

工業排ガス管理のための 指導マニュアル

2017 年 2 月

目次

1 章 大気及び大気汚染の概要	1
1.1 大気と大気汚染について	1
1.1.1 大気圏の構成	1
1.1.2 大気汚染.....	2
1.2 大気汚染による影響	6
1.2.1 人の健康への影響	6
1.2.2 経済及び環境に対する悪影響	8
1.2.3 グローバルな環境問題の発生	9
2 章 排ガス測定技術	10
2.1 燃焼管理に必要な排ガス測定 (O ₂ 、CO、CO ₂ 、)	10
2.2 排ガスの温度、水分量、流速の測定	15
2.3 排ガス流量の求め方	17
2.4 排ガス中の汚染物質の測定.....	19
2.4.1 排ガス採取方法.....	19
2.4.2 汚染物質の化学測定法 (マニュアル測定)	24
2.5 自動測定法.....	31
2.5.1 排ガスの連続測定	31
2.5.2 自動計測器の維持管理	36
3 章 ダスト、SO₂及びNO_xの排出管理	38
3.1 大気汚染対策のアプローチ.....	38
3.1.1 拡散度の改善	38
3.1.2 生産工程における排出減少	38
3.1.3 エンドオブパイプにおける処理.....	39
3.2 集じん技術.....	40
3.2.1 集じん装置の分類	40
3.2.2 電気集じん装置.....	41
3.2.3 バグフィルター	48
3.2.4 遠心力集じん装置	53
3.2.5 洗浄集じん装置.....	57
3.2.6 集じん装置の保守管理	60
3.3 脱硫技術	67
3.3.1 排煙脱硫プロセスの種類と原理.....	67
3.3.2 排煙脱硫装置の機能と運転、維持管理	72
3.4 脱硝技術	77

3.4.1	低 NO _x 燃焼技術.....	77
3.4.2	排煙脱硝技術	82
3.4.3	脱硝装置の構成、運転、維持管理	85
4 章	省エネルギーによる CO₂ の排出管理.....	88
4.1	企業内における温暖化対策の考え方	88
4.2	燃焼管理による省エネルギー	95
4.2.1	燃焼計算.....	95
4.2.2	空気比の管理	96
4.2.3	すすの発生と低減対策	98
4.2.4	燃焼装置の腐食とその防止対策	101
5 章	重要産業におけるコベネフィット対策.....	103
5.1	石炭火力発電.....	103
5.1.1	生産プロセス	103
5.1.2	大気汚染対策	103
5.1.3	省エネルギー（CO ₂ 削減）対策.....	104
5.2	鉄鋼業.....	107
5.2.1	生産プロセス	107
5.2.2	大気汚染対策	108
5.2.3	省エネルギー（CO ₂ 削減）対策.....	109
5.3	セメント生産.....	112
5.3.1	生産プロセス	112
5.3.2	大気汚染対策	112
5.3.3	省エネルギー（CO ₂ 削減）対策.....	113
5.4	化学工業	116
5.4.1	化学肥料製造	116
5.4.2	石油精製.....	117
6 章	工場における環境管理	120
6.1	全社的な環境管理の取組	120
6.2	環境管理体制の整備と環境管理者の役割	120
6.2.1	環境管理組織の設置.....	120
6.2.2	各環境管理者の役割.....	120
6.3	職員の能力開発	121
6.4	地方行政部門及び地域住民とのコミュニケーション	122
6.5	日本の公害防止管理者制度の例	122
6.5.1	概要.....	122
6.5.2	海外における普及	126

7章 排ガスのインベントリ	127
7.1 インベントリ理論の概説	127
7.1.1 排出インベントリ概念、目的、意義	127
7.1.2 排出インベントリで使用する汚染物質量の計算方法	127
7.2 各工業施設における排出インベントリの実施に関する規程	130
7.2.1 インベントリを実施する汚染物質の確認	130
7.2.2 調査実施範囲の確認	132
7.2.3 排出量の計算方法の選択	133
7.2.4 データ及び情報の収集	134
7.2.5 調査結果の計算	137
7.2.6 報告	142
7.3 排出事業主の登録	142
7.3.1 排出事業主概念、排出事業主登録の目的と意義	142
7.3.2 排出事業主登録の実施の対象	143
7.3.3 排出事業主登録の手続き	143
参考文献	144
付録1 産業排ガス登録インベントリ通達に係る主要産業の排出係数表	146
付録2 排ガス測定方法	149

1 章 大気及び大気汚染の概要

1.1 大気と大気汚染について

1.1.1 大気圏の構成

大気圏とは地球の周り空気の層をいう。

1.1.1.1 大気圏の化学構成

地表に近接した乾燥清浄大気の組成は表 1-1 のとおりである。表 1-1 の組成以外に、体積比で 1～3%の水蒸気を含む。

表 1-1 乾燥清浄空気の組成

ガスの種類	濃度	
	ppm	%
N ₂	780,900	≒78
O ₂	209,400	≒21
Ar	9,340	≒0.9
CO ₂	400*	≒ 0.1
CH ₄	1.2	
NO ₂	0.02	
O ₃	0.01～0.04	

* 2016 年 2 月のハワイのマウナ・ロナにおける CO₂ の濃度

表 1-1 を見てわかることは、大気圏の主要な成分である N₂、O₂、Ar 以外の汚染成分は、体積比でわずか 0.1%にしか満たない。したがって、現在問題になっている大気汚染は大気圏中のわずかな変化の中で起こっていることに過ぎない。しかしながら、このわずかな変化は人間に対して甚大な害をもたらすのに十分な変化である。

1.1.1.2 大気圏の構造区分について

大気圏は 5 つの区分からなる。対流圏、成層圏、中間圏、熱圏及び外気圏である。そのうち、対流圏と成層圏において、大気汚染に関する各現象が起きる。対流圏は地表と接し、10～15km の厚さである。対流圏の特徴として空気の密度が高いこと、高度が上がるとともに温度が低下すること、対流が起こる過程で地表の空気を高所まで押し上げ、水蒸気を凝結し、雨雲に変えることである。対流圏の上には成層圏が高さ約 50km にまで広がっている。オゾン是对流圏と成層圏に存在しているが、成層圏の中のオゾン密度が高い部分をオゾン層と呼んでいる。オゾン層は、紫外線の中でも特に UV-C 及び一部の UV-B と呼ばれる波長領域の紫外線を吸収して、その下層の生命を守る役割を持っている。オゾン層に関連する

各反応は、主として、高度によっては成層圏の温度を上げ、反対に高度によっては対流圏の温度を下げる原因となることである。

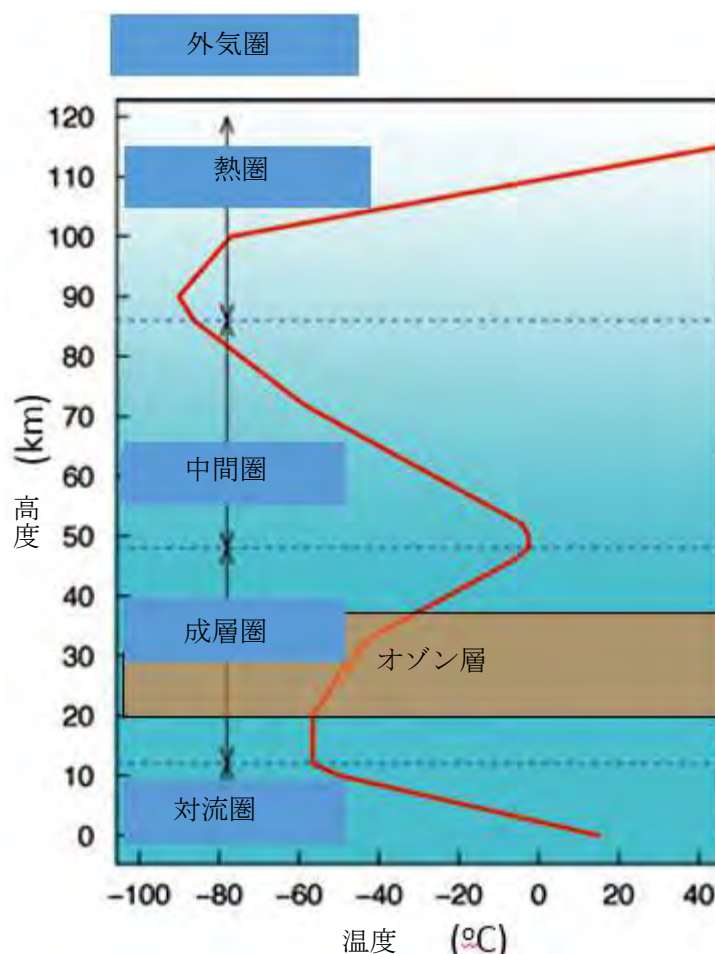


図 1-1 大気圏の構造

1.1.1.3 自然及び人類に対する大気圏の役割について

大気圏はすべての自然と人類を守り、酸素を供給する役割を担っているとともに、自然や人類にとって有害な汚染ガスを「処理」する役割を持つ環境である。多くの人の結論によると、人間の身体は5週間食わず、5日間水を飲まずに耐えることができるが、もし呼吸をしなかったら5分と生きることができない。1日呼吸するために必要な空気の量は10 m³である。このため、空気中に汚染物質が多く含まれていると、肺と呼吸器官は大量の汚染物質を吸うことになり、我々の身体の深くに入り込み、生命や健康に影響を与える可能性がある。

