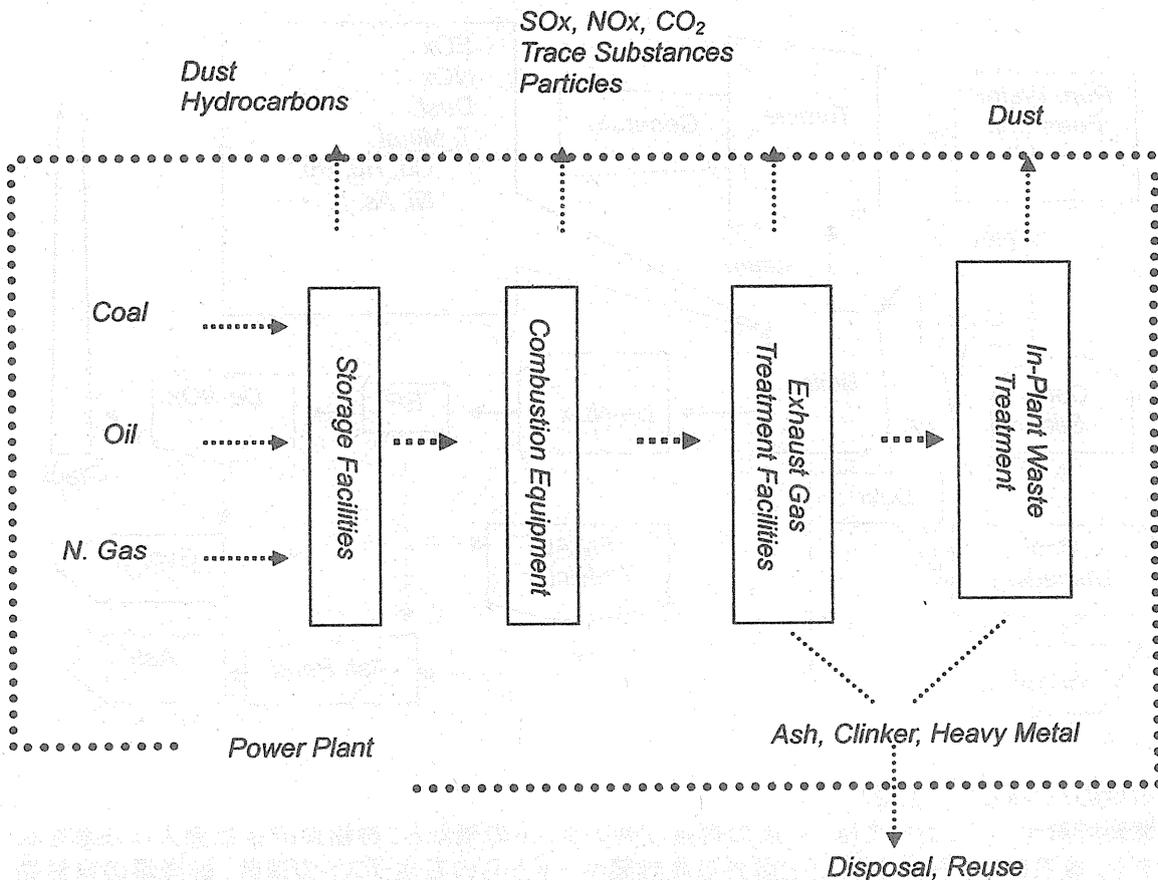


I. 電力業

1. 火力発電所の大気汚染

1-1 汚染物質の排出

火力発電所ではタービン発電機を動かすために、通常は石炭、油、天然ガス(N Gas) が燃料として使われる。スライドに示すように、火力発電の工程においては、SOx、NOx、CO₂、ダスト、炭化水素、それに微量物質が大気汚染物質として排出され、処理工程副産物は再利用されるか、あるいは廃棄処分される。



これらの汚染物質の個々の具体的な除去方法については、2 ページ以降に記載する。ただし炭酸ガスについては今回触れていない。

当然、地球環境問題の中で、近年世界中で議論の高まっている「地球温暖化」と「酸性雨」の問題は、火力発電と深い係わり合いをもっている。

議論されている地球温暖化については、温室効果ガスとして、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、酸化窒素(N₂O)、などがあり、化石燃料の燃焼によって排出されるCO₂がこの問題に大きな影響を与えていると考えられる。この地球温暖化の問題はまだ解明されておらず、われわれの経済活動を維持し続けるために、その因果関係と対策の科学的解明に至っていない。地球温暖化は国家が扱う問題であり、京都議定書に基づき温室効果ガスの排出量を低下、あるいは、封じ込め

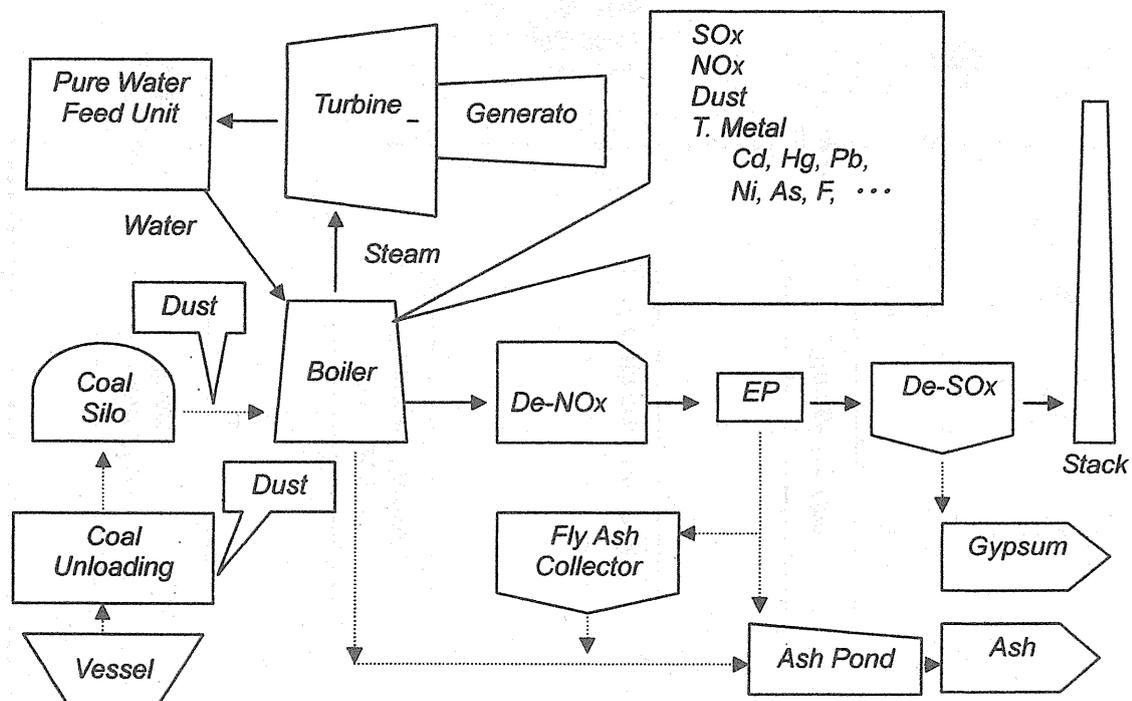
を行っていくべきである。

酸性雨対策については、後述の SOxの低減対策に関するスライドでいくつかの防止方法を説明する。

詳細情報については、P.71~76 を参照

1-2 石炭火力発電所における汚染物質と汚染防止

石炭火力発電所では、主に(1) ボイラーから汚染物質が排出され、その他には(2)乾燥石炭の荷揚げサイトからも発生する。石炭火力発電所における大気汚染物質の発生についてはスライドに示す通りである。



石炭のハンドリング工程:

燃料貯蔵ヤードにおいては、石炭の荷揚げ時のダストの飛散と、微粉炭の自然発火に注意を要する。後者には、石炭ホイストと屋外石炭貯蔵ヤードからの石炭ダストの飛散、貯炭場の自然発火、それに屋内貯炭場における石炭粉塵爆発がある。

また、大気汚染は貯炭ハウスからボイラーに移送する工程や、粉碎工程でも起こる。

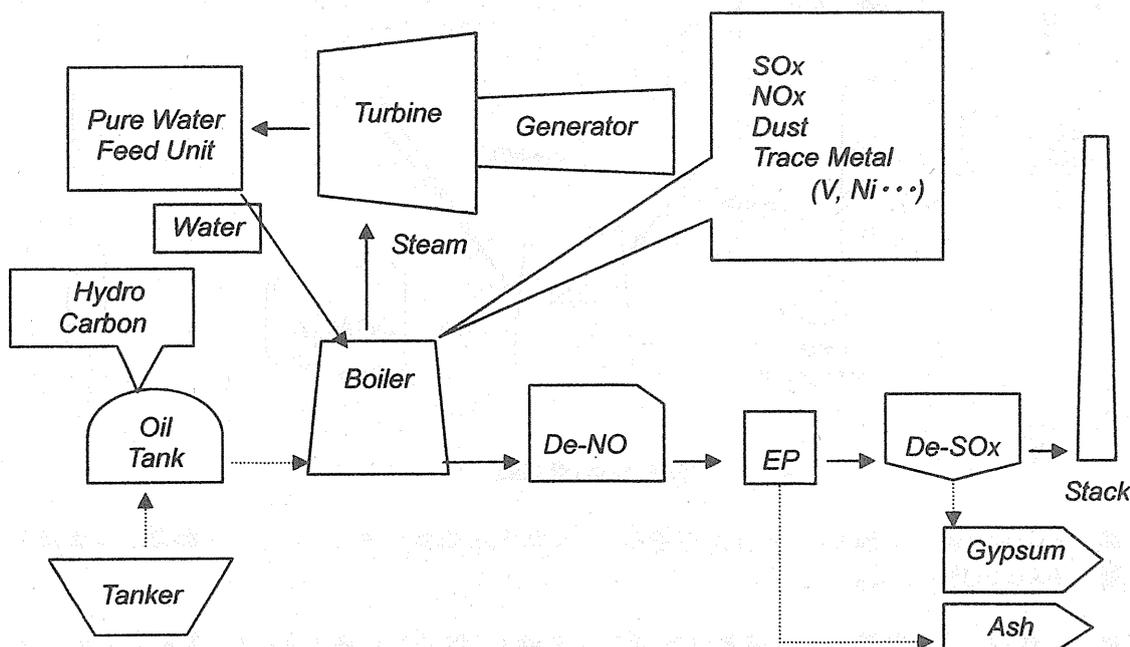
燃料燃焼行程:

燃料燃焼行程からは、SOx、NOx、ダスト、微量金属、例えば、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)、鉛(Pb)、ニッケル(Ni)、砒素(As)、フッ素(F)、などが生成される。石炭炊ボイラーの排ガスは、脱硝装置、電気集塵機、脱硫装置へと導かれ、その後、煙突に入る。汚染物質は灰と石膏の形で回収される。

詳細情報については、P.73~76 を参照

1-3 石油火力発電所における大気汚染物質と大気汚染防止

石油火力発電所において、汚染物質が、(1)主にボイラーと、わずかではあるが(2)燃料油貯槽から発生する。石油火力発電所における大気汚染物質の発生箇所をスライドに示す。



燃料油貯槽では、炭化水素ベーパーが発生する。燃料油を取り扱う工程では、石炭と異なり大気汚染物質は発生しない。石油を燃焼する際、SO_x、NO_x、ダスト、バナジウム(V)、ニッケル(Ni)などの微量金属が発生する。

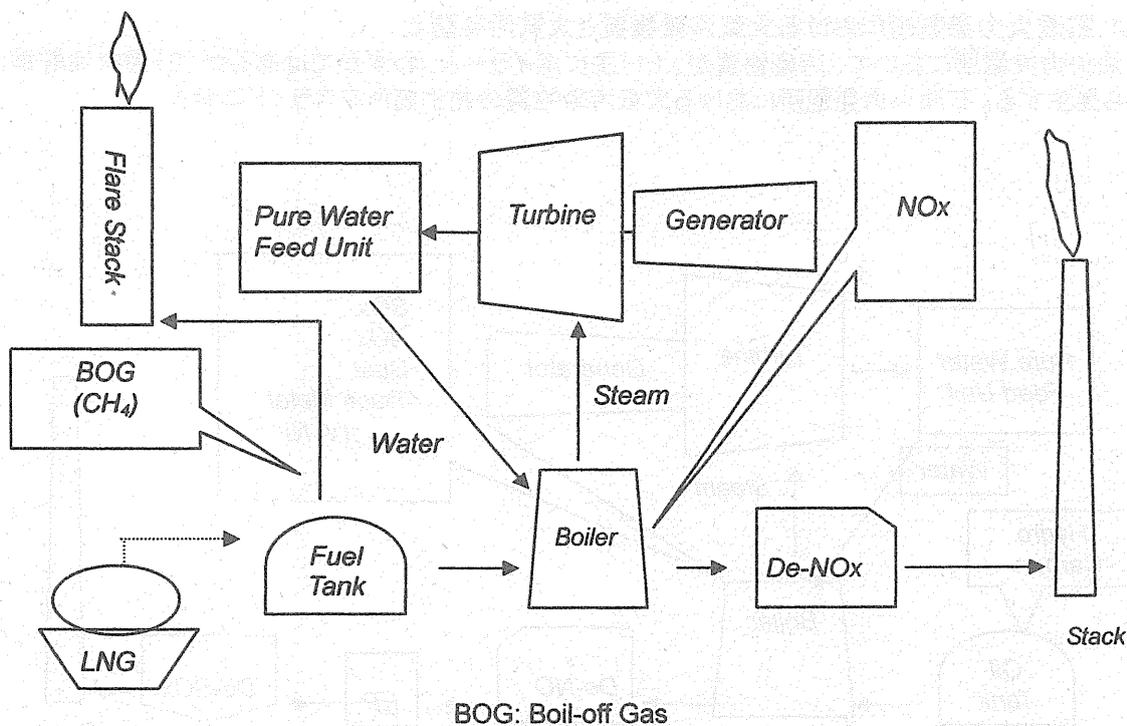
石油炊ボイラーの排ガスは脱硝装置、電気集塵機、脱硫装置を経て煙突から排出される。除去された汚染物質は灰と石膏の形で回収される。

詳細については P.73~75 を参照。

1-4 ガス火力発電所における大気汚染物質と大気汚染防止

ガス火力発電所において、汚染物質は、(1)主にボイラーと、(2)わずかではあるが燃料貯槽から発生する。天然ガス火力発電所から発生する大気汚染物質は、石油火力発電所、あるいは石炭火力発電所と異なり、スライドに示されるように非常に単純である。

燃料タンクヤードでは、メタンなどのボイルオフガスが発生する。



天然ガスの取り扱い工程では、石炭とは異なり、大気汚染物質は発生しない。天然ガスの燃焼では唯一 NOxが発生する。

天然ガス炊ボイラーの排ガスは通常は脱硝装置を経て、煙突から排出される。天然ガス火力発電所では、大気汚染防止工程からの廃棄物の発生はない。

詳細については P.73~76 を参照。

2. 燃料に対する対策

2-1 石炭火力発電所

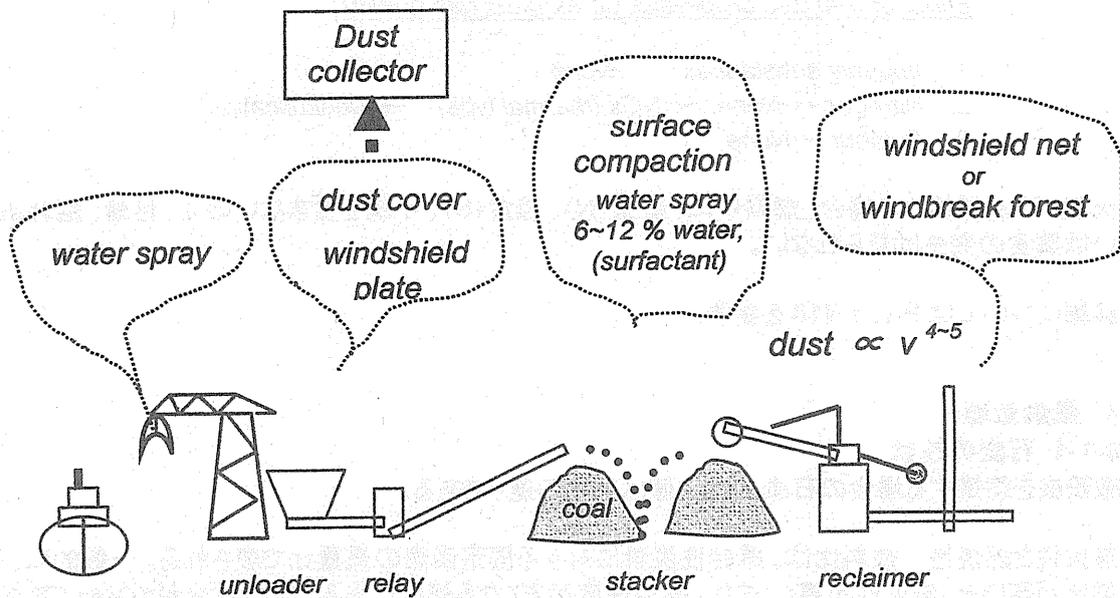
屋外貯炭を伴う石炭火力発電所を建設するに際しては、発電所の周辺に飛散する石炭粉塵量を試算し予測する。貯炭場周辺の防風フェンスの高さ、配置、石炭の含水率が適切に行われ、石炭煤塵による周辺環境への影響は排除される。

散水により、石炭中の水分の増加が図られ、石炭粉塵の飛散防止には効果がある。石炭の種類によっては非常に撥水性が高く、粉塵防止には僅かしか効果がないことがある。この場合は、炭塵防止剤を添加する。

防風フェンス、防風ネット、防風林が炭塵飛散防止に使われるが、それは、炭塵飛散量が風速 (V) の4~5乗に比例して増加すると言われていることによる。

密封形コンベヤ、風防付コンベヤ、集塵機、貯炭場石炭の表面固めも同様に効果がある。近年、連続荷揚装置が作業効率改善と環境対策の両面から広く採用されている。屋内貯炭の場合には、屋外貯炭の場合のように炭塵飛散に神経を使う必要はないが、集塵と排気を行う際の粉塵爆発に配慮が必要である。

操炭工程と、大気汚染物質発生源、大気汚染物質、大気汚染防止法の概要をスライドに示す。



詳細については P.92~97 を参照。

2-2 石油およびガス火力発電所

石油燃料の場合、環境問題を引き起こす排ガスの成分は、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)、粉塵、煤塵とボイラー腐食性物質である。残留炭素の内容は、空気の供給を遮断した状態で形成されるコークス状の炭素残分と同じである。残留炭素は煤塵と粉塵になりやすい性質を持っている。

Effect of fuel oil properties on exhaust gas quality

1. Residual Carbon \rightarrow Soot, Dust \rightarrow Dust collection
2. Nitrogen \rightarrow NO_x \rightarrow Denitrification
3. Sulphur \rightarrow SO_x \rightarrow Desulphurization
4. Ash \rightarrow Pressure drop, Heat transfer broke, Mechanical Wear, Corrosion \rightarrow Maintenance

重油に含まれる窒素含有量は概略0.01~0.6%であり、燃焼により、その一部が NO_x として排出される。

燃料油は硫黄を硫黄化合物などの形で含んでいる。これらが燃焼すると、二酸化硫黄(SO_2)と、その一部がさらに酸化されて無水硫酸(SO_3)になる。排気ガスの温度が露点以下になれば、 SO_3 は排ガス中の水分と結合して、硫酸(H_2SO_4)となり、部材の鋼材に腐食をもたらす。

僅かではあるが、燃料油には灰分が含まれる。灰分はナトリウム、カリウム、鉄、珪素、バナジウム、ニッケルを含んでいる。燃焼に際し、これらの金属は、ガス配管に付着蓄積して、圧力損失の増大、熱伝導の低下、機械的磨耗、化学腐食を誘引する。

Effect of fuel gas properties on exhaust gas quality

1. Impurity substancesNone
2. NitrogenNone → NOx (thermal type) → Denitrification
3. SulphurNone

天然ガスを燃焼する場合、燃料中に、窒素(N)、硫黄(S)、不純を含まないので、付着、磨耗あるいは腐食の発生は見られない。

詳細については P.113~118 を参照。

3. 燃焼監理

3-1-1 石炭の性状

微粉炭を燃焼する場合の石炭の特性値は以下の通りである。

着火性と燃焼性：燃料比は、揮発性炭素に対する固定炭素の重量比で表される。一般的に、燃料比が高いと、着火性が悪く、また、燃焼速度が遅くなる傾向にある。揮発成分が20%以下であれば、着火安定対策が必要である。着火性の指標は石炭の着火性を示しており、35以下であれば着火性の改善策が必要となる。ボタン指数は粉炭のバーナーノズルなどに対する付着傾向を示す。ボタン指数が6~7以上の場合は、問題回避のために対策が必要である。

