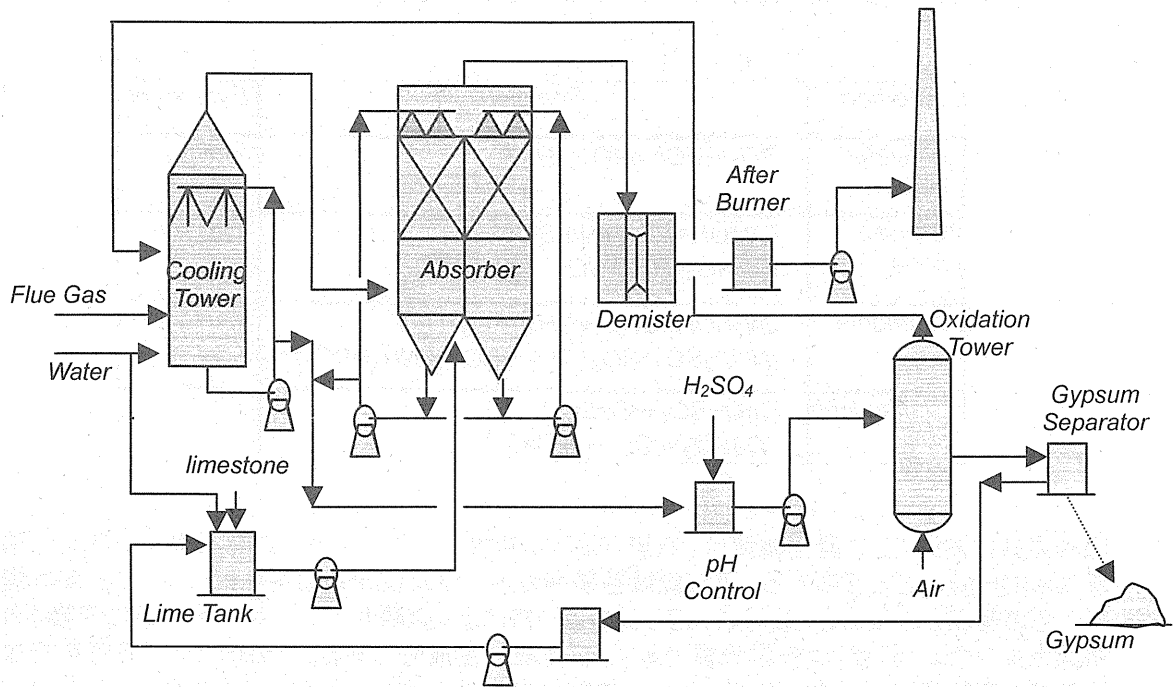
most popularly used method  
In Japan

- limestone ⇒ cheap
- initial & operating cost ⇒ economical
- systems stability ⇒ stable & safe
- gypsum ⇒ marketable

詳細については P.182を参照。

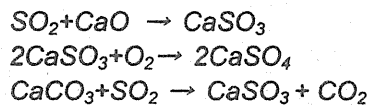
## 5-2 石灰石膏法

スライドに示すフローは製鉄所で使われている石灰石膏法の例である。煙道ガスは温度を下げるために、冷却塔に導かれ、次いで吸収塔に入り、そこで粒径50~60ミクロンの石灰粉を含むスラリー状の循環吸収液(10~20%)と効率よく接触し、SO<sub>2</sub>は液に吸収され除去される。



吸収塔で、石灰は亜硫酸カルシウム (CaSO<sub>3</sub>) を生成し、その一部は煙道ガス中の酸素との反応と、酸化塔のばっ気により硫酸カルシウム (CaSO<sub>4</sub>) に変換される。その後、煙道ガスは、デミスター、アフターバーナー、煙突を通り大気中に放出される。

Reaction



された吸収液は石膏分離機に運ばれ、そこで脱水機によって、水分10%以下の結晶石膏として取出される。脱水機の上澄み液は石灰タンクに返送される。

石灰石膏法に使われる吸収液は石膏粉末もしくは消石灰である。強い反応性を有する消石灰は、当初用いられたが、値段が高いために現在では石灰法が主流となっている。

詳細については P.183 を参照。

**5-3 コークス炉ガスの脱硫法**

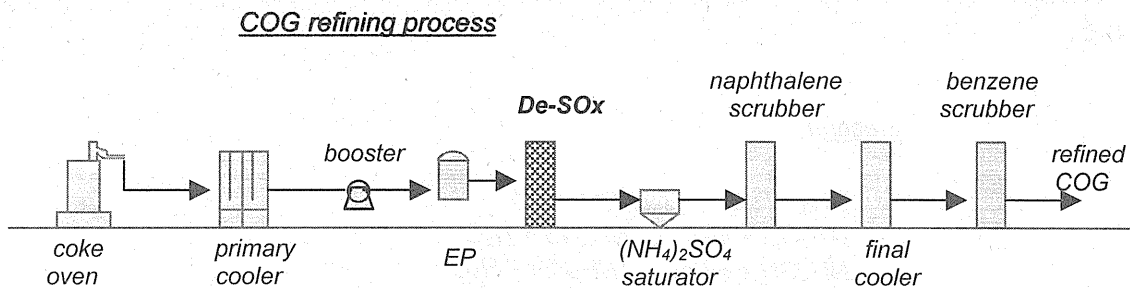
コークス炉ガス (COG) は 4~7g/ Nm<sup>3</sup> の硫化水素 (H<sub>2</sub>S) を含み、同じカロリーを持つ、1% の硫黄を含む重油に匹敵する。COG は再加熱炉の燃料に使われるので、COG の脱硫は SO<sub>x</sub> 低減対策としては大きな効果をもたらす。その上、脱硫は COG 配管内部の腐食を緩和する。