1.1.2 大気汚染

1.1.2.1 概念

大気汚染は大気の成分の変化（定性的／定量的）であり、人間の生活、動植物、財産及

び視程にまで害を与える可能性／傾向がある。

1.1.2.2 大気汚染の各様態について

a. 粒子状の汚染物質

粉じんは分散環境の中における分散系の一つであり、空気との分散相であり、固体、液体又は半固体半液体の微粒子であり、分子レベルから $500\text{ }\mu\text{m}$ までの大きさのものをいう。

- ・ 降下粉じん：空気動力学径が $100\text{ }\mu\text{m}$ より大きいものをいう。
- ・ 浮遊粉じん：空気動力学径が $100\text{ }\mu\text{m}$ より小さいものをいう。
- ・ PM_{10} ：空気動力学径が $10\text{ }\mu\text{m}$ より小さいものをいう。
- ・ $\text{PM}_{2.5}$ ：空気動力学径が $2.5\text{ }\mu\text{m}$ より小さいものをいう。

b. ガス状の汚染物質

- SO_2

SO_2 は無色であり、主に石炭などの硫黄を含む燃料、硫黄を含む一部の油類又は工業オフガスなどの燃料が燃焼する際に形成される。大気圏に放出された後に、 SO_2 は光化学反応を受けて、粒子状の硫酸や無機又は有機の硫化物を作り出す。

- CO

CO は、燃料や有機化合物が不完全燃焼する過程で生成する大気汚染物質である。

- NO_x

NO_x は NO と NO_2 を含む。この二つの気体は、様々な燃料を燃焼させる過程や硝酸を製造する過程及び硝酸を使用する産業で発生する。

燃焼過程における NO (NO 及び少量の NO_2) の3つの生成機構は、thermal NO、prompt NO と fuel NO である。ここで thermal NO は、 $1,200$ 度以上の燃焼温度になったときに、燃焼温度とともに増大する。このため、NO を制御するには燃焼過程の観察に注意を注がなければならない。

NO は無色透明で水に溶けない。 NO_2 は赤茶色で一部が水に溶ける。 NO_2 の赤茶色は都市部の光化学スモッグを薄茶色にする原因となっている。

- オゾン (O_3)

オゾンは成層圏の中で、地上の生活に害がある紫外線を遮る重要な役割を持っている。しかし、対流圏においてはオゾンは汚染物質となる。オゾンは対流圏において NO_x 、VOCs

などの化合物の光化学反応によって生成される酸化物である。オゾンは二次的な汚染物質であるので、オゾン制御することは前記の化合物を制御することによってなされなければならない。

- VOCs とその他の有機化合物

VOCs とは揮発性有機化合物のことである。VOCs は沸点を基に、より具体的に定義することができる。EU 委員会の定義によると、VOCs は標準圧力下において沸点が 250℃以下の有機物である。

米国は、光化学反応によるオゾンの生成を制御するために、主に環境大気中の VOCs を管理している。したがって、米環境保護局は、光化学反応性が顕著でないため VOCs とは分類できないメタン、エタン、CFCs、HCFCs などの有機物の一覧表を作っている。

先進国における VOCs の主な発生源は、工業における溶剤の蒸発過程である。これらの発生源は、表面処理、塗装、ガソリンの給油及び様々な有機化合物の合成製造過程である。

ベトナムにおける一部の研究は、都市部の環境大気中には BTEX (ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン)や PAHs (多環芳香族炭化水素)に類似した多環式有機化合物の含有量が相対的に高いことを指摘している。BTEX の主な発生源は交通、ガソリンの貯蔵・給油であり、PAHs の主な発生源は有機化合物の不完全燃焼過程である。

1.1.2.3 大気汚染の原因の分類

大気汚染の発生原因は以下のように分類することができる。

a. 自然的要因

表 1-2 自然現象が原因となる主な汚染物質

No.	要因	汚染物質
1	火山活動	粉じん、SO ₂
2	森林火災	粉じん、CO、CO ₂ 、NO _x
3	砂嵐	粉じん
4	植物(生きているもの)	炭化水素、花粉
5	動植物 (腐敗)	CH ₄ , H ₂ S
6	土	ウィルス、粉じん
7	海	海塩粒子など

表 1-3 主な汚染物質の自然的・人為的要因別排出割合

汚染物質	排出割合 (%)	
	自然的要因	人為的要因
粉じん	89	11
SO ₂	50	50
CO	91	9
NO ₂	—	ほぼすべて
HC	84	16

表 1-3 によると、NO₂以外のほとんどは、自然的要因の方が絶対量が多い。しかし、人為的要因は自然的要因に比べて、より危険性が高い。

b 人為的要因

主要な汚染源は、交通輸送、工業生産、建設業、民衆生活、農業及び工芸村、廃棄物処理などである。2005 年のハノイにおける汚染源別の排出量は表 1-4 のとおりである。

表 1-4 ハノイ市における主な汚染物質の汚染源別排出量の概算（トン／年）

汚染源	PM ₁₀	SO ₂	NO _x
家庭	1,099	358	307
商店	1,261	263	220
工業	6,665	1,407	1,919
工業燃焼炉	338		
交通手段（自動車）	4,322	1,869	24,537
未舗装の道路からの巻き上げ粉じん	3,120		
舗装道路からの巻き上げ粉じん	3,036		
レンガ生産	1,817	466	390
ゴミの燃焼	1,800		
医療系廃棄物の焼却炉	37		
合計	23,496	4,363	27,373

1.2 大気汚染による影響

1.2.1 人の健康への影響

大気汚染は発展途上国、先進国にかかわらず、すべての国において人間の健康を害する主要な原因となっている。大気汚染は、都市部及び農村部において 2012 年に全世界で 370 万人が命を落とす原因となっている。この死亡率は、PM₁₀ の暴露のために心臓血管や呼吸器の疾患又はがんを引き起こしていることによるものである。

外気は一つの汚染物質のみを含むのではなく、多くの種類の汚染物質を含んでいる。都市部においては、粉じん、オゾン、CO、NO₂、VOCs のような汚染物質を同時に含んでいる。大気汚染が人の健康に及ぼす影響についての様々な研究は、大気汚染単独の又は複合的な影響を、実態の中で確認することによって進めることができる。以下に人の健康に影響を及ぼす主な大気汚染について述べる。

a. 粉じん

粉じんが健康に与える影響を考慮すると、粉じんの問題は主要な大気汚染の中で最大の問題である。先進国も含めた地球上のほとんどすべての地域における現時点での粉じん濃度は、健康に悪影響を与えるものである。粉じんの吸引が人体に明確な悪影響を与えるということについては、既に多くの証拠がある。粉じんが健康に及ぼす作用はかなり広範囲に及ぶが、主要な作用は呼吸器と心臓血管に対してのものである。大半の人々は粉じんの影響に耐えることができるが、その影響は人の健康状態及び年齢によって変わってくる。

粉じんの健康への影響は、基本的に、粉じんの大きさ、成分、粉じん中のその成分の含有量によって決まる。直径 10 µm 未満の粉じん (PM₁₀) は人間の呼吸器官に侵入し、健康に悪影響を与え始める。直径 2.5 µm 未満の粉じん (PM_{2.5}) は人間の肺に侵入して健康に甚大な悪影響を及ぼす。現在、多くの人々はナノレベルの粉じんに大きな関心を抱いているが、この粉じんは直径 100 nm 未満であるため、皮膚組織を貫通して健康に甚大な悪影響を及ぼす。粉じんの大きさのほかに粉じんの成分も健康への影響を決める大きな要素の一つである。例えば粉じんが鉛を含んでいる場合、鉛の作用により神経系にまで影響を及ぼす可能性がある。

粉じん濃度が上昇すると健康影響が増えることを多くの研究が述べている。しかしながら現在に至るまで、粉じん濃度の影響閾値は完全に明らかにされていないわけではない。実際のところ、人の健康に悪影響を及ぼす PM_{2.5} の濃度は、米国や EU 諸国のバックグラウンド濃度 3~5 µg/m³ と比べてそう大きくはない。

2001 年から 2004 年の間にハノイにおいて、PM_{2.5} と PM₁₀ の平均濃度は 11 月から 4 月にかけては、それぞれ 124 と 186 µg/m³ であり、5 月から 10 月にかけては 33~79 µg/m³ であった。ほかの研究によると 2001 年から 2008 年の間にハノイにおける PM_{2.5} の冬季の濃度の最大値は 54 ± 33 µg/m³ であった。

b. O₃

ある研究によると、大気中の O₃ の濃度が 240 µg/m³ 以上になった場合、健康に大きな影響を及ぼす可能性がある。この濃度は、健康な人に対しても、ぜん息を持っている人に対しても、肺及び呼吸器官の活動力を低下させてしまう。実際の研究では、O₃ の濃度が高くなると幼児の死亡率が上がることもについても言及している。各データの数値は、O₃ の大気中の濃度が 70 µg/m³ (WHO が北半球における O₃ のバックグラウンド濃度とみなしている数値。米国における濃度より正確だと思われる。) から 10 µg/m³ 上がるごとに、死亡率が 0.3~0.5% 上がることを証明している。大気中の O₃ の最大濃度は、メキシコシティで記録された 400 ppb である。

2002 年から 2010 年までのハノイ市ラン通りの観測所における月平均 O₃ 濃度は 30 ppb であった。

c. NO_x

NO_x は NO と NO₂ を含む。そのうち NO₂ は、大気中で NO がすぐに NO₂ に変化してしまうため、管理する際に注目されている。短期暴露に関する各研究によると、NO₂ の濃度が 200 µg/m³ を超えると呼吸器系に悪影響を及ぼすことが分かっている。一部の研究では、1 時間に 500 µg/m³ 以上の濃度の NO₂ に暴露されると、健康に対する急性影響が出ることを証明している。ぜん息を患っている人々にとって NO₂ が直接作用するのは 560 µg/m³ からだといわれているが、NO₂ の濃度が 200 µg/m³ を超えると、ぜん息を患っている人々の肺に症状が出始める。