Effect of Coal Properties on Pulverized Coal Combustion

<u>Ignitability & Combustibility</u>	<u>optimum range</u>	<u>effects in case of off-spec.</u>
Fixed-C / volatile content	<2.5~3.0	increase of non-burn loss
Volatile content	>20%	unstable ignition
Ignitability Index	>35	hard ignition
Button Index (viscosity)	<6~7	clogging, adhesion
<u>Grindability</u>		
Proper size	50~100 μm	increase of non-burn loss
Dryness	H ₂ O < 20%	lowering mill performance
<u>Slagging</u>		
Ash Melting Temp.	>1,300 °C	} slagging
Ash Alkaline Ratio	<0.5	
Fe ₂ O ₃ /CaO	<0.3~3<	
S/coal	<2%	
<u>Fouling</u>		
	basic content; Na ₂ O, K ₂ O, Cl, CaO, S	fouling on inner furnace, radiation heating surface
<u>Wear-out Nature</u>		
	quartz, Fe ₂ O ₃ , S	wear of mill, coal tube, heat transfer surface

粉碎性：微粉炭の燃焼は、石炭を50から100 μmの粒径に粉碎し、それを乾燥した状態で燃焼させることに特長がある。燃焼過程で重要な点は、燃焼室で完全燃焼をさせることである。規格外の場合、未燃ロスが増加する。水分が20%以上含まれると、破碎機の実力の低下に結びつく。

スラッキング性：石炭燃焼時に起こる、スラッキングは、ボイラーの燃焼室で石炭中の灰分が溶解してできるスラグが冷やされると、火炉内の放熱伝熱面に付着し、硬化し、蓄積する現象である。

灰分の溶融温度は、伝熱面付近のガス温度より高いか低いかを基準に判定される。アルカリ度の高い灰分は、低融点酸化物と複合塩が形成されやすく、スラッジング性があると考えられる。もし、灰分中の $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ の比が0.3~3の間であれば、低融点物質を形成する傾向がある。硫黄は低融点化合物を形成し、ハウリングを助長する。

ハウリングは、溶融した灰分が Na_2O などを含んでいるために、燃焼室の内面に凝結する現象である。

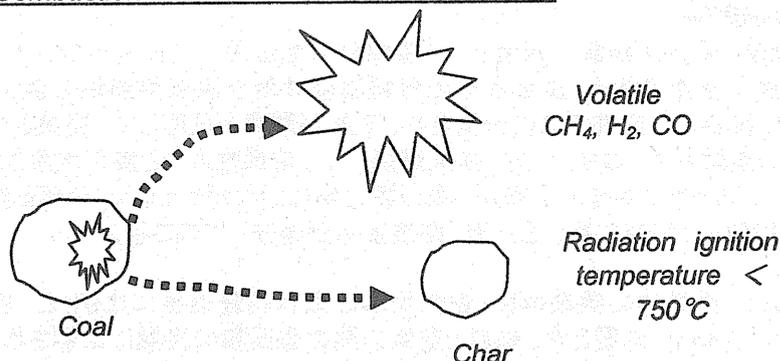
破砕機、管路、伝熱面などに磨耗を起こす度合いは、石英などの含有量の分析値から判断できる。

詳細については P.107~110 を参照。

3-1-2 石炭の燃焼

石炭を微粉にして浮遊させて燃焼すると着火時間と燃焼時間が非常に短縮され、あたかも燃料油やガス燃料に近い形でバーナーを使って燃焼することが可能となる。微粉炭の燃焼では、一次燃焼域では、 CH_4 、 H_2 や CO の揮発性物質の燃焼が主体となって進む。二次燃焼域では、原則的にチャーの燃焼域である。このチャーの燃焼速度は、揮発性物質の燃焼と比べて極めて遅い。その結果、チャーの燃焼時間は全燃焼時間の80から90%を占める。通常の微粉炭炊きボイラーでは、放射着火温度が 750°C 以下であれば、燃焼に伴う問題が起こらないことが経験的に知られている。

Combustion Mechanism of Pulverized Coal



燃料を完全燃焼させるためには、理論空気量より多い空気(揮発成分を多く含む瀝青炭の場合の空気比は1.2~1.25)が必要である。したがって、 NO_x の発生量を低減させるために、スライドに示す種々の方法が用いられている。スライド中の1~4の項目は、操炉の変更で対応ができる。

1. Reduction of surplus air ratio (high volatile coal; 1.2~1.25)
2. Lowering combustion air temp. (normally $250\sim 350^\circ\text{C}$)
3. Two stage combustion (1st burner + 2nd burner)
4. Recycling exhaust gas ($< 20\sim 30\%$)

炉内脱硝法は、同じ炉内で発生する NO に炭化水素により炉内で還元し低減する方法である。この方法は、2段に分けて行われる。このプロセスを有効にするためには、(1)雰囲気温度を炭化水素の分解温度より高く保ち、(2)酸素が存在し、(3)混合物(燃料)として使用される還元用炭化水素量は、存在酸素より化学等量的に多くなければならない。第2段の反応では、未燃物の

完全燃焼が必要である。このためには、(1) 雰囲気温度は、未燃物の反応温度より高く、(2) 未燃物の完全燃焼を図るために十分な酸素が供給されなければならない。

2. Inner-furnace denitrification

1st Process

- furnace > 900°C HC decomposition
- O₂ existing
- reductant HC > chemical equivalent O₂

2nd Process

- atmosphere temp. > reaction temp. of non-burned portion
- sufficient O₂

バーナーの構造を改良してNO_xの発生量を低減する方法はスライドに示す3つの方法に大きく分類できる。

6. Low NO_x burner

- slow mixture air & fuel
- promotion of unevenness comb.
- acceleration of flame heat radiation

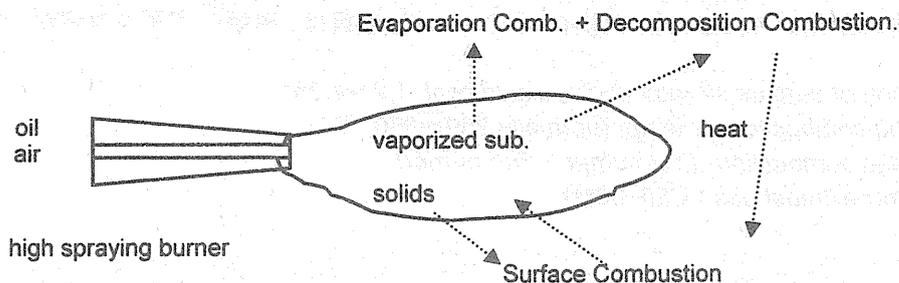
詳細については P.110~112 を参照。

3-2-1 石油燃焼

油の燃焼は、揮発性物質の燃焼と、分解成分の燃焼の二つに分けられる。燃料油は多くの成分からなる炭化水素である。炭化水素の分解温度は着火温度や燃焼温度より低く、そのため燃焼する前に、炭素と可燃性ガスに分解され、それが酸素と反応して、燃焼となる。炭素はその表面燃焼により炭酸ガスとなり、一方、拡散燃焼により可燃性ガスと炭化水素は酸化され、炭酸ガスと水になる。このときに発生する熱が、次の熱分解につながっていく。分解と表面燃焼による燃焼が交互に、あるいは同時に起こるため、燃焼反応が連続して起こる。

燃焼反応は、燃料油の噴霧速度(燃焼反応は燃料噴霧速度に比例)と、燃焼速度(燃焼反応は燃焼速度に比例)に影響され、燃料と空気との表面積の接触に影響される。完全燃焼を図るためには、高噴霧性能を持ったバーナーが重要である。

Oil Combustion Mechanism



JIS規格に示されるC重油の性状をスライドに示す。スライドに示すように、油の性状が排出ガスの性状に影響を与える。若し、残留炭素の含有量が多いと、残留炭素起因の煤塵となりやすく、

バーナーチップに付着して、燃焼を劣化させる。燃料油は灰分を含んでいる。灰分にはナトリウム(Na)、カリウム(K)、鉄(Fe)、珪素(Si)、バナジウム(V)、アルミ(Al)、とニッケル(Ni)が含まれる。これらの金属は燃焼ガスに取り込まれ、溶解し、化学変化を起こし、排ガスラインに付着・蓄積し、圧力損失の増加、伝熱を妨げ、機械的磨耗と化学的腐食を起こす。

Effect of Fuel Oil Properties on Exhaust Gas Composition

Subs.	Con.wt. %	Pollutants	Damages
N	0.01~0.6	NO _x	Air pollution
S	0.2~3.0※	SO ₂ SO ₃ →SO ₄ (SO _x)	Air pollution, corrosion clogging
Red. C	4.0~11.5※	Dust	Dust, carbon adhere
Ash (Na, K, V, ---)	< 0.02※	Adherents	Scaling, Vanadium attack, corrosion, mechanical wear, etc.

※: JIS C-Heavy Oil

詳細については P.110~115を参照。

3-2-2 燃料油 と NO_x発生

燃料油を燃焼するときは、バーナー付近で噴霧された油の揮発と燃焼により燃焼が継続する。燃料油に含まれる窒素酸化物の酸化によるフェューエルNO_xの生成に続き、高温の火炎が形成され、サーマルNO_xの比率が高くなる。しかし、燃料油に含まれる窒素は石炭と比べて低いため、石炭燃焼に比べて、NO_xの排出量は少ない。

NO_x Generation and its Control in Oil Combustion

Generation

Thermal NO_x (N in Air)
Flame temp.
O₂ concentration
Retention time

Fuel NO_x (N in Fuel)
O₂ concentration
Nitrogen in fuel

NO_x の生成は燃料によって異なるので、個々の燃料に適した低減対策が必要である。油炊ボイ

ラーの場合は、(1)二段燃焼、(2)燃焼ガス循環、(3)低NO_xバーナーの使用(4)炉の寸法の拡大(火炎の熱放射の促進)が採用される。

Control Measures

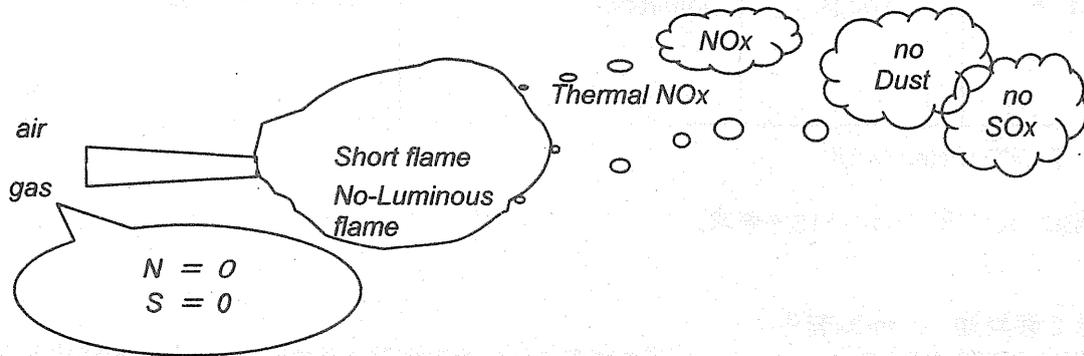
- 2-stage combustion
- Exhaust gas recycling
- Low NO_x burner
- Furnace size expansion