COG の脱硫は脱硫剤にアンモニア、炭酸ソーダなどを使って行われる。これらの工程で発生する廃液は、酸化燃焼法、還元酸化、湿式酸化などの方法で処理される。現在では、タカハックスプロセスとフマックスプロセスが COG 脱硫の主流となっている。商業的に利用できる幾つかの COG

脱硫方式と、それらの脱硫剤、触媒と副産物を表に示す。

System	DeSOx-chemical	Catalyst	Byproduct
Takahax-Hirohax	NH <sub>3</sub>	naphthoquinone sulfonic acid soda	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Takahax-Reduction Decomposition	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	naphthoquinone sulfonic acid soda	crude S
Fumax-Hemibau	NH <sub>3</sub>	picric acid	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Stred Ford-Combax flue gas De-Sox	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	anthraquinone sulfonic acid soda metavanadate soda T artaric acid soda	gypsum
Diamox-claus	NH <sub>3</sub>	none	pure S
Salfiban-claus	alkanol amine	none	pure S

COG の脱硫装置はスライドに示すように、COG 精製工程のちょうど中間で行われる。



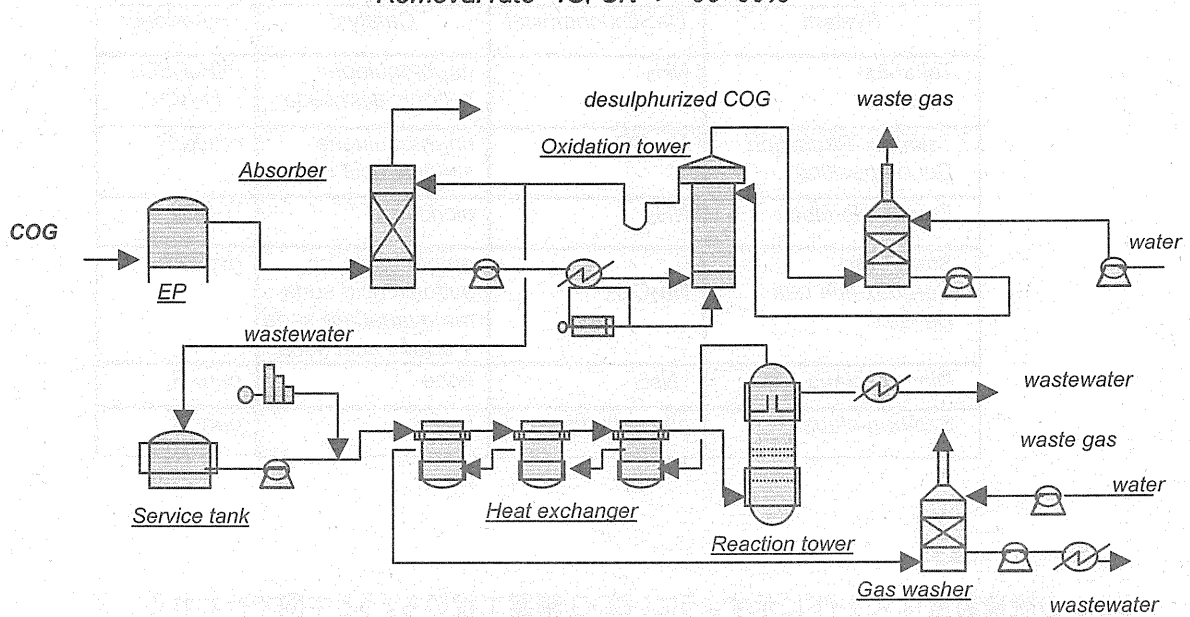
詳細については P.188~189を参照。

#### 5-4 タカハックス・ヒロハックス法

タカハックス(脱硫)とヒロハックス(廃液処理)のプロセスをスライドに示す。COG は昇圧送風機で昇圧され、EP に入り、ガス中のタールはおおよそ99%除去される。次に、ガスは充填接触材の入った吸収塔で触媒(1,4-ナフトキノンスルホン酸ナトリウム)を含む液と接触し、COG 中の約30%のアンモニア(NH<sub>3</sub>)が水に溶ける。この溶解した NH<sub>3</sub>は、COG 中の硫化水素(H<sub>2</sub>S)とシアン化水素(HCN)と反応し、いわゆる脱硫と脱シアンが行われる。H<sub>2</sub>SとHCNの除去率は共に90~99%である。その後、脱硫されたCOGはアンモニア飽和器に入る。

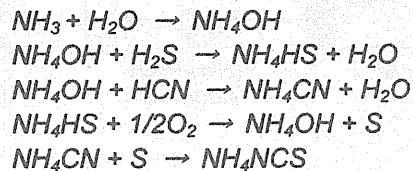
### Takahax-Hirohax Process

Removal rate :S, CN > 90~99%



吸収液は酸化塔に入り、触媒下で空気酸化によって水酸化アンモニウム(NH<sub>4</sub>OH)に再生される。この酸化の間に、シアン化アンモニウム(NH<sub>4</sub>CN)はチオシアンアンモニウム(NH<sub>4</sub>NCS)に変換される。

### Reaction



循環吸収液の一部は抜取られ、60 kg/cm<sup>2</sup>まで昇圧ポンプで加圧され、空気と一緒に反応塔に入る。廃吸収液は熱交換器で反応塔の排ガスで200 °C以上に加熱される。反応塔に入った廃吸収液は湿式酸化状態におかれ、すべての硫黄化合物は硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)あるいは硫酸アンモニウム((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)に、また、窒素化合物はアンモニア(NH<sub>3</sub>)に変換される。湿式酸化液は廃液処理装置に送られる。反応塔からの排ガスは水洗され、大気中に排出される。ガス洗浄塔の廃液も廃水処理設備に送られる。