NO₂ は空間又は時間によって濃度変化する気体である。2002 年から 2008 年までのハノイ市ラン通りの観測所における各月の NO₂ 平均濃度の中で、最大値は 2007 年 9 月の 30 ppb 超であった。

d. SO₂

SO₂ の健康に対する作用は多くの研究があり、多くのことが証明されている。SO₂ は 1952 年のロンドンにおける致命的な煙霧の惨禍の中で、4,000 人以上を死に至らしめる原因となった。

SO₂ は呼吸器官や肺に影響を及ぼす可能性があり、目のかゆみを発生させる。ある研究は、心臓病による入院の確率と心臓病による死亡率は SO₂ の濃度が高い日に上昇することを証明している。最近の研究では SO₂ の濃度が低くとも (平均 5 µg/m³、最大 10 µg/m³)、健康に影響があることが分かっている。しかし、強調しておかなければならないことは、各研究では未だに SO₂ の健康への影響はこの気体自身によるものなのか、この気体により生成する微粒子によるものなのか、分かっていないことである。しかし、SO₂ の濃度を観察することは人間の健康を促進するのに良い作用を与えるだろう。

ハノイ市ラン通りの観測所における 2002 年から 2008 年の各月の SO_2 の平均濃度は $5 \sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

e. CO

CO は血液中のヘモグロビンと強い親和性を持ち、一酸化炭素ヘモグロビン (CO-Hb) を生成する。CO の親和性は O_2 の 200 倍以上であり、赤血球中の O_2 の循環能力を減少させてしまう。空気中の CO の濃度及び CO に暴露される時間が増えると、CO-Hb の含有量が徐々に増加する。まず CO-Hb が $2 \sim 5\%$ に上昇すると中枢神経に影響が出始める。CO-Hb が $10 \sim 20\%$ に上昇すると身体の各機能の活動に障害が出始める。もし CO-Hb が 60% 以上になると、これは空気中の CO 濃度 1000 ppm に相当するが、生命に危険を及ぼし、死に至らしめることもある。

ハノイ市ラン通りの観測所における 2002 年から 2007 年にかけての CO の平均濃度は、1 ppm (2002)、1.2 ppm (2003) そして 0.4 ppm (2007)まで減少した。

1.2.2 経済及び環境に対する悪影響

健康影響のほかに、大気汚染は動物、植物、公共工事の資材、視程にまで多くの害を及ぼしている。このすべての害は経済的側面においても多くの影響を及ぼしている。

大気汚染が動物に与える影響のメカニズムは、用量や影響の程度が状況により異なるものの、人間におけるのと似ている。

大気汚染の植物に対する影響は、その植物の種類によって違いがある。ある汚染物質の濃度が同じであったとしても、大きな影響を受ける種類もあれば、耐えて順調に成長できる種類もある。大気汚染の植物に与える影響は、主に樹木の 3 つの繁殖過程 (光合成、呼吸、蒸散) を通してみられる。

SO_2 は汚染物質の中で最も植物に害を与えるものであるため、最も多く研究されている。[4]。 SO_2 は樹木の組織に侵入して、水と結合して硫酸を生成し、細胞に障害を発生させ、光合成能力を衰退させてしまう。これにより、樹木は成長が遅れ、黄色く変色して枯れてしまう。

オゾン、ふっ素化合物、窒素酸化物、硫化水素などの汚染物質なども SO_2 と同じような害を及ぼす。その程度と害を及ぼす組織の違いはあるが、おおむね葉の組織の一部 (斑点、黒ずみ) 又は全部を衰弱させ、光合成能力を弱め、細胞内の反応を阻害してしまうことである。

大気圏における粉じんの害は、太陽光の輻射量を減少させ、植物の光合成能力を低下させてしまうことである。その他に、粉じんは葉の表面に堆積して光合成能力を奪い、呼吸と蒸散能力を衰退させてしまう。このようにして、粉じんは直物の主要な 3 つの成長過程に影響を与え、植物の発育及び成長を衰退させてしまう。

植物に対する影響の他に、酸性雨による腐食など、大気汚染は資材、公共工事などにも

影響を与える。

大気汚染はまた、視程の減少や茶色の光化学スモックを引き起こす。これらの問題は発展途上国ではなかなか関心を持たれることはなく、多くは先進国で関心が持たれている。

1.2.3 グローバルな環境問題の発生

上に列記した各影響の他に、大気汚染はグローバルな問題を引き起こしている。これらの問題とは、オゾン層の減少、地球温暖化、酸性沈着、PAHs、PCBs、ダイオキシン、フランなどの高毒性の気体の発生である。

2 章 排ガス測定技術

2.1 燃焼管理に必要な排ガス測定（O₂、CO、CO₂、）

石炭等の燃料は燃焼により酸素と反応し、CO₂ と水を生成する。燃料と空気の混合が良好でない場合には、一酸化炭素（CO）の未燃ガス濃度が上昇するため、効率的に燃焼させるためには、適切な酸素量が必要である。従って、燃焼排ガス中の酸素（O₂）、二酸化炭素（CO₂）、一酸化炭素（CO）の濃度を正確にモニタリングすることは、燃焼管理において重要である。ここでは、これらのガス成分の測定方法について説明する。

（1）化学分析法による O₂、CO₂、CO の測定

化学分析法による測定はオルザット式とヘンペル式がある。ここでは、主に用いられているオルザット式について説明する。この方法で用いるオルザット式分析装置を図 2-1 に示す。図中の C に CO₂ 吸収液、D に O₂ 吸収液、E に CO 吸収液を入れる。図中の c、d、e のコックを手動で開閉し、排ガスを各吸収液に通して CO₂、O₂、CO の順に吸収させ、その体積減少量からそれぞれの濃度（vol%）を求める。なお、オルザット式分析装置を用いた方法で求められるのは、乾き排ガスのガス組成である。

吸収液の成分は以下のとおりである。

CO₂ 吸収液：水 200ml に水酸化カリウム 60g を溶かしたもの。

O₂ 吸収液：水 200ml に水酸化カリウム 60g を溶かしたものと、水 100mL にピロガロール 12g を溶かしたものを、等体積ずつ混合した液

CO 吸収液：水 100mL に塩化アンモニウム 33g 及び塩化銅（I）27g を溶かした液に、さらにこの全体積の約 1/3 のアンモニア水（25%以上）を加えた液

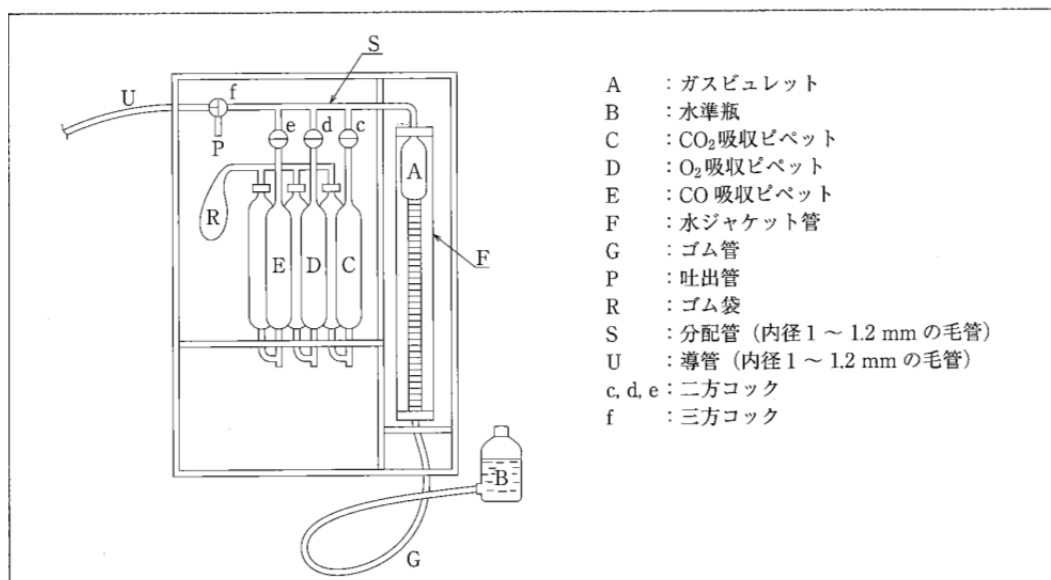


図 2-1 オルザット分析装置

(2) O₂、CO₂、CO の連続測定

(a) 計測器の選択

O₂、CO₂、CO の測定には、各種原理に基づく連続分析計が販売されている。ダクトから排ガスを吸引し、測定器に導入して測定を行う方法 (Extractive measurement) と、ダクト内で直接測定する方法 (*in situ* measurment) の両方の方法がある。

自動計測器の種類、原理と測定できる物質、測定の留意点について表 2-1 にまとめる。各測定器に対する干渉物質の種類、ダストの量に対する影響等を理解することは重要である。計測器を選定し、購入する場合は、排ガス中の干渉成分 (SO₂、CO₂、ダスト等)、排ガス温度、使用場所の温度、湿度、圧力変動等の条件をメーカーに伝え、計測器の仕様が適切であるかを確認する。