詳細については P.116を参照。

3-3 ガス

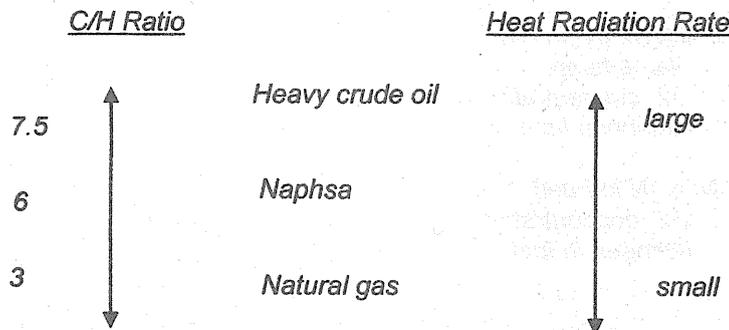
重油の燃焼と比べて、天然ガスの燃焼は次の特徴をもっている：

Gas Combustion Mechanism



天然ガスの燃焼は、低圧燃料噴霧で行われるために空気との拡散(混合)燃焼を通して行われる。重油の燃焼の場合と異なり、噴霧蒸発過程がないために、短炎である。

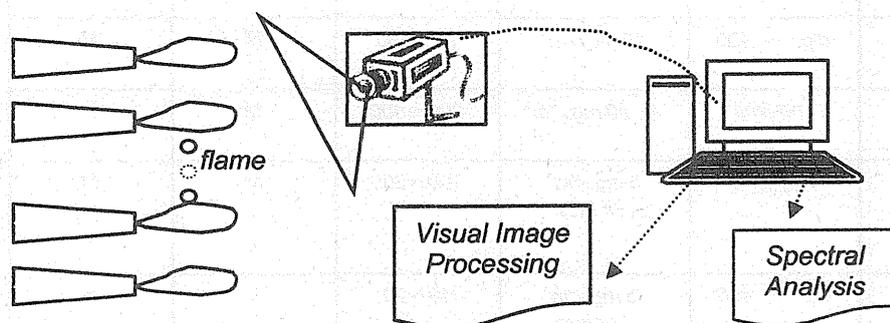
燃料の C/H 比が小さいので、燃焼過程で煤が発生しないし、一般的に不揮炎となる。燃料中にN, S, 不純物を含まないため、付着、磨耗、腐食はなく、SO_xやダストの発生を伴わない。



クリーンな燃料は大気汚染物質の生成が比較的少ないが、バーナーの設計や燃料の取り扱いを間違えると、振動燃焼や爆発が起こる可能性があるため、注意が必要である。

Control of NO_x Generation + Oscillating Combustion Preventive Measures

燃料中の水素に対する炭素の比率(C/H)が小さくなるにしたがって、熱放射率は小さくなる。通常のガスのC/Hは3で、ナフサが6、重油が約7.5である。



低NO_x運転を行う場合、不完全燃焼部が増え、火炎が炉内に広がる傾向があつて、ボイラーの性能に影響を及ぼす。この場合、燃焼調節を含む、運転管理が重要である。火力発電用のボイラーは多くのバーナーを備えているので、未燃物の発生を抑えながら、同じ火炎長さに保つように個々のバーナーの空気比をできるだけ均等に調整して、NO_xの発生を制御していくことが重要である。

個々のバーナーの微妙な燃焼調整を、経験や勘、それに従来計測計に基づく単なる燃焼調整でボイラーを運転することが困難になってきている。近年では、オプトエレクトロニクス技術を使った個別燃焼診断法が開発され、実用化されている。

詳細については P.116～118を参照。

4. 集塵装置

4-1 重力集塵装置、慣勢力集塵装置、遠心力集塵装置

集塵装置を選択する場合、表に示す粒子とガスの物性を考慮する必要がある。

排ガス中の粉塵の粒径と粒径分布がそれぞれの集塵機の粒子除去効率に大きく影響している。集塵機で捕捉される粒子径を表に示す。目視できない粒子濃度は 20 mg/Nm³とされている。ろ過集塵装置を高濃度粒子排ガス処理に適用すると、頻繁なダスト払い落しが必要になる。電気集塵機は、排ガス中のダスト濃度の影響を余り受けない。

重力集塵装置と慣勢力集塵装置の場合の粉塵濃度に関しては、ガス中の粉塵濃度が高いほど、大口径粒子間の衝突と、微細粒子間の凝集が加速されるので、高い集塵除去率を得ることできる。ベンチュリースクラバーとジェットスクラバーは、高濃度の粉塵に対して、スロート部に磨耗を生じるので、10 g/Nm³の排ガス処理に適用すべきである。

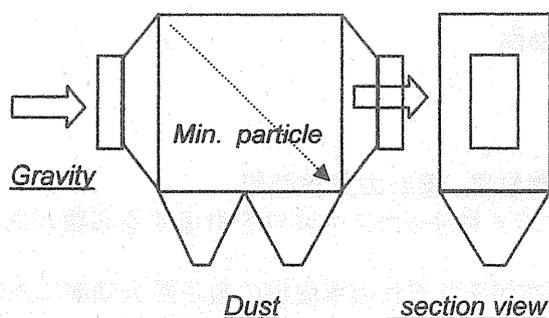
Type of Dust Collector

Type	Applic. Particle (μm)	Operating ($^{\circ}\text{C}$)	Cutback Level	Pressure Drop ($\text{mm H}_2\text{O}$)	Equipment Cost	Running Cost
Gravity	≥ 50	d.p. ~ 400	40~60 %	10~15	S	S
Inertia	≥ 10	d.p. ~ 400	50~70 %	30~70	S	S
Centrifuge	≥ 3	d.p. ~ 400	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$	50~150	M	M
Scrubbing	~ 0.1	no-limit	$\cong 20 \text{ mg}/\text{m}^3$	300~800	M	L
Filtration	~ 0.1	no-limit	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$ or less	100~200	M	M
EP	~ 0.03	d.p. ~ 400	$5 \text{ mg}/\text{m}^3$ or less	10~20	L	S

詳細については P.168~169を参照。

4-2 重力集塵装置、慣性力集塵装置、遠心力集塵装置

粒子とガスの密度が異なるため、層流状態のガス流の方向を変えれば、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を分離する方法が行われており、通常はガスの流れ方向を急変させて方法がとられる。



重力集塵装置では、沈降室で流速を低下(通常1~2m/秒)させ、それによって重力で沈降させる。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がほとんどない。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

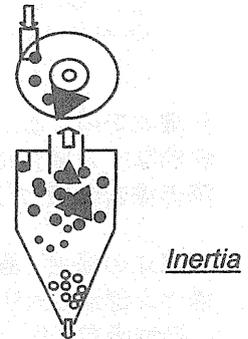
$$V = (g/18\mu)(\rho_1 - \rho) D^2 \quad (\text{cm/s})$$

V: settling velocity (cm/sec)

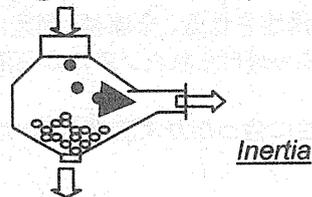
g : gravitational acceleration (cm/s²)
 μ : gas viscosity (kg/ms)
 ρ_1 : particle density (g/cm³)
 ρ : gas density (g/cm³)
 D : particle diameter (cm)

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/秒で設計される。

Centrifugal force (F) = mv^2 / R (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、あるいは急激に流れ方向を変えて慣性力を用いて粉塵粒子を除去・捕集する。

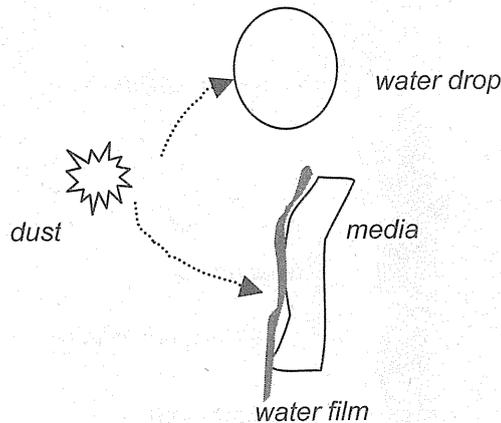


詳細については P.170~171を参照。

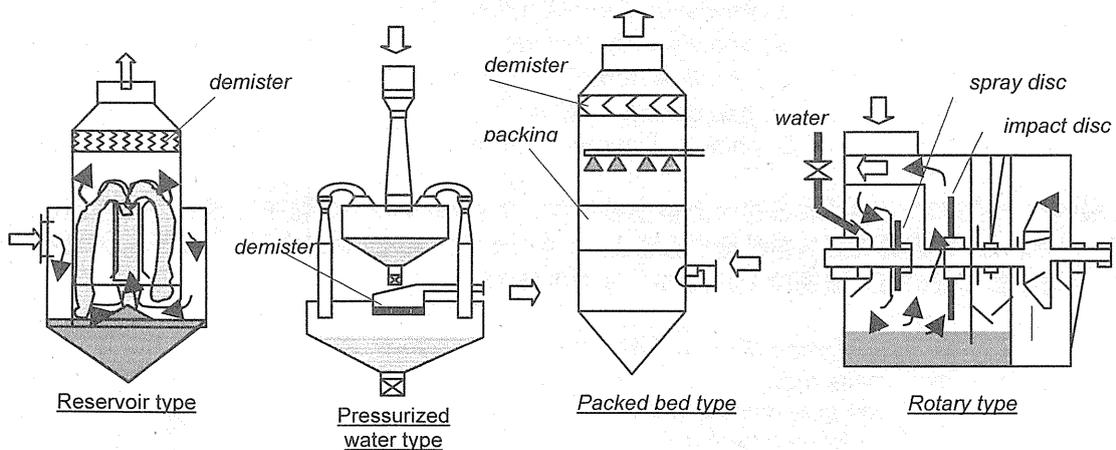
4-3 洗浄集塵装置

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。この方法では、粒子は液滴か、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:



種々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(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。スプレー塔の場合の液・ガス比は1.3~2.7l/m³であり、充填式の場合は0.1~0.5l/m³である。