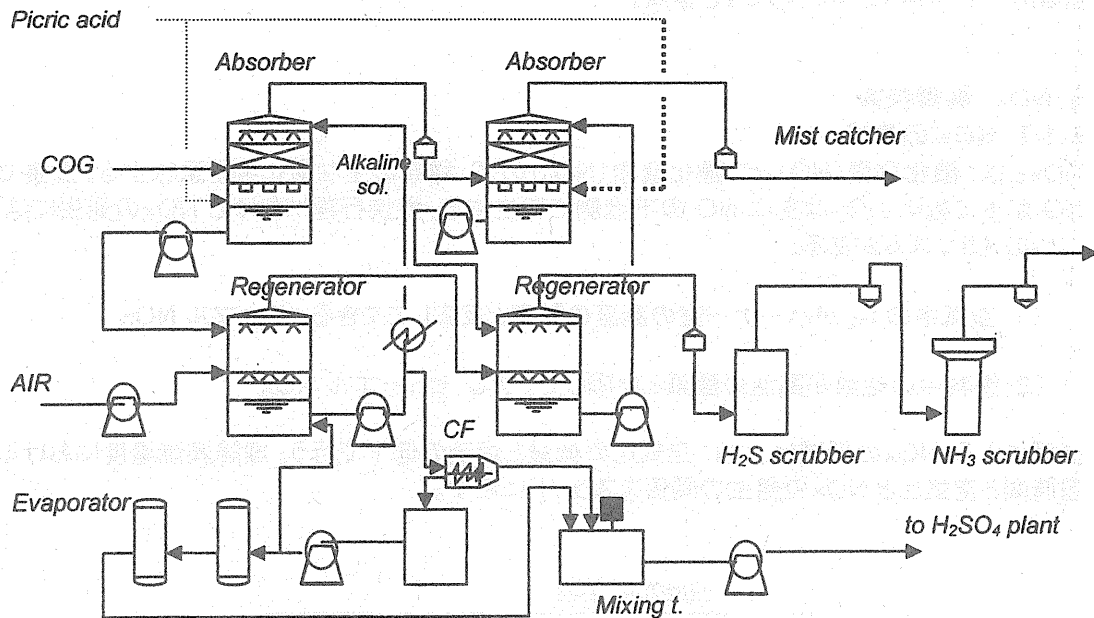
詳細については P.189~190を参照。

### 5-5 フマックス法

フマックス法をスライドに示す。

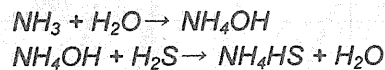


### Fumax Process



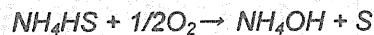
COG は2 段スクラバーでアンモニア溶液と接触し、脱硫される。一段目の吸収塔で COG 中の硫化水素(H<sub>2</sub>S)はアンモニア溶液に吸収される。

#### Absorption



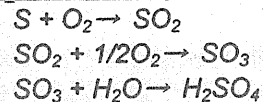
H<sub>2</sub>S の吸収によって形成された硫化アンモニウム(NH<sub>4</sub>HS)は、空気で酸化され、再生塔で水酸化アンモニウム(NH<sub>4</sub>OH)に再生される。再生された吸収液は吸収塔で繰返し使用される。

#### Regeneration



再生塔でできる硫黄(S)は遠心分離機により、廃吸収液から分離され、硫酸製造工場へ送られる。遠心分離機の分離液は蒸発器で濃縮され、硫黄と一緒に硫酸工場に送られる。

#### H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> recovery



硫酸工場では、硫黄は SO<sub>3</sub> に酸化され、水に吸収して、硫酸に変換する。

二段目の再生塔の排ガスは、H<sub>2</sub>S スクラバーでアルカリ溶液洗浄されて H<sub>2</sub>S が除去され、NH<sub>3</sub> スクラバーで酸溶液洗浄による NH<sub>3</sub> 除去後、大気中に排出される。

詳細については P.190～191を参照。

## 6. NO<sub>x</sub> 制御技術

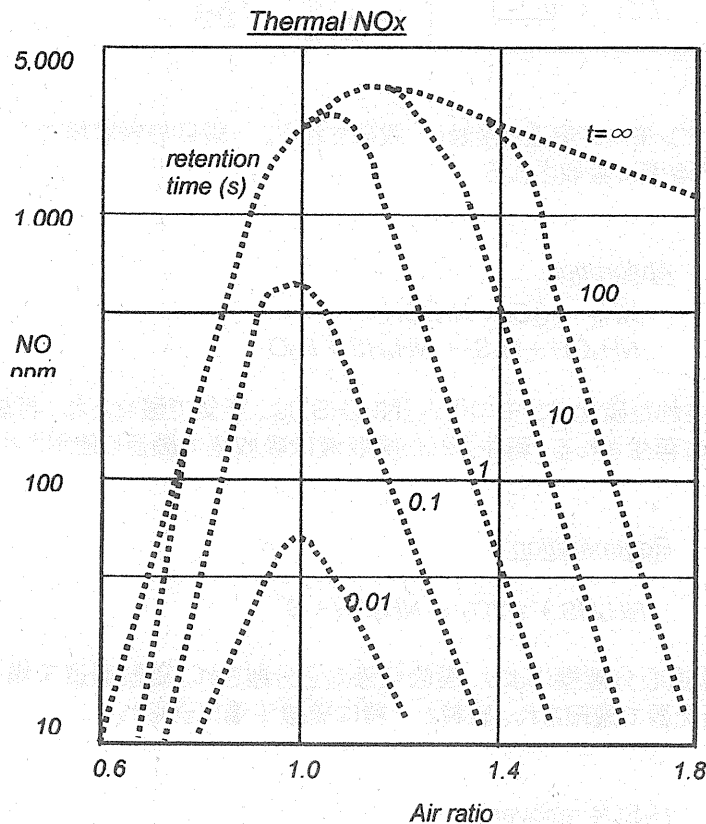
### 6-1-1 NO<sub>x</sub> の生成

NO<sub>x</sub>とは、酸化窒素(NO)と二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)の2種類の主な酸化物を意味する。燃焼では、NOが主であり、NO<sub>2</sub>は主にNOの下流側で派生する。燃焼行程におけるNO<sub>x</sub>の発生には主に二つのメカニズムがある。