表 2-1 O₂、CO₂ 及び CO 自動計測器の種類、原理と測定できる物質、測定の留意点

自動計測器	測定できる物質	測定原理	留意点
Extractive measurement			
磁気式酸素計 (paramagnetic method)	O ₂	常磁性体である O ₂ 分子が磁界内で磁化された際に生じる吸引力を利用して O ₂ 濃度を連続的に求めるものである。磁気風方式と磁気力方式がある。	体積磁化率の大きい、一酸化窒素 (NO) の影響が無視できる場合に使用可能。
電気化学式 (electrochemical cell method)	O ₂ CO	ジルコニア方式： この方法は、高温に加熱されたジルコニア素子の両端に白金電極を設け (図 2-2 参照)、その一方に試料ガス、他方に比較ガスを流して O₂ 濃度の差を与え、両極間に生じる起電力を検出する。(O₂ 測定用) 電極方式： ガス透過膜を通じて電解溶液中に拡散吸収された CO や O₂ が、定電位電解によって酸化されたときに得られる電解電流を測定する。	ジルコニア方式： 高温において酸素と反応する可燃性ガス (CO や CH₄) 又は腐食性の SO₂ ガスの影響が無視できる場合又は除去できる場合に使用可能。 電極方式： SO₂ や CO₂ による酸化還元反応の影響が無視できる場合又は除去できる場合に使用可能。
赤外線吸収計 (NDIR method)	CO CO ₂	CO や CO ₂ の赤外線領域における光吸収を利用し、試料ガス中に含まれる各濃度を非分散形赤外線分析計を用いて測定する。	取扱い易いため、多くの CO 計に採用されている方法である。 水分は測定の妨害となるため、排ガス中の水分を除去する必要がある。

FTIR (Fourier transfer infrared spectroscopy)	CO CO ₂	干渉計から得られる赤外線分光スペクトルを測定セルの入射光とし、CO ₂ やCOの赤外吸収スペクトルを測定し、フーリエ変換、濃度演算を行う。多成分同時分析が可能。	乾式で多成分同時分析が可能であるため、近年急速に普及している。 水分は測定の妨害となるため、排ガス中の水分を除去する必要がある。
<i>in situ</i> measurment			
TLS (Tunable laser analyser)	CO CO ₂ O ₂	紫外線又は赤外線をダクト内の排ガス流に透過させ、各種ガスの特異的な吸収を測定することにより濃度を求める。	標準ガスによる定期的な校正等の必要がなく、メンテナンスが容易である。 排ガス中のダストが多い場合は使用できない。共存物質の影響を無視できる場合に使用可能。

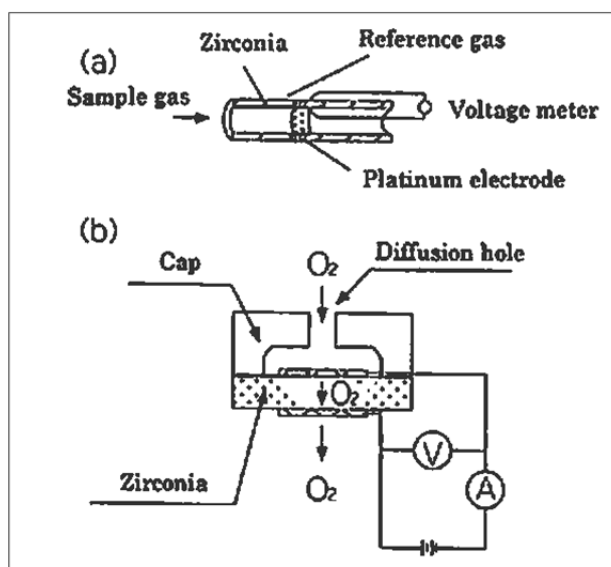


図 2-2 ジルコニア分析計の構成例

表 2-2 測定器の定量範囲

測定器	定量範囲
磁気式酸素計 TLS	O ₂ : 0~5%、0~10%、0~25%
電気化学式	ジルコニア方式 : O ₂ : 0~5%、0~10%、0~25% 電極方式 : CO : 0~200ppm から 0~2%
赤外線吸収計 FTIR TLS	CO : 0~50ppm から 0~5% CO ₂ : 0~25%

(b) 自動計測器の管理方法

日常的な管理は、基本的にはメーカーのマニュアルに従い、消耗品の交換を行う。また、測定値の正確性を保つため、標準ガス（ゼロガス※、スパンガス）を用いての校正を定期的に行うことが重要である。日常的な確認では、正確に校正された可搬型計測器（Testo-310 等）との比較を行うことも可能である。

ゼロ及びスパン調整は以下の方法に従い、定期的に行う。

- ①メーカーのマニュアルに記載されているガス流速で、計測器のゼロガス導入口よりゼロガス（窒素ガス）を流し、ゼロ値をセットする。
- ②スパンガス導入口よりスパンガスを流し、スパンガス濃度値に調整する。
- ③再度、ゼロガスを流し、ゼロ値を確認する。ゼロ値がずれている場合は再度①～③の操作を繰り返し行い調整する。

計測機器はその計測値の「確かさ」を常に確認することが重要である。取り付け状態、取り付け位置の確認、日々の校正の実施、定期的なメンテナンスの実施を確実に行う。

※ ゼロガスは窒素ガスを用いる。スパンガスには、測定レンジの 70～90%程度の濃度の測定対象ガスを用いる。これらの標準ガスはガス会社から購入できる。

2.2 排ガスの温度、水分量、流速の測定

(1) 温度測定

温度を測定する場合、物体に温度計の検出素子を熱的に接触させて測定する接触方式と、高温物体からの放射熱からの放射エネルギーを利用して、離れたところからでも測定できる非接触方式とがある。排ガス測定でよく使用される温度計の種類と原理、測定範囲を表 2-3 に示す。

運転状況の変化により、ダクト内の排ガスの温度はその分布が変化することがあるので、定期的に温度の分布を確認し、平均的な値を示す位置に温度計の設置位置を変更するなど、正確なデータを把握することが重要である。

表 2-3 温度計の測定原理と測定範囲

接触方式	
温度計	測定範囲 (°C)
ガラス製温度計：	
水銀封入	-55 ~ 650
有機液体封入	-100 ~ 200
バイメタル式温度計	-55 ~ 500
圧力式温度計：	
液体充満式	-40 ~ 500
蒸気圧式	-20 ~ 200
熱電温度計	-200 ~ 1700
電気抵抗温度計：	
白金抵抗	-190~660
サーミスター	-50~350
非接触方式	
温度計	測定範囲 (°C)
放射温度計：	
サーモパイル型	200~2000
サーミスターボロメーター形	-50~3200
光高温温度計	700~3000

(2) 排ガスの流速測定

施設の運転管理に各種自動流量計が用いられている。主な流量計は**熱式流量計、差圧式流量計（ピトー管式流量計）、超音波式流量計**などがある。これらの流量測定器を用いる場合、流量計はスケールの付着などにより指示値が変化することがあるため、正確な計測を行うためには、定期的に、他の流量計又はマニュアル測定で校正し、指示値の妥当性を確保することが重要である。

燃焼管理に用いられる代表的な流量計がピトー管である。煙突に設置したピトー管と煙突の外に設置した傾斜マノメータを図 2-3 に示す。ピトー管の前部に穴がありその穴を流体に向けると、その点の流体の静圧と流速 v に対する動圧との和（全圧）を生じる。しかし、横の穴にはその点の静圧しか現れないので、この両圧力の差（動圧）を適当な圧力計で測れば (1) 式により、その流体の流速を知ることができる。動圧は非常に小さいので、動圧を測る圧力計には傾斜マノメータ（図 2-3）を用いて差圧液柱の長さを拡大して読み取る。

ダクト内の平均流速を求めるには、ダクト内に流速の分布があるため、なるべくダクト断面の多くの点で流速を求める。流量は、平均流速にダクトの断面積を乗じて求める。

$$v = C \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}} \quad (1)$$

ここに、 v ：流速（m/s）

C ：ピトー管係数

P_d ：ピトー管による動圧測定値（Pa）

ρ ：ダクト内におけるガスの密度（kg/m³）

動圧＝全圧－静圧

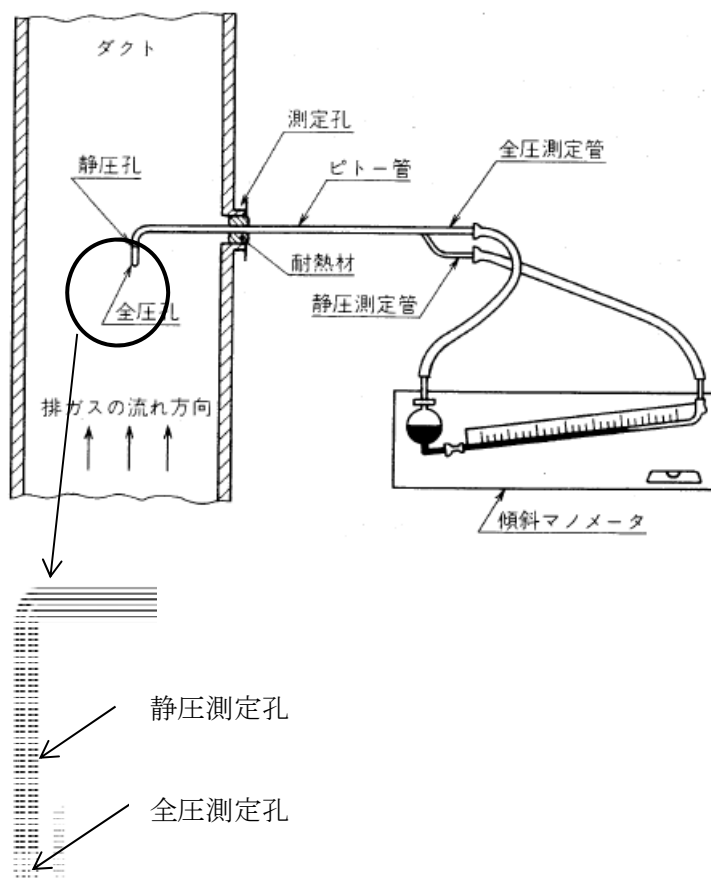


図 2-3 ピトー管と傾斜マンノメータによる排ガス流速の測定

(3) 水分量の測定

流量の測定にピトー管を用いる場合は、排ガス中に含まれる水蒸気を考慮したガスの密度を用いて計算しなければならない。そのためには水分量の測定が必要になる。通常、水分量の測定にはガラス製の吸湿管に吸湿剤を充填して、あらかじめ重量を計測しておき、排ガスを吸引した後も天秤で重量を計測し、前後の重量差と吸引ガス量から計算で求める。通常、燃料や運転状態が大きく変わることがなければ水分量も大きく変わることがない。(測定方法の詳細は JISZ8808 を参照。)