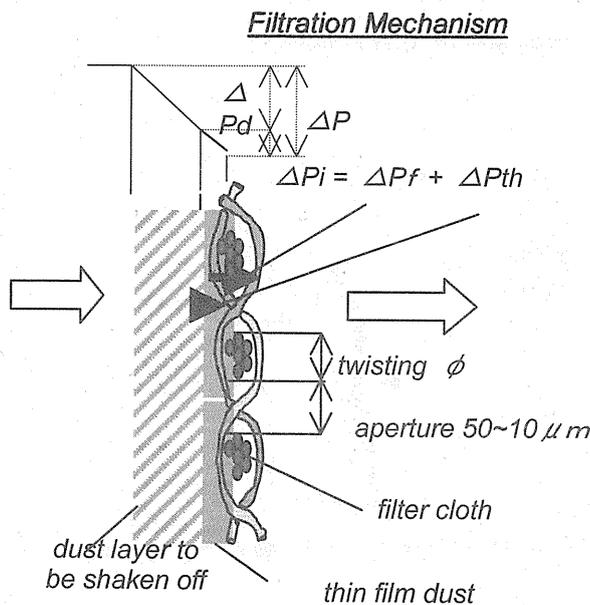
充填式の場合、基本的には、排ガスは塔の下部から入り、上昇流で上部へ移動する。洗浄水は塔の上部から入り、上昇移動してきた汚染ガスの先頭部にスプレーされる。汚染物質は落下流体に接触吸収され、清浄化されたガスは上部から排出される。充填材(例えば、不規則なプラスチック片)は吸収効率の改善につながる。散水管に取り付けられたノズルから液体が噴霧される。

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。

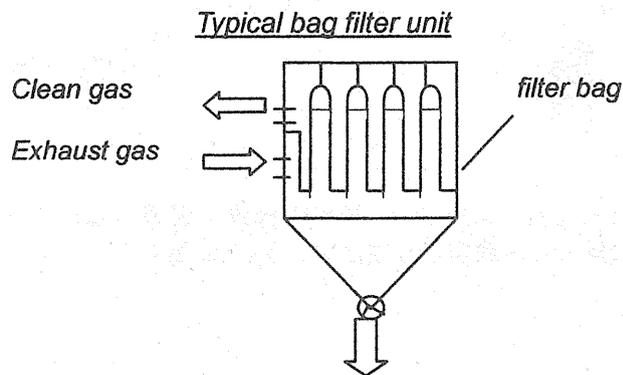
詳細についてはP.171を参照。

4-4 ろ過形集塵装置

ろ過形集塵装置には、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。



ある粒径を盛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、ダストはろ布に付着し、布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。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装置の運転では、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) cartridge filter	(2) nonwoven fabric	(2) continuous	

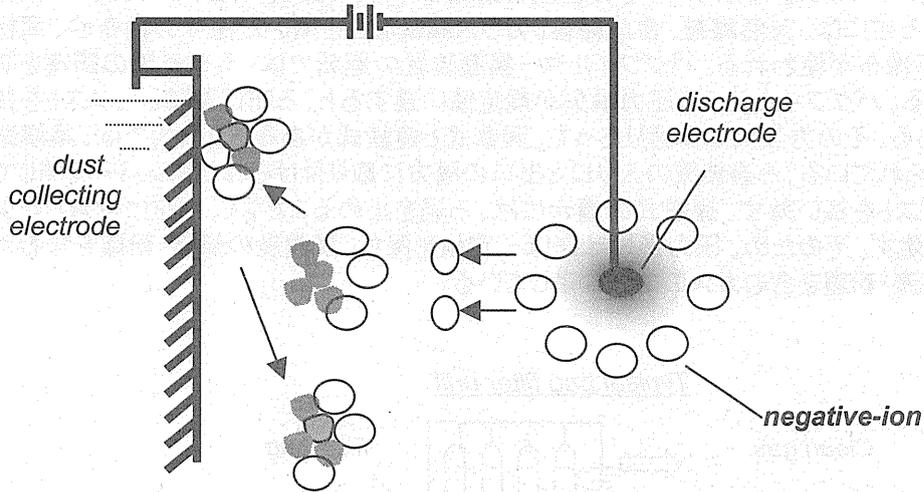
詳細については P.171~172を参照。

4-5-1 電気集塵装置(EP)

電気集塵機はコロナ放電により粒子に電荷を与えて集塵する方法である。電気集塵機はガスや粉塵の性状の影響を大きく受けずに、微細な粒子を圧力損失のない状態で集塵することができる。

スライドに示すように、心線の放電電極が負極として用いられ、集塵電極は正極としてつかわれる。高圧直流電力が放電に使われる。電界が強くなると、放電極の周辺にガスは局部破壊し、コロナ放電が生じ、マイナス電荷を持ったコロナと多くのマイナスイオンが発生する。マイナスイオンと自由電子は集塵電極に向かって移動をし、ダストを含むガスが電極を通過すると、粉塵粒子は瞬間的に荷電される。荷電された粒子は、クーロン力で移動をして集塵電極に捕捉される。集塵電極に捕捉された粉塵は槌打衝撃により剥離される。

Principle of dust collection



ボイラーの排ガスに含まれる粒子の性状は、燃料の種類や燃焼方法によって異なる。重油炊ボイラーと石炭炊ボイラーの排ガスの典型的な性状をスライドに示す。

Exhaust gas properties:

		<u>Heavy oil</u>	<u>Coal</u>
inlet soot & dust	g/Nm ³	0.05~0.15	10~20
dust ϕ	μ m	1~3	20~30
SiO ₂	Wt %	15~20	60~75
C	Wt %	50~60	0.4~0.8
ρ Rate	$\Omega \cdot$ cm	10 ⁴ ~10 ⁶	10 ¹¹ ~10 ¹³
apparent S.G.	g/ml	0.1~0.2	0.6~0.8

ρ は電気抵抗率を示し、apparent S.G.は見掛比重を示す。集塵への影響に関しては、油炊ボイラーの場合、SO₃ ミストは煙道、集塵装置、煙突を腐食させる。さらに、SO₃ ミストは粉塵に付着して、酸性煤煙となり、煙突から排出される。

これを防ぐためには、排ガス中に NH₃ を注入して、SO₃ の中和を行う。

Influence on dust collection

・SO₃ mist

⇒

Improving method

・NH₃ injection

石炭炊ボイラーの場合、フライアッシュの成分と物性は産炭地と燃焼法によって異なる。電気集塵装置の性能は、フライアッシュの電気抵抗値と粒径サイズによって大きく変化する。電気抵抗値は(1)排ガス温度、(2)水分、(3)SO₃ 濃度、(4)石炭の性状と粉塵組成によって変わる。

Influence on dust collection

- temperature
- water
- SO₃ mist
- composition of dust

Improving method

- tempering flue gas
- electric charge control
- dust removal on (+) electrode
- selection of gas temp.

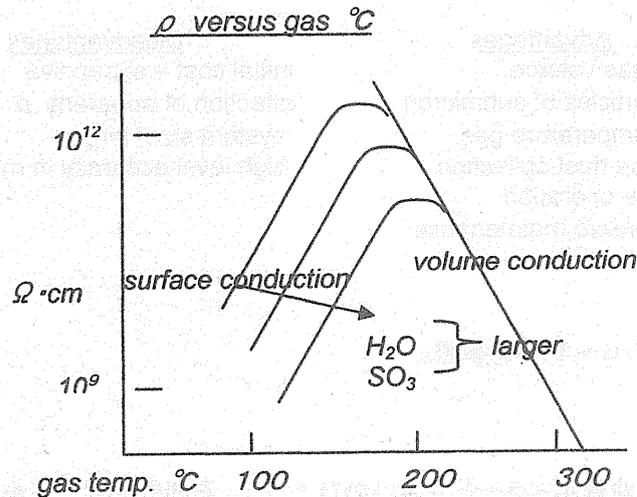
性能を改善するためには、排ガス温度、荷電調節などを行って、電気抵抗率を 10¹¹ Ω-cm に調整する。実際には、電気集塵装置メーカーは粒子の特性を考慮に入れて、EPの性能が発揮されるように設計している。したがってこれらの調整は緊急時にのみ用いられる。

粉塵電気抵抗と粉塵除去性能の関係を次のスライドに示す。

詳細については P.173~179を参照。

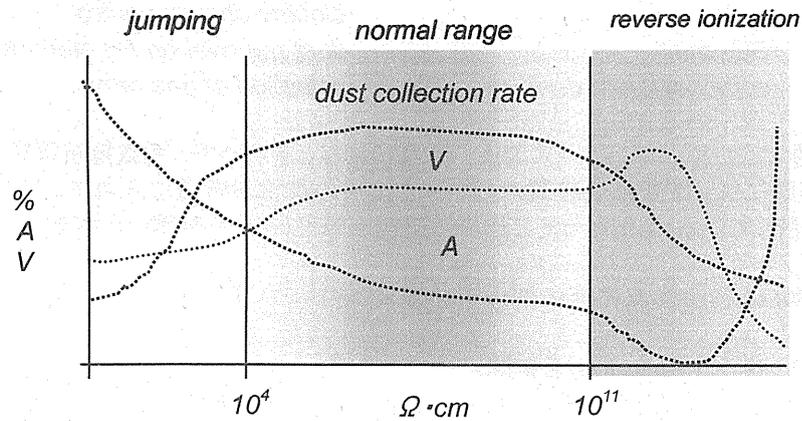
4-5-2 電気集塵装置の働く要因

左側の図は、ガス温度と電気抵抗率の関係を示す。一般的に、電気抵抗率は120から180°Cの範囲で最高値を示す。これは、粒子中を流れる電流が高温域と低温域では異なることによる。排ガス中の水分と SO₃ が、低温域では容易に粉塵粒子に付着して、粉塵表面に沿って電気が流れやすくなるためである。一方、高温域においては、電流の流れは粒子内が主流となる。これは、粒子中のアルカリ金属量に左右される。



右側の図は、粒子の電気抵抗率とEPの除去性能、荷電電圧、電流の関係を示す。10⁴ Ω-cm 以下(ジャンピング領域)では、荷電された粒子は集塵電極に付着し、直ちにマイナス電荷を失うために、集塵効果が低下する。10⁴ ~10¹¹ Ω-cm 範囲は理想的集塵領域である。電気抵抗率が 10¹¹ Ω-cm (逆電離範囲)以上になると、集塵電極に付着したマイナス荷電された粉塵の電気的中和が遅くなる。そのために、粉塵の表面に電気が貯まり、粉塵表面内の電界強度が高くなり、粉塵内層で絶縁破壊が起こり、集塵率が著しく低下する。

Dust removal versus $\Omega \cdot \text{cm}$



電気集塵装置の利点・欠点を表に示す。

Advantages and disadvantages of EP

Advantages

- large gas volume
- fine particles of submicron
- high temperature gas
- wet type dust collection
- suitable operation
- inexpensive maintenance