(1) 空気中のN<sub>2</sub>がバーナー室の高温の酸素と反応してできる、サーマル NO<sub>x</sub>

(2) 燃料中の窒素が高温の酸素と反応してできる、ヒューエル NO<sub>x</sub>

操炉によるNO<sub>x</sub>の低減は、主に空気比の低減と炉温の低下で行う。理論燃焼温度における、滞留時間と空気比とNO<sub>x</sub>の発生の関係をスライドに示す。



空気比が増加するある地点までは、滞留時間が長くなるほど、NO<sub>x</sub>濃度は比例的に増加する。しかし、図から判るように、空気比が一定値を越えると、燃焼温度の低下に伴い、NO<sub>x</sub>濃度は減少し始める。

種々の燃料中の窒素と硫黄の含有量を表に示す。燃料中に含まれる窒素で、石油や石炭に入っているキノリンやピリジン、また、気体燃料に含まれるシアン化水素(HCN)やアンモニア(NH<sub>3</sub>)は、空気中の窒素(サーマル NO<sub>x</sub>)より容易にNO<sub>x</sub>に変わることが知られている。

N and S contents in fuels

	Fuel	N	S
Solid wt%	coal	0.7~2.2	0.3~2.6
	coke	0.6~1.4	0.2~1.0
Liquid wt%	crude oil	0.03~0.34	0.1~3.0
	C-oil	0.2~0.4	0.2~0.3
	B-oil	0.08~0.35	0.2~0.3
	A-oil	0.005~0.08	0.2~0.3
	light oil	0.004~0.006	0.03~0.5
	kerosene	0.0005~0.01	0.001~0.2
Gas g/Nm <sup>3</sup>	COG-crude	0~9	1.5~7
	COG-fine	0.02~0.5	0.05~0.7
	BFG	tr	tr
	LDG	tr	tr
	LPG, LNG	tr	tr

※ JIS K2205 kinematic viscosity (cSt, mm<sup>2</sup>/s) C-heavy oil: 50 ≤ ~1,000, B-heavy oil: 20~50, A-heavy oil: ≤20