2.3 排ガス流量の求め方

a. 湿り排ガス流量の求め方

湿り排ガス流量は、次によって求める。

排ガスの流速及びダクト断面積から求める場合は、次の式(1)によって求める。

$$Q_N = A\bar{v} \times \frac{273.15}{273.15 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{101.32} \times 60 \times 60 \quad (1)$$

ここに、 Q_N ： 標準状態における湿り排ガス流量 (Nm³/h)

A ： ダクト断面積 (m²)

P_a ： 大気圧 (kPa)

P_s ： 各測定点における排ガスの静圧の平均値 (kPa)

θ_s ： 各測定点における排ガスの温度の平均値 (°C)

$\bar{v}$ ： 各測定点における流速の平均値 (m/s)

$$\bar{v} = \frac{1}{n} (v_1 + v_2 + \dots + v_n)$$

n ： 測定点の数

$v_1, v_2, \dots, v_n$ ： 各測定点における流速 (m/s)

燃焼計算による場合は、式(2)によって求める。

$$Q_N = G_N W \quad (2)$$

ここに、 Q_N ： 標準状態における湿り排ガス流量 (Nm³/h)

G_N ： 燃料単位量当たりの標準状態における湿り排ガス量
[Nm³/kg (固体又は液体燃料), Nm³/m³ (気体燃料)]

W ： 1時間当たりの燃料消費量 [kg/h (固体又は液体燃料),
m³/h (気体燃料)]

b. 乾き排ガス流量の求め方

乾き排ガス流量は、**a.**で求めた湿り排ガス流量から、式(3)によって求める。

$$Q'_N = Q_N \left(1 - \frac{x_w}{100} \right) \quad (3)$$

ここに、 Q'_N ： 標準状態における乾き排ガス流量 (Nm³/h)

Q_N ： 標準状態における湿り排ガス流量 (Nm³/h)

x_w ： 排ガス中の水蒸気の体積分率 (%)

2.4 排ガス中の汚染物質の測定

ベトナムでは、産業排ガス登録インベントリ通達により、産業活動から排出される大気汚染物質（ばいじん、SO₂等）の排出量インベントリの作成を行う予定となっている。対象となる企業は排ガス中の汚染物質の量を正しく把握し、それを国に届け出ることが義務化される。自らが排出する汚染物質の量を知るためには、排ガス中の汚染物質の濃度と排ガス量を正しく把握する必要がある。

ここでは、排ガス中の汚染物質の測定の基礎となる排ガス採取方法や、主な汚染物質である、ばいじん（ダスト）、SO_x、NO_xの測定方法について説明する。

2.4.1 排ガス採取方法

排ガス測定はダクトから排ガスを吸引し、吸収瓶や真空ビン等に目的の汚染物質（SO_x、NO_x等）を吸収又は採取し、その試料を試験室に持ち帰り、分析機器や化学分析法で測定する方法（マニュアル測定法）と、採取したガスをその場で直接、計測器に導入し、物質特有の発光や光吸収等の物理化学的手法を利用した計測器で連続的に測定する方法（自動連続測定法）がある。

排ガスの採取法は、ダクトから吸引した排ガスを測定する方法（吸引採取方式：extraction measurement）と吸引せず、ダクト内において、光吸収等の原理によりその場で測定する方法（非吸引採取方式：in situ measurement）の2通りがある。

排ガス中のガス成分の濃度は、排ガスを吸引採取し、排ガスに含まれる汚染物質の質量と吸引したガスの体積から算出するため、排ガスの採取量、温度、圧力の測定も同時に行う必要がある。排ガス中の粒子（ばいじん（ダスト））を測定する場合は、排ガスの流速と同等の流速で排ガスを吸引（等速吸引）して、フィルターにダストを捕集する必要がある。ガス状物質の場合は等速吸引の必要はない。

(1) マニュアル測定法における排ガス採取概要

吸収瓶を用いた排ガス採取法の構成を図2-4に示す。採取管（プローブ）—導管—吸収瓶—除湿部分—ガス吸引ポンプ—積算流量計（圧力・温度計付き）の順に構成される。

吸引採取方式の場合、ダクトから排ガスを採取するプロセスが、測定の正確さを大きく左右する。特に燃焼排ガスは室温より高いため、水分の凝集が起こる。それを防ぐために採取ラインを加熱するなどの工夫が必要である。プローブの先端には、ダストを除去するためのろ過材を充填する。また、プローブから吸収瓶までの導管は酸露点の高いガスの凝

集による目詰まりを防ぐために加熱する必要がある。また、排ガス中には目的ガス以外にも測定値に影響を与える様々なガス（干渉成分）が存在する。試料採取部に使用される配管などの腐食等も注意する必要がある。

排ガスの採取は、始めに、バイパスを通じて配管中を排ガスで置換し、その後、吸収瓶に排ガスを所定の吸引量に達するまで吸引する。吸引速度は 1~2 L/min 程度で行う。測定の際は、積算流量計で吸引ガス量を測定する。積算流量計は湿式ガスメータ及び乾式ガスメータの二種類がある。湿式ガスメータを用いる場合は、排ガス量の計算の際に飽和水蒸気の補正が必要である。また、濃度算出の際に、標準状態に換算するため、測定時の温度と圧力を記録しておく。

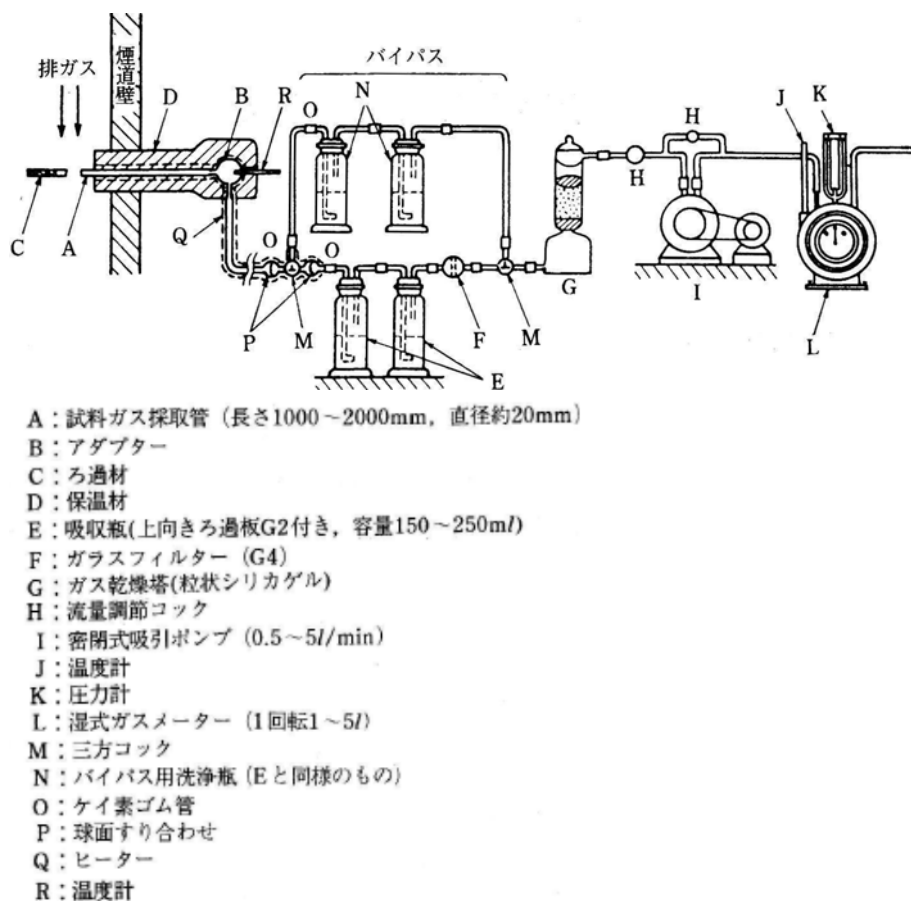


図 2-4 吸収瓶を用いた排ガス採取法の構成例

(2) 試料ガス採取量の算定

試料ガス採取量(V_{SD})は、次の式(1)又は式(2)によって標準状態 (25°C, 101.32 kPa) の乾きガス量で算出する。

a. 湿式ガスメータを用いたとき

$$V_{SD} = V \times \frac{273.5}{298.5+t} \times \frac{P_a+P_m-P_v}{101.32} + 22.4(a+b) \quad (1)$$

b. 乾式ガスメータを用いたとき

$$V_{SD} = V \times \frac{273.5}{298.5+t} \times \frac{P_a+P_m}{101.32} + 22.4(a+b) \quad (2)$$