Disadvantages

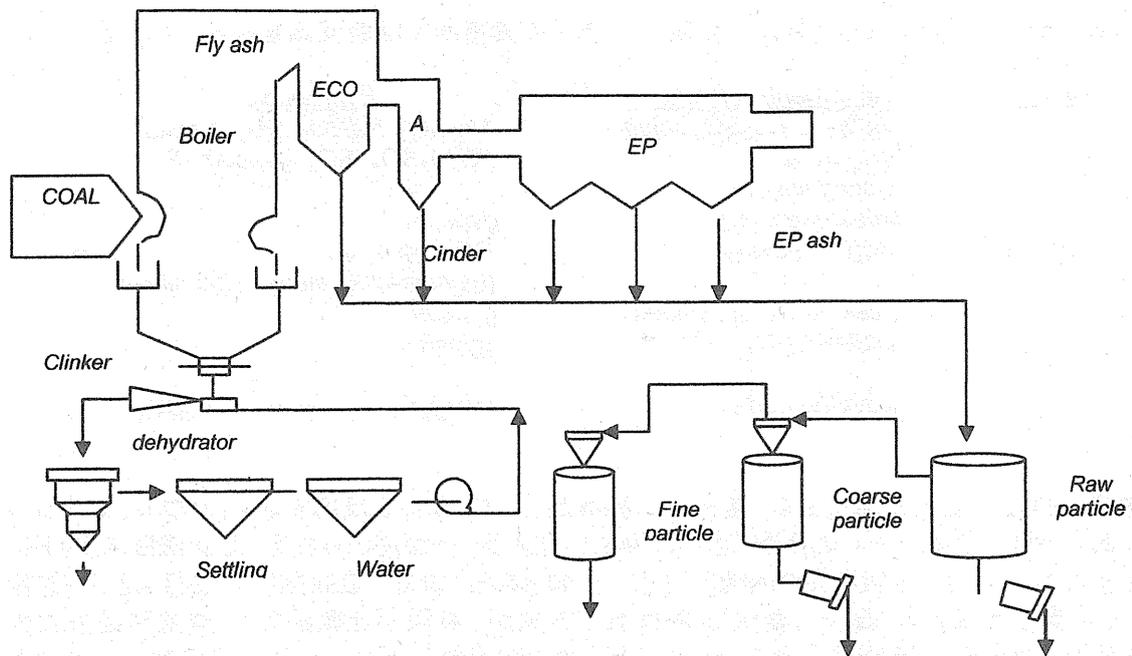
- initial cost – expensive
- affection of apparent ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
- system size- large
- high level accuracy in manufacturing

詳細については P.176~179を参照。

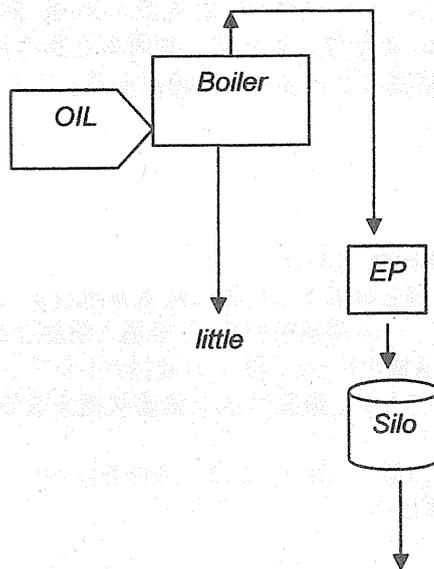
4-6 灰の処理

石炭炊ボイラーと重油炊ボイラーとの違いのひとつに、石炭炊ボイラーから発生する灰の量が、重油炊ボイラーより多いことにある。ボイラーで発生する灰は、炉底から排出されるボトムアッシュ(クリンカ)と、燃焼ガスに流されて、節炭機、空気予熱器、EP で落下し集められるフライアッシュに大別できる。(先の二つ一般的にはシンダーと呼ぶ)

石炭灰は、埋立、セメント原料、フライアッシュセメント、凝集剤、土木、農水産業、脱硫剤などに利用される。



重油炊ボイラーに場合、ボイラーで発生する灰の量は石炭炊に比べて少なく、灰の性状は、重油の種類に応じてほぼ一定している。また、ほとんど灰が EP で捕集される。したがって、灰処理装置は比較的簡単で、EP のそれぞれのホッパーに集められた灰は、圧力送風か減圧送風で送られる。重油炊発電所から排出される灰は未燃物と重金属を含むため、セメント工場の代替燃料や、有価金属回収の原料に用いられる。



詳細については P.179~184を参照。

5. 排煙脱硫

5-1 排煙脱硫方法 (FGD)

脱硫方式は(1)乾式と(2)湿式に分類でき、多くの発電所では湿式法を採用している。

<u>Method</u>	<u>Absorbent/ Adsorbent</u>	<u>Byproducts</u>
Wet type	NaOH or Na ₂ SO ₃ solution	Na ₂ SO ₃ , NaNO ₃ , SO ₂ , gypsum
	NH ₃ -water	(NH ₄) ₂ SO ₄ , SO ₂ , gypsum, S
	Slaked lime or limestone slurry	gypsum
	Mg(OH) ₂ -slurry	SO ₂ , gypsum (blended with slaked lime slurry)
Dry type	Basic Al ₂ (SO ₄) ₃ -solution	gypsum
	Dilute-H ₂ SO ₄	gypsum
	Activated carbon	(NH ₄) ₂ SO ₄ , gypsum, S, H ₂ SO ₄

湿式が排煙脱硫の主流である。湿式法の吸収剤として、SO₂と反応するナトリウム、カルシウムあるいはマグネシウム化合物の溶液、あるいはスラリーが用いられる。湿式法はスライドに示すように、しばしば吸収剤の種類によって分類される。現在、吸収剤に石灰石スラリーを用い、石膏を回収する“石灰石膏法”と呼ばれる方法が、石灰が比較的安く、湿式脱硫方式の建設費、運転費の経済性が高く、運転の安全性と安定性に優れ、石膏が安定的に販売できるので、日本の発電所では多く採用されている。

- limestone ⇒ cheap
 - initial & operating cost ⇒ economics
 - system ⇒ stability & safety
 - gypsum ⇒ stable sales
- } reasons of most popularly used

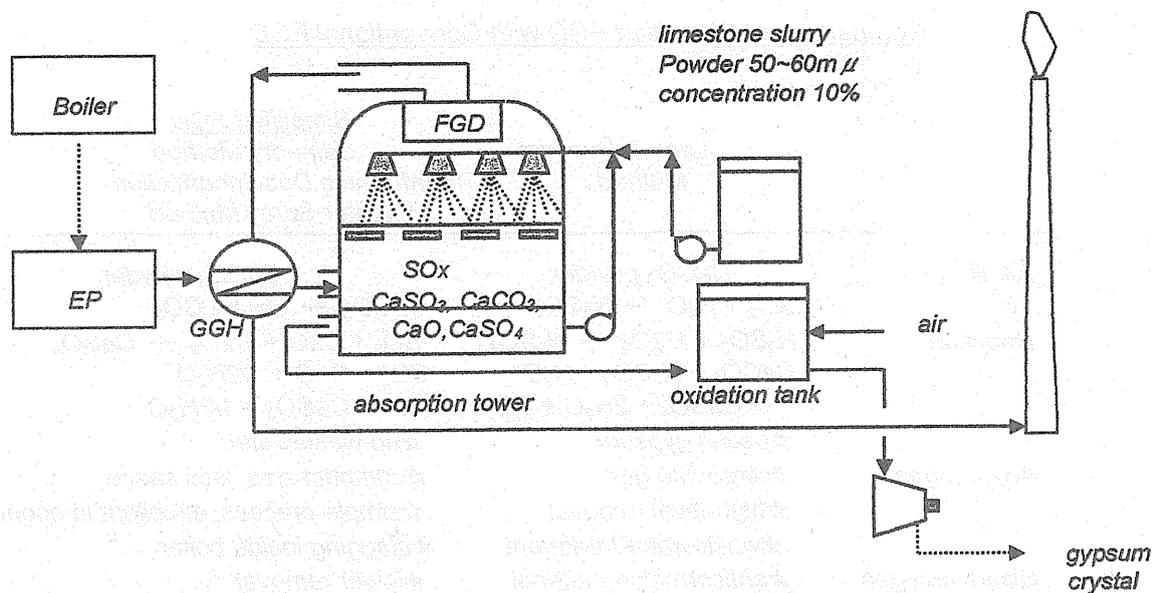
それとは対照的に、乾式法には、安全性確保、副産物の貯蔵・販売、長期安定運転に対する配慮の難しさの他に、吸収剤の安全性と劣化性、循環率と回収率の悪化、廃液の発生、ドライダストのハンドリングに伴う閉塞などの多くの問題がある。

詳細については P.186を参照。

5-2 湿式石灰石膏法排煙脱硫装置 FGD システム

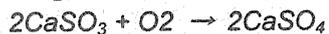
ボイラーの煙道ガスは煤塵と粉塵を除去するために電気集塵装置(EP)に入る。集塵装置が機能しないとガスーガスヒーター(GGH)の閉塞を引起し、煤塵と粉塵などの流出が増大する。多量の煤塵と粉塵が排煙脱硫装置で捕集されると、種々の機械的トラブルと石膏の質の低下と、または、吸収剤の活性低下を起こす。そのため、最高性能の集塵装置を設置することが望ましい。

GGH は熱回収側からは、集塵装置から出てくるガスの熱を回収し、再加熱側では、回収した熱を煙突に入るガス温度の上昇に渡している。



吸収塔では、粒径50~60ミクロンの石灰粉末を含む吸収液が循環していて、この液とガスがうまく接触して、ガス中のSO₂が液側に取込まれ、除去される。二酸化硫黄(SO₂)は石灰(CaO)と結びつき亜硫酸カルシウム(CaSO₃)に変わる。CaSO₃の一部は、吸収塔に置いて、排ガス中に含まれる酸素によって自然酸化され、石膏(CaSO₄)になるが、残りのCaSO₃は酸化槽で空気酸化される。

Reaction Mechanism



石膏スラリーは脱水機で脱水され、水分10%以下の石膏として回収される。

詳細についてはP.190~192を参照。

5-3 簡易排煙脱硫装置

湿式の石灰石膏法による脱硫装置は、表に示されるように、上から吸収反応、酸化反応、中和反応の3段階の化学反応式で構成される。この装置は先に述べたように優れた特長を持っているが、建設費が高い。そのために、簡易排煙脱硫装置が開発され、開発途上国で使われている。