燃料中の全窒素に対して、燃料中の窒素の NO<sub>x</sub>に実際変わる比率を“燃料 NO 変換率”と言う。その比率はおおよそ12~15%の範囲である。

詳細については P.194~195を参照。

### 6-1-2 NO<sub>x</sub> 生成と低減の要因

NO<sub>x</sub>生成に関係する要因は：

- (1) 燃料中の窒素濃度
- (2) 燃焼時の空気比
- (3) バーナー火炎温度
- (4) 高温域におけるガスの滞留時間

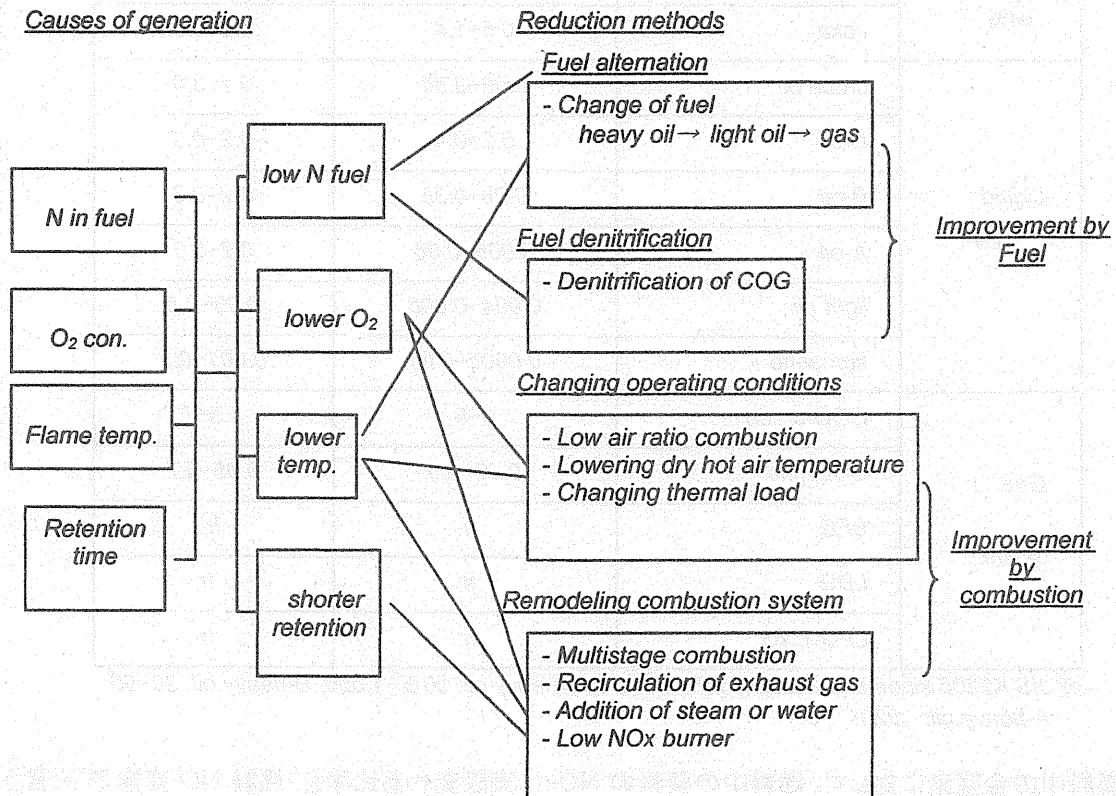
NO<sub>x</sub>の発生を低減する対策として：

重油から、軽油またはガスへの燃料転換は有効であり、低カロリー燃料に変えていくことになり、燃料中の窒素が低下し、燃焼温度が低下する。

製鉄所では、COG の脱窒は NO<sub>x</sub>排出の低減に直接効果がある。

操業条件のつぎのような変更は効果的である：

- (1) 空気比低減
- (2) 乾燥高温空気温度を下げる
- (3) 燃焼室への熱負荷の低減



若し可能であれば、燃焼装置を次のように変更する：

- (1) 多段燃焼の採用
- (2) 排ガス循環方式の採用
- (3) 燃焼室に水蒸気または水を注入できる構造に変更
- (4) 低 NO<sub>x</sub>バーナーの採用

詳細については P.196を参照。

## 6-2 燃料の改善

### 6-2-1 燃料改善

Nox 低減のためには低窒素含有燃料の使用が有効である。一般的に、硫黄含有量の低い燃料は、窒素の含有率も低い。製鉄所で広く使われる COG は 1~9 g/m<sup>3</sup> の窒素を含んでいる。これは、燃料ガスと燃焼用空気の予熱時間と温度が、800~1,000℃で、滞留時間が4~6秒である上に、コークス炉には膨大な数の燃焼室があるため、各炉の空気比を制御することが困難なことによる。

- 1. Use of low N and low S fuel  $S \propto N$
- 2. Denitrification of COG  $N \sim 9 \text{ g/m}^3 \quad 800 \sim 1,000 \text{ }^\circ\text{C}, \quad 4 \sim 6 \text{ sec.}$

詳細については P.196～200を参照。

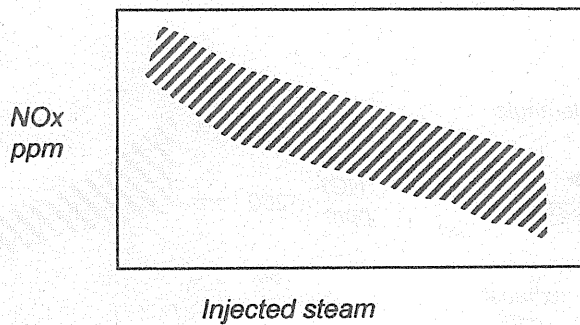
### 6-2-2 燃焼方法の改善

前のスライドで説明したように、空気比を低下させると、確実に NOxの生成量は少なくなる。例えば、排ガス中の酸素濃度が1%低くなれば、NOxは10%低下する。多段燃焼法は、燃焼用空気を2段もしくは多段に分けて燃焼ポートに送るが、例えば、一段目に理論空気量の80～90%を送風し、残りの空気を二段目、あるいはそれ以降のポートに送風して燃焼すると、NOxは20%低下した実績がある。水蒸気または水を燃焼室に注入することは、潜熱を利用することにより、熱容量を高めることになるので、同じ熱量であっても火炎温度を低くし、NOxが抑制される。

- 1. Low air ratio operation  $O_2 \text{ 1\% } \downarrow \Rightarrow NOx \text{ 10\% } \downarrow$
- 2. Multistage combustion  $1^{st} \text{ stage air ratio; } 80 \sim 90\% \quad NOx \rightleftharpoons \Delta 20\%$   
 $rest \text{ air } \rightarrow 2^{nd} \text{ stage combustion } \rightarrow$

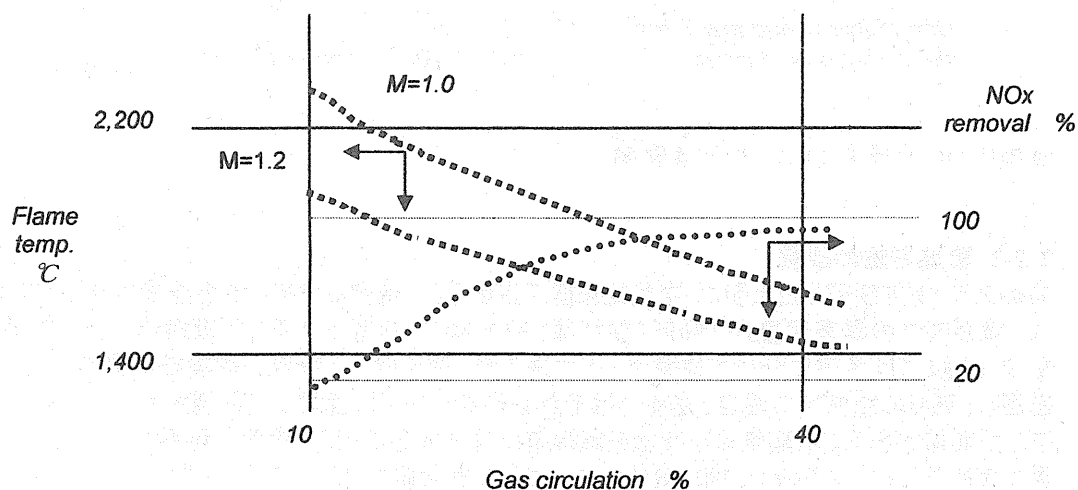
図には、水蒸気で注入される熱量と NOx発生濃度の関係を示す：

- 3. Steam or Water injection  $flame \text{ temp. } \downarrow \Rightarrow Knox \downarrow$   
 $no\text{-change in generated calorie}$