ここで、

V_{SD} : 乾きガス量 (L)、

V : ガスメータで測定したガス量 (L)

t : ガスメータにおける温度 (°C)、

P_a : 大気圧 (kPa)、

P_m : ガスメータにおけるゲージ圧 (kPa)

P_v : $t^{\circ}\text{C}$ における飽和蒸気圧 (kPa)

a*) : 吸収液に捕集された分析対象成分ガス(mol)

b*) : 吸収液に捕集された分析対象成分ガス以外のガス(mol)

*) は無視してよい場合が多い。

(3) 連続測定法の排ガス採取概要

連続測定器を用いた排ガス採取法は、プローブー導管ー前処理部ー分析計の順に構成される (図 2-4)。導管は水分や露点の高いガスによる目詰まりを防ぐため、保温又は加熱する。SO₂の連続測定では酸露点以上 (150°C以上) に加熱が必要である。通常、連続測定用の一定容量加熱ヒーター、導管、断熱材が一体化された加熱用導管が使用されている。

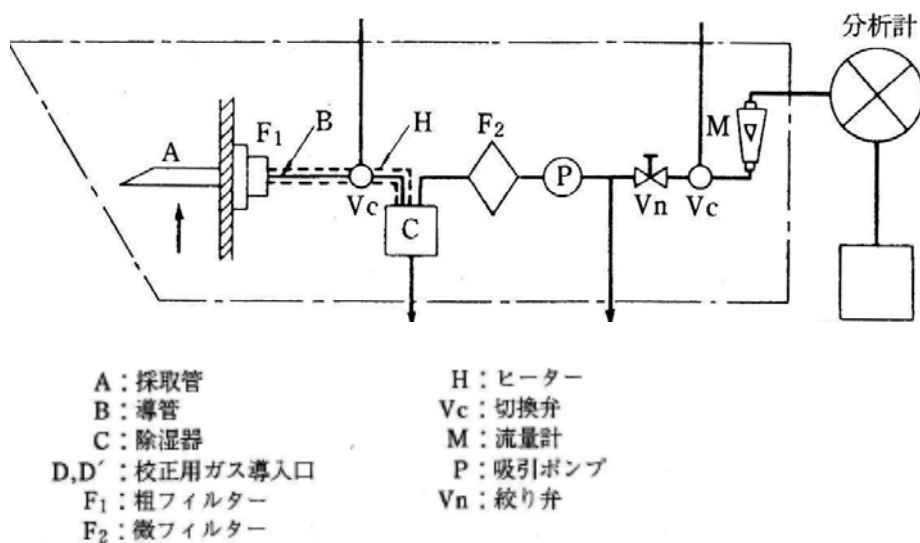


図 2-4 連続測定器の排ガス採取法の構成例

(4) 排ガス採取位置

排ガスの採取位置としては、ダクトの屈曲部分、断面形状の急激に変化する部分などを避け、排ガスの流れが比較的一様に整流され、作業が安全かつ容易な場所を選ぶ。ただし、空気のダクトへの漏れ込みの著しいところ、及びダクト内にダストが堆積しているところは避ける。

(5) 排ガス採取点

測定位置に選んだダクトの測定断面の形状及び大きさに応じて、断面を適当数の等面積に区分し、その区分面積ごとに測定点を選ぶ。断面において、濃度に変化がない場合は代表点での測定が可能である。ベトナムでは測定点の数は US EPA Method 1 の規定を参照するようになっている。

(6) 排ガス採取口

採取口は、ダクト内の排ガスに対してほぼ直角に採取管を挿入できるような角度とする。図 2-5 に採取口と足場の位置を示す。

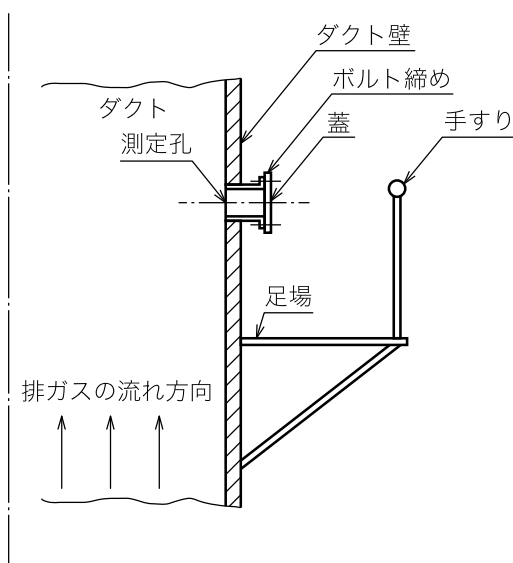


図 2-5 排ガス採取口

(7) 排ガス採取に使用する配管の材質

採取管、導管、接手管及びろ過材の材質は、排ガスの組成、温度などを考慮して、化学反応、吸着作用、腐食性などが無いものを選択する。また、排ガスの温度や流速に対して、十分な耐久性や機械的強度を保てるものを選ぶ。

(8) 非採取法（*in situ* measurement）

非採取方式は連続測定法であり、試料ガスを採取せずに、検知部を一次ろ過材で保護し

た後、排ガス流に暴露させ測定するタイプ ((a) 定点測定) と赤外線又は紫外線をダクト内に貫通させて、その変化量から分析対象成分濃度を測定するタイプ ((b) パスモニター) がある (図 2-6)。

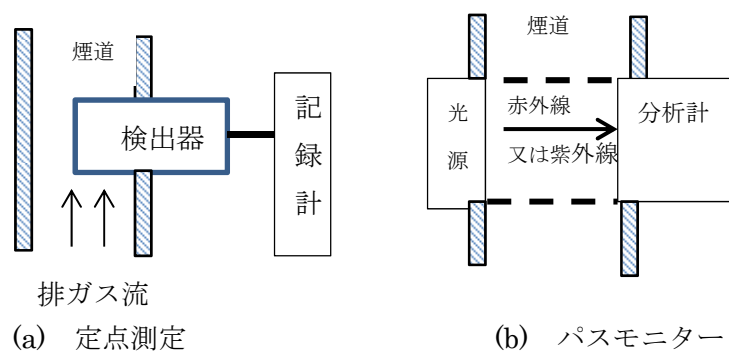


図 2-6 非採取法の構成例

2.4.2 汚染物質の化学測定法（マニュアル測定）

(1) 硫黄酸化物の測定

a. 各種測定方法

2.4.1(1)の排ガス採取方法を用いて、排ガス中の硫黄酸化物（ $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ）を吸収液に吸収させ、その吸収液を各種測定法にて分析する。化学分析方法の種類と吸収溶液、定量範囲について以下の表 2-4 に記載する。

表 2-4 SO_x の化学分析法及び概要（対象成分： $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ）

分析法の種類	測定法の概要			
	要旨	試料採取	定量範囲 (ppm)	備考
イオンクロマトグラフ法	試料ガス中の SO_x を過酸化水素水に吸収させた後、イオンクロマトグラフ法で測定。	吸収瓶法 吸収溶液：過酸化水素水(1%～10%) (25mL×2 本又は 50mL×2 本) 標準ガス採取量 20L	0.5～58 ¹⁾ 12～290 ²⁾	試料ガス中に硫化物などの還元性ガスが高濃度共存すると影響がある。
沈殿滴定法 (アルセナゾⅢ法)	試料ガス中の SO_x を過酸化水素水に吸収させた後、2-プロパノールと酢酸とを加え、アルセナゾⅢを指示薬として酢酸バリウム溶液で滴定。	吸収瓶法 吸収液：過酸化水素水(10%) (50mL×2 本) 標準ガス採取量 20L	140～700 ²⁾	

注) ¹⁾は排ガスを通した吸収液 50mL を 100mL に定容して測定した場合。

²⁾ は排ガスを通した吸収液 100mL を 250mL に定容して測定した場合。

b. SO₂濃度算出方法

排ガス中の SO_x を吸収溶液に吸収し、SO₄²⁻に変換し、a.の方法で吸収液中の SO₄²⁻を定量する。試料ガス中の SO_x の濃度は以下の式で算出する。

$$C_w = \frac{0.667 \times (a - b) \times v}{V_s} \times 1000$$

ここで、

C_w : 試料ガス中の硫黄酸化物を SO₂ として表した時の質量濃度 (mg/m³)

a : 吸収液を測定した際の SO₄²⁻の濃度 (mg/mL)

b : 空試験で求めた SO₄²⁻の濃度 (mg/mL)

v : 全量フラスコ容量 (mL)

V_s : 2.4.1 (2)の方法で算出した標準状態の試料ガス採取量 (L)

0.667 : SO₄²⁻の 1mg に相当する SO₂ の質量 (mg)

(2) NO_x の測定

a. 各種測定方法

NO_x の測定は、真空フラスコ (1 L) (図 2-7)、注射筒 (500mL 又は 200mL) を用いて試料採取を行う。

真空フラスコで採取する場合は、シリンジ又はピペットを用いて、表 2-5 の分析法ごとに規定された吸収溶液 (20mL) をフラスコに入れ、図 2-8 に示すようにサンプリングラインに設置する。真空ポンプで、真空フラスコ内の吸収溶液が沸騰するまで真空フラスコ内を減圧した後、排ガスを導入する。排ガス採取後、真空フラスコを取り外し、オゾン発生装置で発生させたオゾンを含む酸素を導入し、NO_x を硝酸イオンとして吸収溶液中に溶解させる。

注射筒の場合は、排ガスを吸引した後、吸収液及びオゾンを導入し、NO_x を硝酸イオンとして吸収溶液中に溶解させる。この吸収溶液を各種測定法で測定する。

NO_x の分析方法は JIS K 0104、US EPA method7 (NEDA 法) に詳細が記載されているので参考にしてほしい。化学分析方法の種類と吸収溶液、定量範囲について表 2-5 に記載する。