簡易排煙脱硫装置では、石灰粉末(CaO)と水が、直接炉に注入される。炉内では、脱硫反応は表に示すように、第一段階の脱硫と第二段階の脱硫に分けておこなわれる。両者の長所と短所の比較を表に示す。

簡易排煙脱硫装置の原価低減は、装置価格低減の常套手段である、(1)エンジニアリング時間の削減、(2)装置を構成する機器のコンパクト化、(3)機器の材質の検討、(4)プロセスの簡易化、(5)ユーザー側を経て重要なことに配慮をしながら、制御方法のシンプル化によるプロセス機器、装置の簡易化によって行った。

Comparison of Simplified FGD with Conventional FGD

	<u>Lime & Gypsum Method</u>	<u>Simplified FGD</u> <u>Semi-dry Method</u> <u>Intrafumace Desulphurization</u> <u>+ Water Spray Method</u>
Alkali	CaCO ₃ powder	CaCO ₃ powder
Reaction	SO ₂ + H ₂ O → H ₂ SO ₄ H ₂ SO ₃ + 1/2O ₂ → H ₂ SO ₄ CaCO ₃ + H ₂ SO ₄ + H ₂ O → CaSO ₄ + 2H ₂ O + CO ₂	CaCO ₃ → CaO + CO ₂ SO ₂ + CaO + 1/2O ₂ → CaSO ₄ SO ₂ + CaO + 1/2H ₂ O → CaSO ₃ + 1/2H ₂ O
Advantages	★useful gypsum ★large flue gas ★high-level removal ★wastewater treatment	★no wastewater ★compact size, less space ★simple process, excellent in economics ★slagging inside boiler
Disadvantages	★anticorrosion material ★large area ★high maintenance cost	★lower removal ★lower alkali utilization
Cost		
Equipment	100	20~30
Operation	100	75~80

詳細については P.188~189を参照。

6. 排煙脱硝

6-1 NOx 除去方法

NOxとは、主に酸化窒素(NO)と二酸化窒素(NO₂)のことである。燃焼において、NOが二つの中では支配的であって、NO₂は主にNOから生成される。燃焼過程におけるNOxの生成の主なメカニズムは、(1)バーナー室の高温雰囲気中で空気中のN₂が酸素と反応して生じる、いわゆるサーマルNOxと、(2)燃料中に存在する窒素が高温雰囲気中で酸素と反応してできるフューエルNOxの二通りがある。

種々の脱硝方式の代表的な効率と適用性を、スライドの上側の表に示す(出展: Environmental Engineering, P.777, McGraw-Hill, 1998)。

Reduction of NOx Generation & Denitrification Methods

Method	Applicability	NOx red. (%)
Flue gas recirculation	T-NOx	70~80
Low NOx burner	F-NOx, T-NOx	10~25
Staged burners	F-NOx, T-NOx	40~70
SCR	F-NOx, T-NOx	80~90
SNCR	F-NOx, T-NOx	60~80

Remarks; T-NOx: Thermal NOx, F-NOx: Fuel NOx

上から3つの方法は、NOx 発生の抑制を刷新的な設計で行うもので、後の2つは、発生した NOx を低減するために産業界で選択的に使われているプロセスである。排煙ガスを循環する方法は、

火炎の最高温度と酸素量を低減して NOx の生成を抑えるものである。低 NOx バーナーは、最小の過剰空気で燃料を燃やせるように設計されている。多段燃焼は最高温度を低減することができる。3段燃焼まで使えるが、格段のバーナーの燃料と空気の比率に非常に緻密な制御を必要とする。

下の表に、主な排煙脱硝プロセスを示す。SCR は排煙の中にアンモニア(NH₃)を注入して、触媒層を通し、NOx を N₂ と H₂O に分解する簡易なプロセスである。この方式は大容量のガス処理に適している。SNCR は、約 800~1,000°C の高温域にアンモニアを注入し、触媒を使わずに脱硝することができる。この方式の脱硝率は、SCR と比べると低い。NSCR は白金(Pb)などの貴金属の触媒を使い、さらに、CH₄、CO あるいは H₂ を還元剤として使って脱硝を行う。この方式を、低濃度 NOx の、大容量ボイラー排ガスに適用することは難しい。450°C 位いで貴金属触媒を用いる触媒分解方式、吸収法、吸着法などの方法は、実用段階に至っていない。湿式法は複雑であり、廃液が出るため、通常の発電所では使われていない。

Denitrification Process

<u>Process</u>	<u>Method</u>
<u>Dry Process</u>	
SCR (Selective catalytic reduction)	NH ₃ , catalyst
SNCR (Selective non-catalytic reduction)	NH ₃ , Gas temp. 800~ 1,000 °C
NSCR (Non-selective catalytic reduction)	catalyst (Pt) + CH ₄ , or CO, or H ₂
Catalytic cracking	catalyst (Pt, ...)
<u>Wet Process</u>	
	NOx + SOx removal
	Complicate process
	wastewater treatment

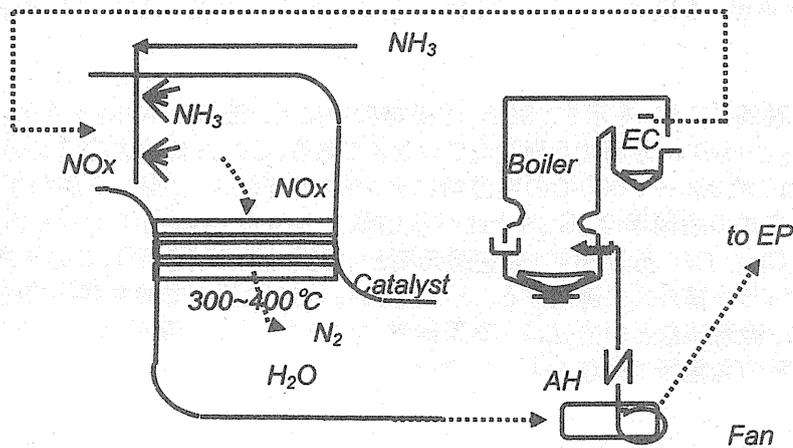
詳細については P.200~201 を参照。

6-2 NH₃ 触媒脱硝法

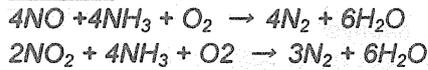
この方式は、煙道ガスにアンモニア(NH₃)を注入した後、この混合ガスを触媒層を通過させ、スライドに示すように NOx を N₂ と H₂O に分解する。アンモニアは気化器でガス化して、アキュムレーターを経て、ボイラー用の送風機の空気で希釈をして、アンモニア注入ノズルから排煙ガス中に注入する。この反応の最適な温度範囲はボイラーのエコマイザー(EC)の出口と同じ温度の 300~400°C である。この方式の特長は(1)簡単なプロセス、運転が容易、故障が無く信頼性が高く、(2)廃水の発生をとまわず、排ガスの再加熱が不要で、(3)脱硝率が高く、(4)副生物が無いことである。

何種類かの触媒が実際に使われている。これらは主に、チタニウムまたはアルミニウムなどの多孔質セラミックと、補助材として、触媒活性物質よして金属酸化物の何種類かが用いられ、これらは補助材に粒状や、格子状、ハニカム状、あるいは板状で保持されている。触媒の管理は、触媒における、経過時間、脱硝率と触媒層の圧力損失を含む運転データの記録における変化を精査することによって行われる。

SCR Process : Ammonia Catalytic Reduction Process



Reaction



Catalyst

- support: ceramic (Ti, Al, ...)
- catalyst: metals
- shape: granule, grid-form, honeycomb, plate
- control: denitrification rate, catalyst bed draft loss

詳細については P.202~206を参照。

7. 煙突

火力発電所の煙突の目的は、ボイラーの燃料の燃焼に伴って発生する排ガスが周辺の機器や動植物に影響を与えない高所で排気を行い、大気中に拡散させるために建てられる。

Stack height & Draft force

$$(\gamma_a - \gamma_g)H_0 + P_{eb} \geq Vg^2/2g \cdot \gamma_g + \Sigma\Delta h > 0$$

$(\gamma_a - \gamma_g)H_0$: theoretical draft force (kg/m²)

γ_a : air specific weight at atmosphere temp. (kg/m³)

γ_g : exhaust gas " "

H_0 : stack height from datum level (m)

P_{eb} : effective blower pressure (kg/m²)

Vg : exhaust gas outlet velocity (m/s)

g : gravitational acceleration (m/s²)

$\Sigma\Delta h$: total pressure loss in exhaust gas route = $\alpha \cdot V^2/2g \cdot \gamma_g$ (kg/m²)

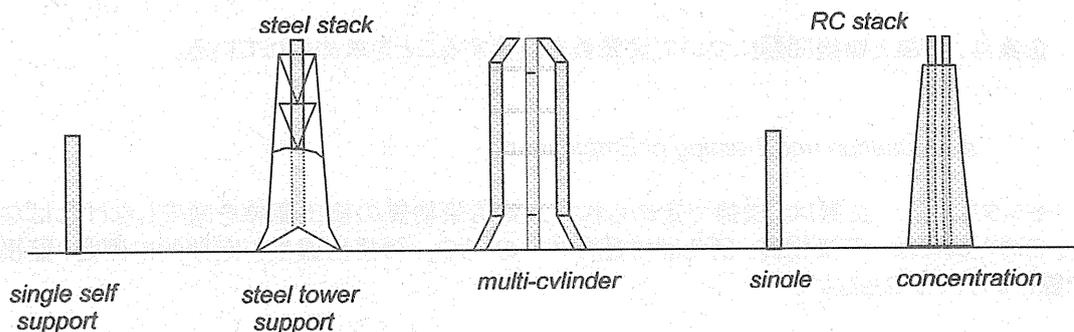
α : resistance coefficient

V : flue gas velocity in route (m/s)

煙突の吸引力は、送風機の送圧と煙突自身を持つ吸引力の和から、煙道における圧力損失を差し引いた値である。スライドに示す式は、吸引力と煙突高さの関係を表すのに一般的に用いられ

る。煙突の高さは本式から求めることができる。しかし、ガス拡散表面と周辺構造物を考慮に入れて、煙突の高さを決定しなければならない。

煙突の形の選定に当っては、構造面と周辺環境との調和に配慮が必要である。



火力発電所の排ガスはボイラーに使う燃料の種類によって異なるが、種々の腐食性物質を含んでいる。そのため、ガス成分、温度、排ガスの流速、ボイラーと脱硫装置の運転状態を考慮に入れて、物理的、化学的に安定なライニング材を選ぶ必要がある。