排ガス循環では、燃焼排ガスの一部が燃焼空気に混合される。燃焼空気の酸素濃度が排ガスによって希釈され、通常空気より低くなり、酸素と燃料の反応が遅くなり、その結果、火炎の最高温度が低くなる。これらの関係を図に示す。

#### 4. Exhaust gas circulation

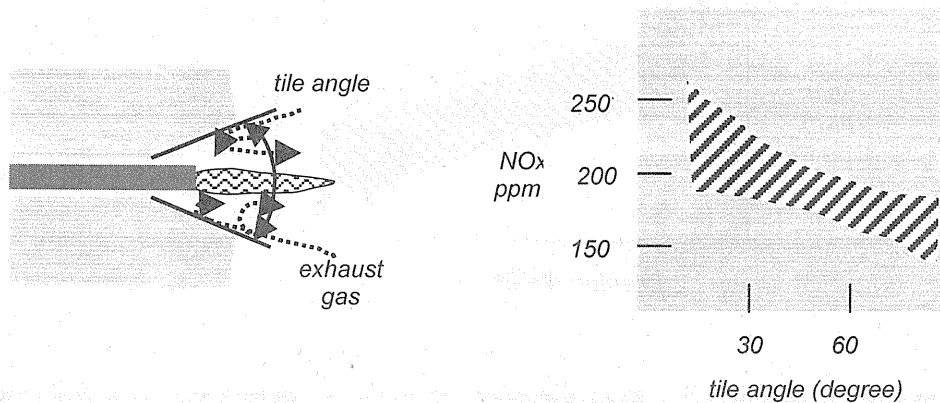


#### 5. Low- NOx burner

低 NOxバーナーは NOxを低減する方法のひとつであり、酸素濃度の低下、火炎温度の低下、高温温度域におけるガス滞留時間の短縮などの何れかの方法を採用するか、これらの方法を組合せた構造を有している。

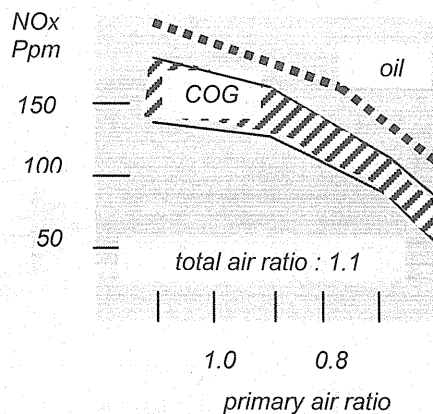
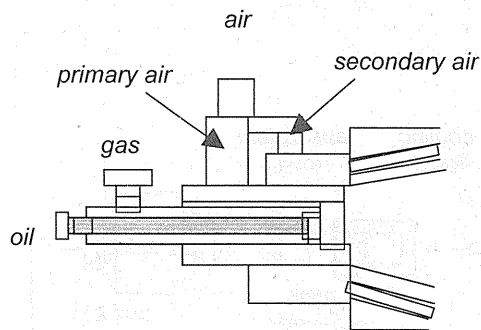
広角バーナータイル:

バーナータイル角を広くすると、タイル近くの燃焼排ガスは、火炎の運動エネルギーによってタイル角内に吸込まれ、燃焼空気の酸素分圧が低くなり、同時に、火炎温度が低下し、NOx生成の低減につながる。



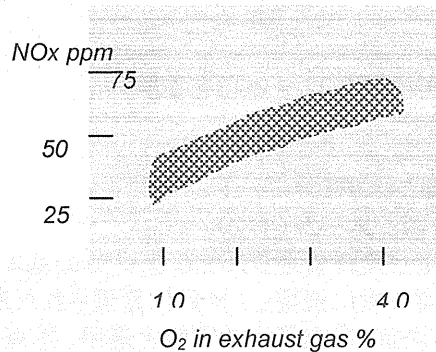
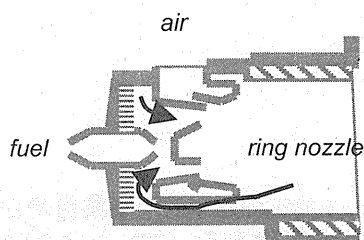
二段燃焼バーナー:

この方法はバーナーを二段燃焼にすることにより、長い火炎を形成し、火炎の最高温度を下げ、NOxの生成を低減する。



**自己再循環バーナー:**

このバーナーは、燃焼空気の運動エネルギーによって、燃焼ガスがフレームの中に吸込まれ、その結果、火炎温度が低くなる。



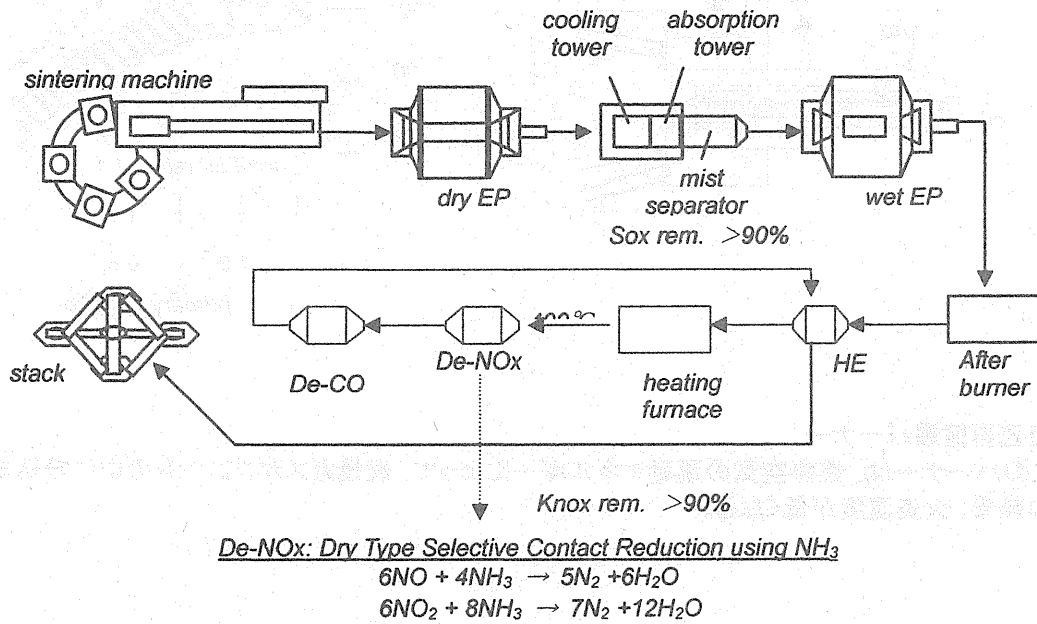
詳細については P.196~202を参照。

**6-3 排ガスの脱硝**

燃料の燃焼で発生する NOxの大部分は、反応性が低いので、このような NOxを除去することは技術的に困難である。種々あるプロセスの中で、最も革新的な方法に、アンモニア(NH<sub>3</sub>)を用いる乾式を選択接触還元法がある。この方式は、クリーンなガス(煤塵、煤煙、SOxを含まない排ガス)処理に対して商業的に適用でき状態まで達しているが、特に焼結工程などの汚染ガスに不用意に適用すると、触媒活性の低下、触媒層の閉塞などの問題がまだ残っている。

焼結工場(生産能力 7,000t/d)における脱硝の例をスライドに示す。排ガスは、乾式 EP に入り、そこで煤塵と煤煙が除去され、石灰石膏法による排煙脱硫装置により90%以上の SOxが除去される。次工程で、ガスは EP で処理され、アフターバーナー、熱交換器、加熱炉により 400°Cに昇温され、脱硝装置で90%以上の NOx が除去され、一酸化炭素(CO)除去装置に入り、触媒を用い

て一酸化炭素を酸化し、ガス温度を上昇させ、その後、熱交換器を介してアフターバーナーから出てくる排ガスの加熱に利用される。

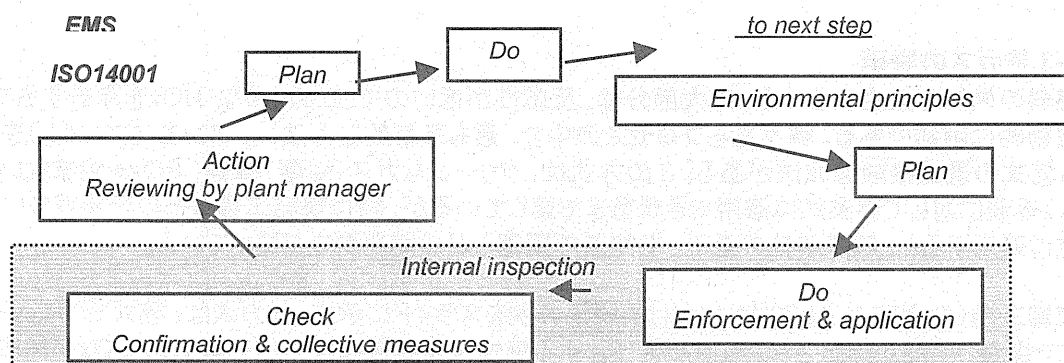


詳細については P.202~203を参照。

## 7. 環境管理システム

### 7-1 環境管理システム (1/2)

ISO14001 標が環境管理システム(EMS)の基本となっている。EMS の狙いは、企業自身が排出する汚染物質を常に把握し、良好に管理された環境条件を保つことにある。ISO 14001は、①環境方針の決定、②計画、③実施と運用、④点検と是正、⑤経営層による見直しを要求している。



工場建設および操業時に考慮しなければならないことは:



1. 環境影響評価は、工場周辺の自然環境状態の事前調査を行うことを絶対に必要としている。
2. 排出に対する環境基準と規制を理解することが重要である。
3. 工場と大気汚染防止装置を計画するとき、排出基準に適合する、許容汚染物量を計算すること。工場で発生する汚染物質排出上限値を満足する種々の方法から、最も経済的な方法を選ぶこと。
4. 全製鉄所の適正な運転管理と、作業者のトレーニングが重要である。
5. 製鉄所から排出される汚染物質の監視は排出基準を達成するために重要である。
6. 工場の全従業員は、環境管理に最大限の努力を払わなければならない。事故が起こった現場の担当者は、関係機関に発生したことを報告しなければならないし、損害を最小限に食い止めるように努力をし、自治体と住民の理解を得なければならない。

詳細については P.271～280を参照。

## 7-2 環境管理システム (2/2)

企業は状況に適合するために、工場から排出されるガス量と性状に付いて自らが調査、分析、記録をしなければならない(モニタリング)。大気中に排ガスを排出する企業は、排気ガスの性状が定められた排出基準にたいする適合状態を把握し、点検するために監視しなければならない。