表 2-5 NO_x の化学分析法及び概要 (対象成分：NO+NO₂、NO₂)

分析法の種類	測定法の概要			
	要旨	吸収液	定量範囲 (ppm)	備考
亜鉛還元ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 (Zn-NEDA 法)	試料ガス中の NO _x をオゾンで酸化し、吸収液に吸収させて、硝酸イオンとする。亜鉛粉末で亜硝酸イオンに還元した後、スルファニルアミド及びナフチルエチレンジアミン溶液を加えて発色させ、波長 545nm の吸光度を測定する。	真空フラスコ法又は注射筒法 吸収液：硫酸 (0.005M) を 20mL	真空フラスコ法 1~50 注射筒法： 5~250	
ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 (NEDA 法)	試料ガス中の NO _x をアルカリ性吸収液に吸収させて亜硝酸イオンとし、スルファニルアミン溶液を加えて発色させ、波長 545nm の吸光度を測定する。	真空フラスコ法又は注射筒法 吸収液：アルカリ性過酸化水素—ギ酸ナトリウム溶液を 50mL	真空フラスコ法 3~500 注射筒法： 7~1200	
イオンクロマトグラフ法	試料ガス中の NO _x をオゾン又は酸素で酸化し、吸収液に吸収させ硝酸イオンとする。これをイオンクロマトグラフ法で測定する。	真空フラスコ法又は注射筒法 吸収液：硫酸 (0.005M)—過酸化水素水 (1%) を 20mL	真空フラスコ法 4~1400 注射筒法： 19~7200	
フェノールジスルホン酸吸光光度法 (PDS 法)	試料ガス中の NO _x をオゾン又は酸素で酸化し、吸収液に吸収させて硝酸イオンとし、フェノールジスルホン酸を加えて発色させ、波長 400nm の吸光度を測定。	真空フラスコ法又は注射筒法 吸収液：硫酸 (0.05M)—過酸化水素水 (1%) を 20mL	真空フラスコ法 10~300 注射筒法： 12~4200	試料ガス中のハロゲンガスの影響を受ける。
ザルツマン吸光光度法	試料ガス中の NO ₂ を吸収発色液に通して発色させ、545nm の吸光度を測定する。	吸収瓶法 吸収発色液：スルファニル酸-ナフチルエチレンジアミン酢酸溶液を 25mL	5~200	試料ガス中の NO の影響を受ける。

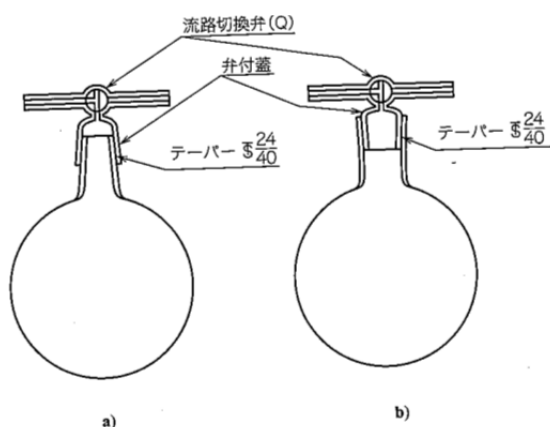
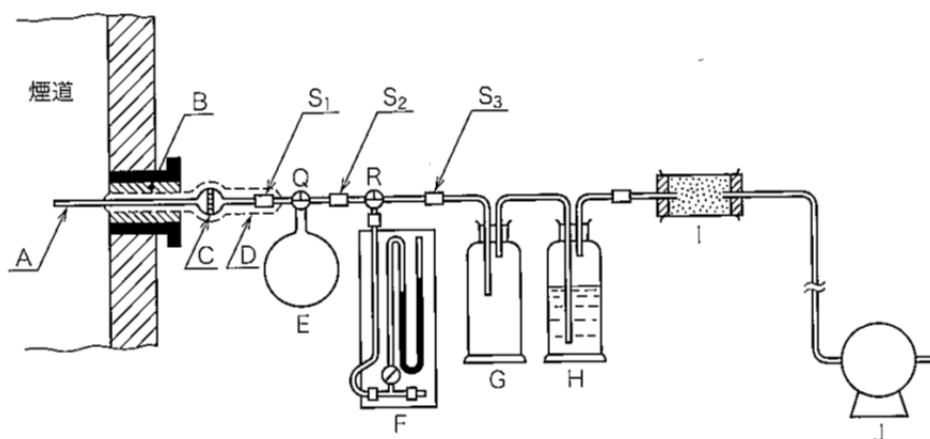


図 2-7 真空フラスコの例



A : 試料ガス採取管 B : 保温剤 C : ろ過材 D : ヒーター E : 真空フラスコ
 F : 水銀マンオメーター G : 空瓶(逆流防止用) H : 洗浄瓶 (NaOH 溶液 40g/L)
 I : 乾燥管 (乾燥材は塩化カルシウムやシリカゲルを用いる) J : 吸引ポンプ
 Q and R : 逆流切換弁 S₁, S₂ and S₃ : シリコーンゴム管

図 2-8 NO_x 測定を試料採取法の構成例

b. NO_x 濃度算出方法

NEDA 法を用いた場合の、排ガス中の NO_x の濃度は以下の式で算出する。

$$C_w = \frac{V}{V_s} \times \frac{100}{V'} \times 10^6$$

ここで、

C_w : 試料ガス中の窒素酸化物の質量濃度 (mg/m³)

V : 検量線から求めた NO₂ の質量(mg)

V' : 分析用試料溶液の採取量 (20 mL)

V_s : 試料ガス採取量 (L)

(3) ばいじん（ダスト）の測定

a. ダストの採取方法

排ガス中のばいじん（ダスト）の採取方法は、ガス状物質のものとは異なる。何故ならば、粒子は採取管先端でガス流が乱れたり、方向が変換された場合、その慣性のためガスの流れに追従できず、排ガス濃度と異なる濃度で採取管に導かれるからである。そのため、ダスト測定の場合は、排ガスの流速と同じ速度でガスを吸引する（等速吸引）。等速吸引をするためには、事前に排ガスの流速を 2.2(2) に従い測定し、求めておく。

測定点は測定位置に選んだダクトの測定断面の形状及び大きさに応じて、JIS Z 8808 や US EPA method 5 の規定に従い、適当数の等断面積に区分し、その区分面積ごとに測定点を選定する。

図 2-10 に試料採取装置の構成例を示す。測定システムは粒子を捕捉するフィルターをダクト内に設置する方法（1 型）と、ダクトの外に設置して測定する方法（2 型）の、2 つの方法がある。1 型は図 2-10 に示すように、ダスト捕集器—導管—SO₂ 吸収瓶—ミスト除去—排ガス吸引ポンプ—面積流量計—積算流量計の順で構成する。図 2-11 に 2 型の構成を示す。この場合、ダスト捕集フィルター及び継手、導管部分等をすべてリボンヒータ等で保温し、水分の凝集等を防ぐ必要がある。ダスト捕集器以降の構成は 1 型と同様である。