詳細については P.207～208を参照。

8. 環境管理システム

1. EMS: 環境管理システム(EMS)の傾向は、悪化の一途をたどる地球環境の状況下において、1992年に開かれた環境と開発に関する国連会議で“持続可能な開発”が合意された。この決議に基づき、国際標準化機構(ISO)は1996年に“環境マネージメント・監査”を設定した。これにより、企業は企業活動が与える環境への影響と法規制に基づき、企業が持っている環境問題に対して、基本方針と目標を設定する。企業は、これを実行に移し、目標を達成するために、システムを修正し、監査していく。この作業は繰り返し行われ、仕組みは改善されていく。このサイクルはPDCA サイクル(Plan-Do-Check-Action)と呼ばれる。ISO 14000 は、環境管理を確立し推進していくために、適切な組織、義務、管理システムを作ること要求している。

1. Environmental Management System
 - Trend of environmental management
 - Organization for environmental management & control
 - Mission
 - Pollution control system

ISO
14000

2. 地方自治体との協調: 地方自治体との協調は不可欠である。この協調には、汚染物質測定データ用テレメーターの設置と緊急事態に対する防データなどが含まれる。企業は、汚染防止法を守るに留まらず、汚染を防ぎ、環境を積極的に守らなければならない。

2. Cooperation with Local Government
 - Cooperation in pollution control measures
 - Handling of complaints
 - Environmental protection agreement

3. データの開示: 企業は排出濃度の測定結果の報告と、法律に従って事故時の処置に付いて

自治体に報告しなければならない。これらの他に、企業は環境説明責任に基づき、これらの結果と汚染防止に対して実施した内容を公表することを求められている。

3. Data disclosing

4. 企業は、汚染と環境問題について従業員を教育することを求められている。

4. Education and Training of Employees

5. モニタリング： 企業は、法律で定められた大気汚染物質の排出基準を順守しなければならない。このためには、汚染物質、例えば排煙ガス中の SO₂、の排出濃度を定期的に測定、監視して記録しなければならない。

5. Monitoring

6. 発電所の緑化： 日本では、工場立地方により、新設工場の敷地の20%以上を緑化することが義務付けられている。

6. Greening of Power Station

7. 事故、緊急事態への対応： 発電所の所長は、自治体からの要求に対して、スムーズに即応できるように、マニュアルを整備し、従業員の教育を常に実施するように、上位期間と調整を図ることを求められている。

7. Measures against Accident and Emergency

- Accident
- Emergency

詳細については P.254～259を参照。

9. 省エネルギー

発電所における省エネルギーは汚染物質負荷の低減と同じことを意味する。高効率化を図る技術開発の推進と石炭炊発電所の難しい問題の解決を図ることが必要である。

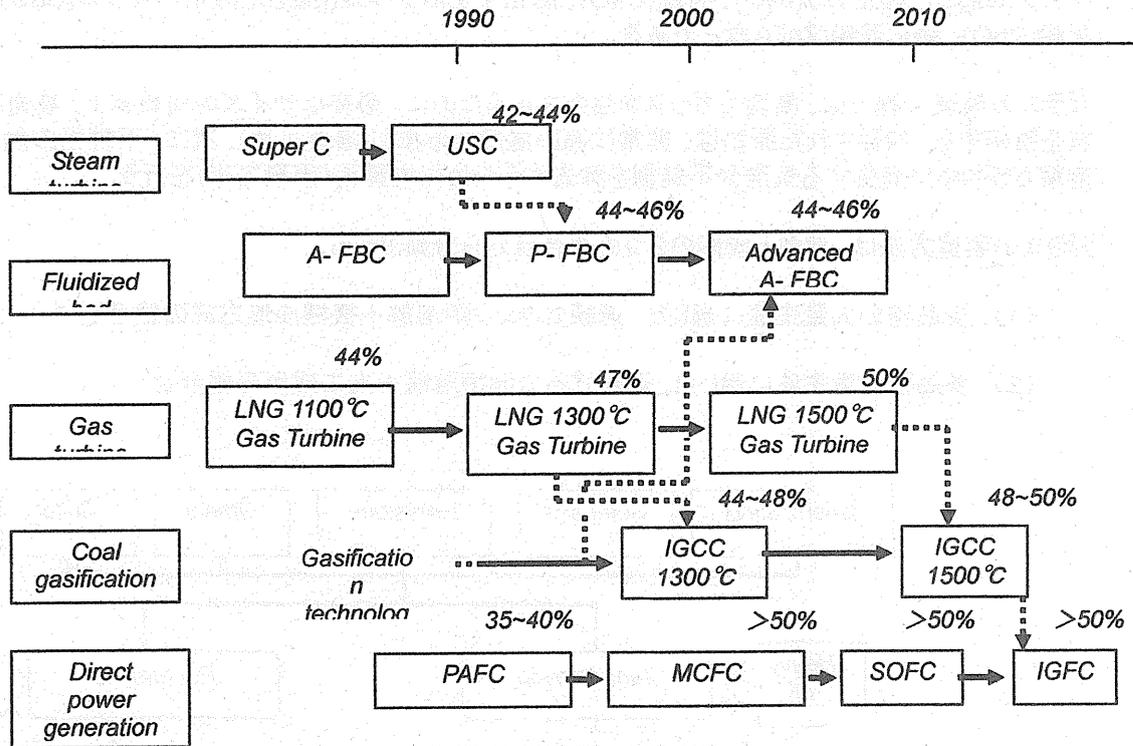
Efficiency improvement
= Energy saving
= Pollution decreasing

高効率発電技術とシステムと時系列の関係をスライドに示す。

微粉炭炊発電所では、効率42～44%の超臨界 2 段再熱発電方式(USC)、常圧流動床動焼(A-FBC)と加圧流動床燃焼(P-FBC)の蒸気タービンが使われている。石炭ガス化では、47%の高い効率を持つ、石炭ガス化複合発電(IGCC)発電装置が使われるようになってきている。

LNG 炊ボイラーを用いるガスタービンでは、1,500℃の高温で運転され、効率50%を有するタービンが開発途上にある。

直接発電では、50~500kW の磷酸燃料電池(PAFC)が、公共施設、ホテルなどでコジェネレーションと組み合わせられて、試験的に使われている。溶融炭酸燃料電池(MCFM)は300kW 容量の第3期の開発に入っている。固体電解質燃料電池(SOFC)とガス化燃料電池(IGFC)は開発中である。



詳細についてはP.147~167を参照。

Ⅱ. ガラス製造業

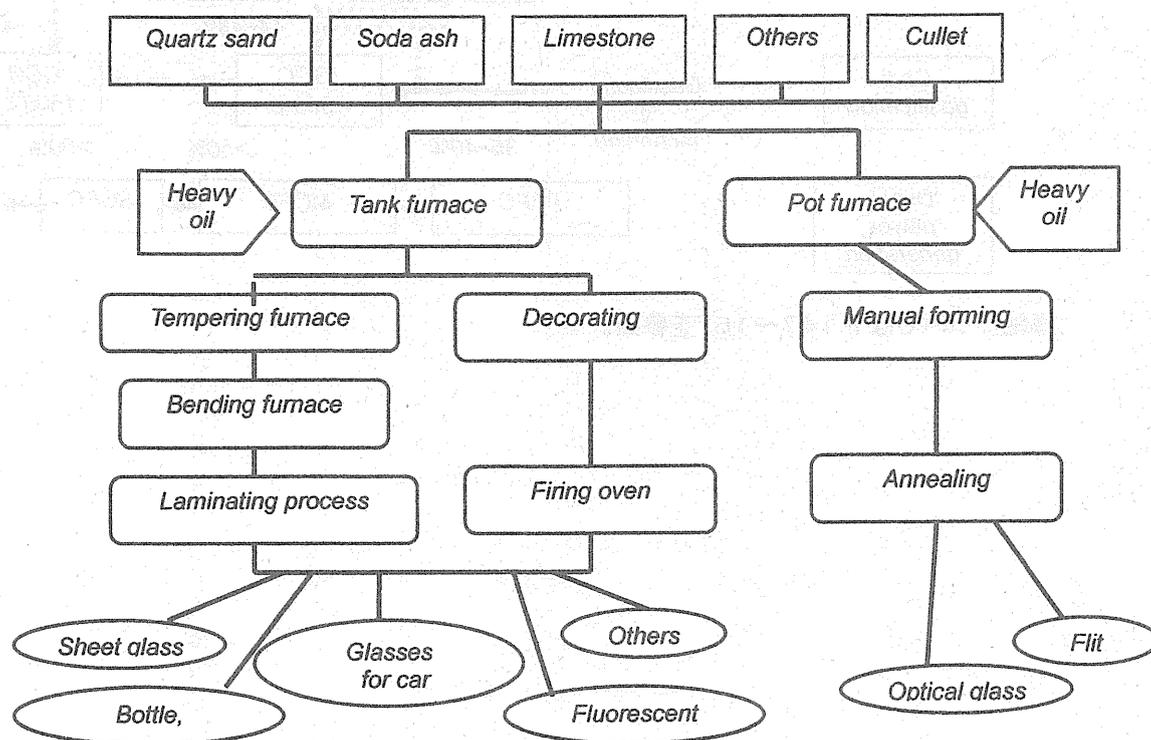
1. ガラス製造業と大気汚染

ガラス製品を成分から分類すると、“普通ガラス”と呼ばれるソーダ石灰ガラスが最も広く使われている。このほかに、特殊成分ガラスがあつて、ホウケイ酸ガラス(硬質ガラス)、鉛ガラスと無アルカリガラスがある。ガラスの主な原料は、珪酸(SiO_2)、アルミナ(Al_2O_3)、ホウ酸(B_2O_3)、リン酸(P_2O_5)、ソーダ(Na_2O)、酸化カリ(K_2O)、石灰(CaO)、酸化マグネシウム(MgO)、酸化バリウム(BaO)、酸化鉛(PbO)、酸化亜鉛(ZnO)、などである。

ガラスの製造工程では、高温でガラスを溶解させるために、必要なサイズの粒径まで、最初に原料を粉砕する。粉砕された原料は、非常に高い温度で溶解し(溶解工程)、次に、不純物の除去と溶解ガラス中に発生する気泡や不純物を除去するために均質化(清澄工程)を行う。

ガラスの製造方法は、溶解と成形の2つの組合せから分類できる。

- (1) 少品種の大量生産に適した、連続式タンク炉溶解+機械成形方式の組合せ
- (2) 多品種少量生産に適した、連帯式つぼ炉溶解+人工成形の組合せ



大気汚染物質は、(1)粉砕した原料の取扱い中に発生するダストと(2)炉の排煙ガスに含まれる SO_x 、 NO_x と有害物質がある。

詳細については P.3~13を参照。