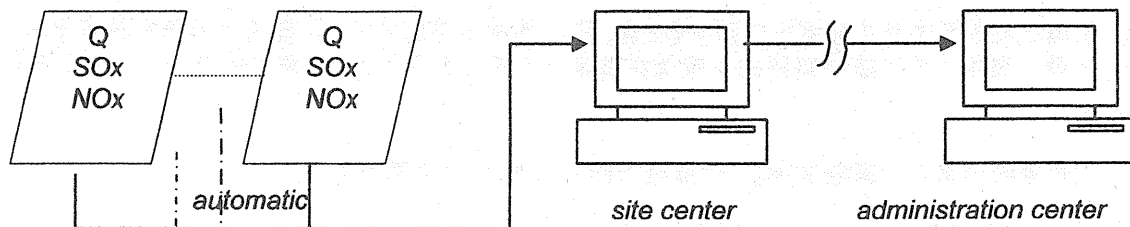
環境基本法と大気汚染防止法に基づく大気汚染物質のモニタリングは、企業が行う“排出性状の監視”と、自治体が行う“大気汚染監視”に大別される。排気ガス基準と環境基準(EQS)で規定されている項目をスライドに示す。

### Measurement Items

	<i>Emission Standard</i>	<i>EQS</i>
<i>Pollutants</i>	<i>dust</i> <i>sulfur oxide</i> <i>nitrogen oxide</i> <i>Cd, its compounds</i> <i>Cl, HCl</i> <i>F, HF, Si<sub>n</sub>F<sub>2n+2</sub></i> <i>Pb, its compounds</i>	<i>Suspended particle matter</i> <i>SO<sub>2</sub> (sulfur oxide)</i> <i>NO<sub>2</sub> (nitrogen oxide)</i>  <i>CO</i> <i>Photochemical oxidant</i>

テレメーターシステムは、主に、排ガス中の SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>濃度、排ガス量などを自動的に計測する機器で構成されている。それらのデータは、コントロールセンターに集められ、そこで大気中に排出される全汚染物質質量を分析し、汚染物質の排出状況を監視する。総量規制を受けている工場は、各地方自治体の監視センターにデータを送る。

Telemeter System



詳細については P.253～255を参照。

**8. 省資源**

粉塵の収集設備の行き届いた一貫製鉄所で集められるダスト量は銑鉄生産量の4.9%である。生産能力3百万トンの一貫製鉄所の場合の、ダスト発生推定量をスライドに示す。

Dust Generation & Utilization

Dust Generation at 3 million-ton Crude Steel Production (t / y)

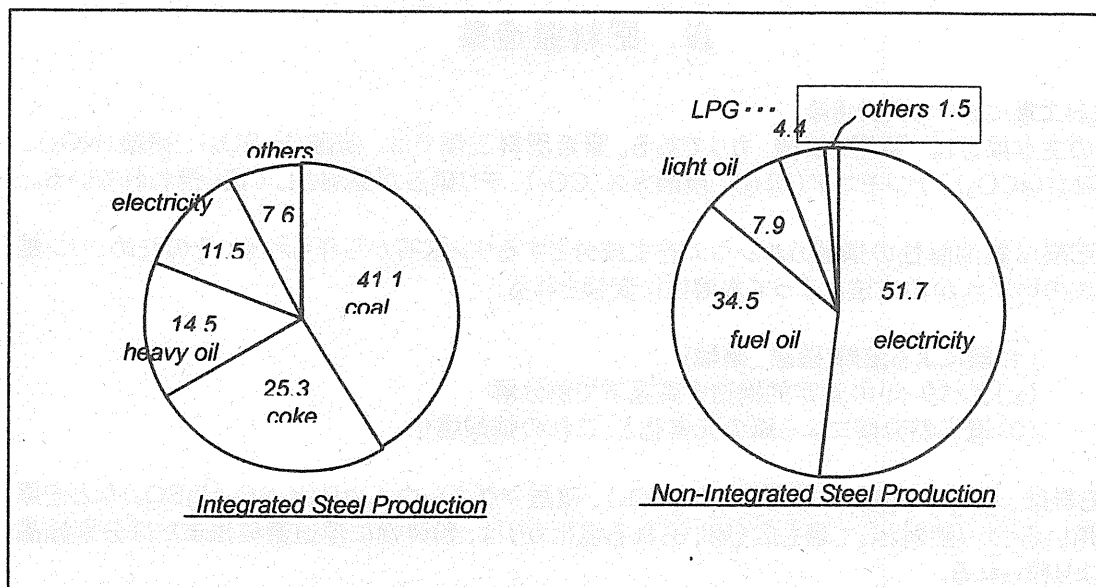
<u>Process</u>	<u>Dry Dust Collector</u>	<u>Wet Dust Collector</u>	<u>Total</u>
<u>Material / Pig Iron</u>	<u>111,000</u>	<u>38,000</u>	<u>149,000 (61%)</u>
<u>Steel</u>	<u>33,000</u>	<u>60,000</u>	<u>93,000 (38%)</u>
<u>Rolling</u>	<u>2,700</u>	<u>300</u>	<u>3,000 (1%)</u>
<u>Total</u>	<u>146,700 (60%)</u>	<u>98,300 (40%)</u>	<u>245,000 (100%)</u>

ダストは、酸化鉄、炭素、石膏などの有用な成分を含み、製鉄所内で再使用される。

詳細については P.205～206を参照。

**9. 省エネルギー**

エネルギー源は製鉄所が高炉を有するか、あるいは高炉を持たない非一貫製鉄所により大きく異なる。さらに、コークス、電気、酸素が工場内で作られるか、外部から購入するかによっても異なる。



省エネルギーは大気汚染物質を削減することにつながる。省エネルギーの方法としては：

- (1) 高効率機器の採用と、操業方法の改善
- (2) 単位操作の数を可能なだけ削減し、可能な限りの連続運転方式に変える
- (3) 廃熱の可能な限りの回収

Energy saving Method

- high efficient equipment & improving operation
- reducing the number of unit operations  
& changing to continuous process
- waste heat recovery

詳細については P.210, 216~220を参照。