一定流量排ガスを吸引後、フィルターに付着した粒子質量を電子天秤で 10mg の桁まで秤取り、その値と排ガス採取量より、排ガス中のダスト濃度を求める。

図 10-12 に円筒ろ紙を用いるダスト捕集器と、円形ろ紙を用いたダスト捕集器を示す。

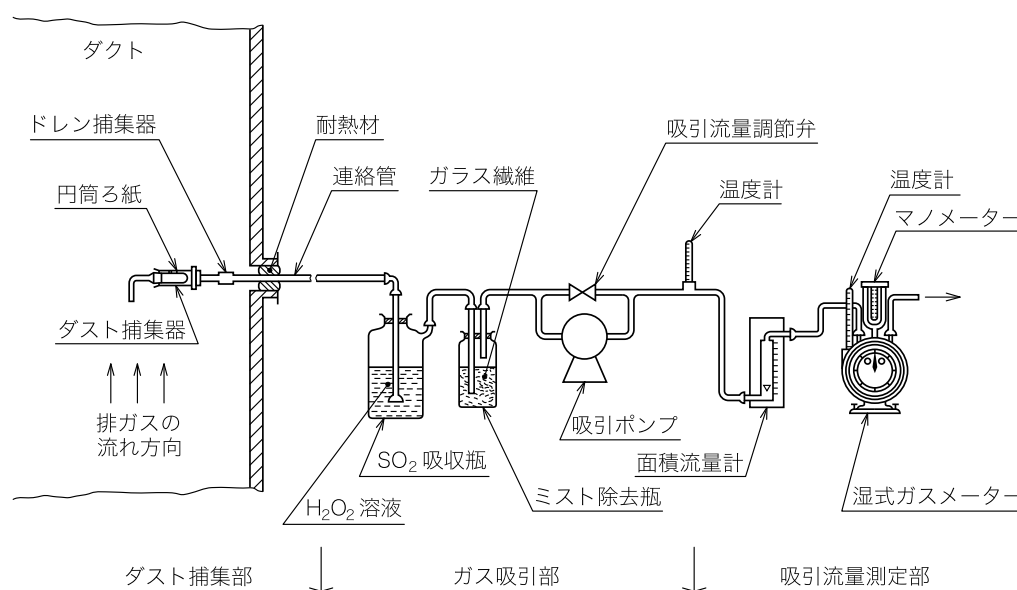


図 2-10 ダスト測定の試料採取装置（1 型）の構成例

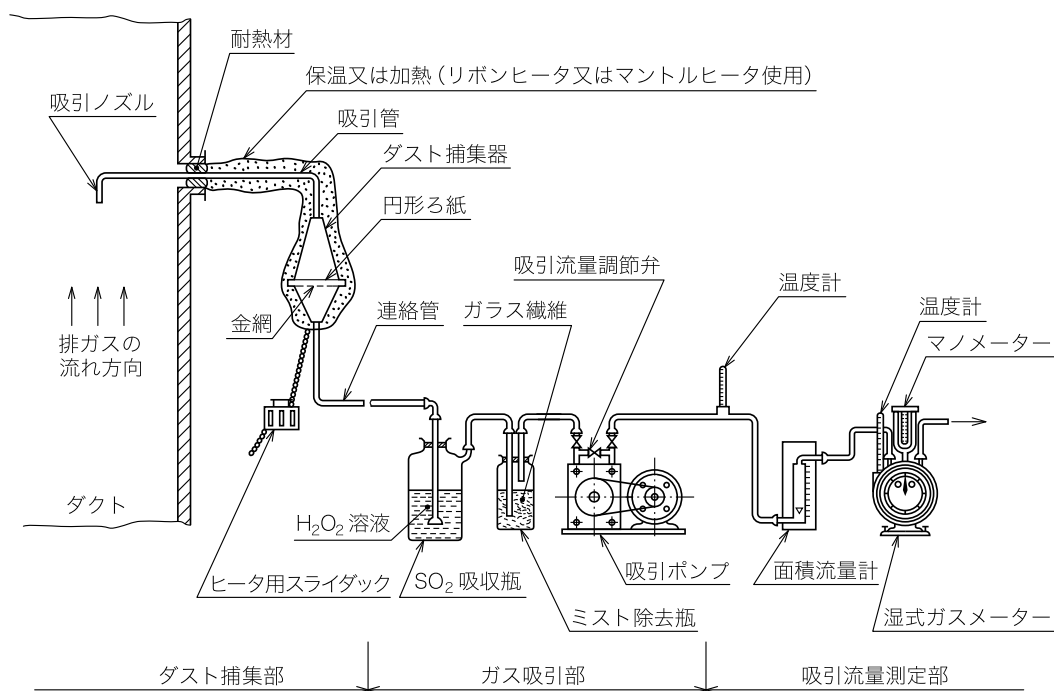
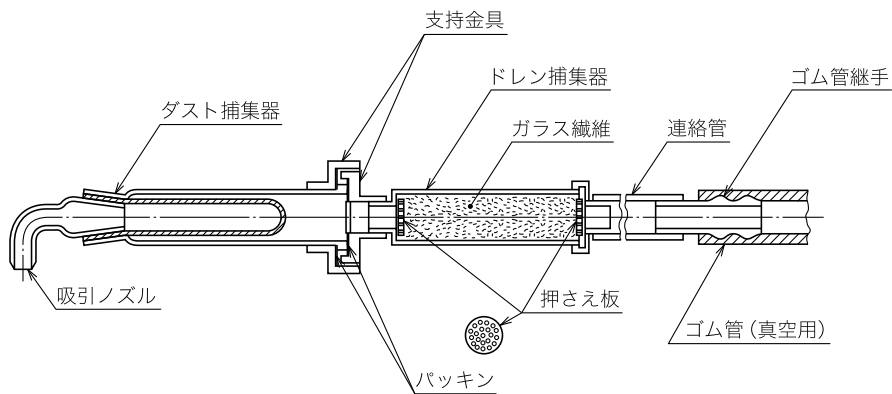


図 2-11 ダスト測定の試料採取装置（2 型）の構成例



(a) 円筒ろ紙を用いるダスト捕集器（1 型用）

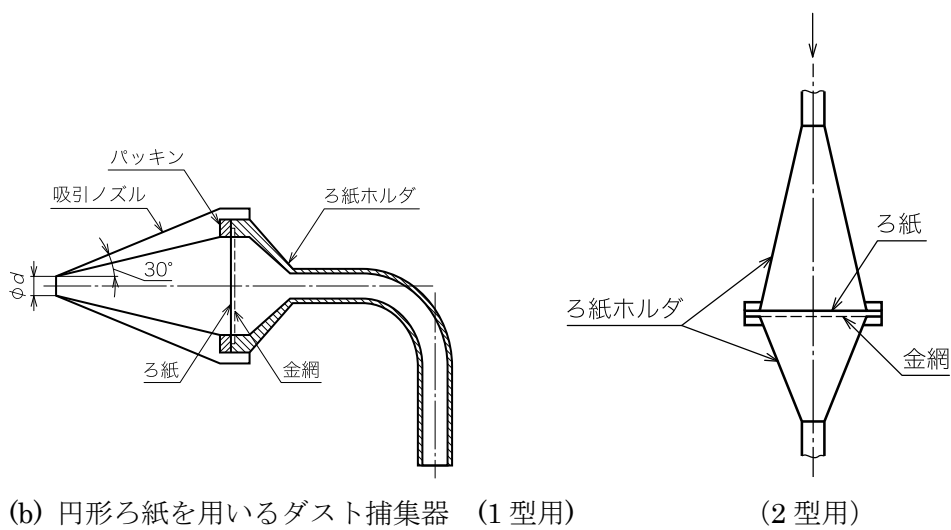


図 2-12 ダスト捕集器の構成例

b. ダスト濃度の計算方法

各測定点での乾き排ガス中のダスト濃度は、標準状態（298.15K(25℃), 101.23kPa）に換算した乾き排ガス 1 m³ 中に含まれるダストの質量で表し、次の式(1)により求める。

$$C_N = \frac{m_d}{V_N} \quad (1)$$

ここで、

C_N ：標準状態における乾き排ガス中のダスト濃度（g/Nm³）

m_d ：捕集したダストの質量（g）

V_N ：標準状態における吸引した乾き排ガス量（Nm³）

2.5 自動測定法

ベトナムでは、2015 年 1 月 1 日施行の改定環境保護法（Law No.55/2014/QH13）及び 2015 年 6 月 15 日施行の廃棄物とスクラップ管理に関する政令（Decree No.38/2015/ND-CP）で、大規模発生源における大気汚染物質の連続排ガスモニタリングが義務付けられた。

工場では、設備の一部として、設備会社が各種連続測定モニタリング計を設置する場合があるが、正確なデータを得るためには、配管等に関していくつかの留意点がある。また、設置後の維持メンテナンスも重要である。ここでは、各種の自動計測器の原理や定期的な校正等の維持メンテナンスについて説明する。

（参考）連続排ガス測定システムは CEMS（Continuous Emission Monitoring System）と呼ばれる。これは米国式の呼び方であり、欧州や ISO の規格では AMS（Automated Measuring System）と呼ばれる。

2.5.1 排ガスの連続測定

排ガスの連続測定には、ダクトからガスを吸引し、配管で地上の小屋に設置されている測定器に導入し、連続測定する場合と、ダクト内に光を直接透過、散乱させることで測定する非採取法がある。排ガス中のダストの連続測定においては、採取法で行った場合、粒子が配管に付着するおそれがあるため、非採取のみの方法しかない。

連続測定は濃度の変動を確認するには良い方法であり、特に排ガス中の濃度の変動するようなガスのモニタリングに適している。しかし、光等の物理現象を用いた自動計測器であるため、精度を保つためには、定期的な標準ガスによる校正や、フィルターの交換等のメンテナンスが重要である。また、ダクトから計測器までの距離が長くなるので、配管を露点や酸露点以上に加熱又は加温して、水分等の凝集や目的ガスの配管への付着等を防ぐことが重要である。また年に数回、施設点検時等にマニュアル法との比較を行い、測定値の確認を行うことを推奨する。測定装置のマニュアル等にかかれた保守点検項目を遵守するように、点検ノートなどを作成し、管理をすることを推奨する。

(1) 二酸化硫黄自動計測器

ダクト（煙道）から排ガスを吸引採取して連続的に測定する SO₂ 自動測定法は、a) 溶液導電率方式、b) 赤外線吸収方式、c) 紫外線吸収方式、d) 紫外線蛍光方式がある。表 2-6 に各測定方式に対する測定レンジ及び適用条件を記す。また、付録 2 に SO₂ 自動測定器の一般的な性能基準を記載する。

表 2-6 SO₂自動測定器の測定レンジと適用条件（標準状態：25℃、1 気圧）

測定方式	測定レンジ		適用条件
	ppm	mg/Nm ³	
溶液導電率方式	0~25 から 0~3,000	0~66 から 0~7,860	共存する CO ₂ 、NH ₃ 、HCl、NO ₂ の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
赤外線吸収方式	0~25 から 0~3,000	0~66 から 0~7,860	共存する水分、CO ₂ 、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	0~25 から 0~3,000	0~66 から 0~7,860	共存する NO ₂ の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。

(2) 窒素酸化物自動計測器

窒素酸化物の自動測定法は、①化学発光方式、②赤外線吸収方式、③紫外線吸収方式、④差分光吸収方式（Differential Optical Absorption Spectrometry: DOAS）がある。①は NO とオゾン（O₃）との反応により生成した励起状態の NO₂*が基底状態に戻るときの発光を測定し、濃度に換算する。NO₂を測定する場合は、コンバータを用いて NO₂を NO に変換してから測定する。②は NO の 5.3 μ m の赤外吸収を測定し、濃度に換算する。この方法は、水分や二酸化炭素の影響を受けやすい。NO₂を測定する場合は、①と同様にコンバータを用いて、NO₂を NO に変換する。③は NO の紫外領域（195～225nm 付近）の光吸収と、NO₂の紫外領域（350～450nm 付近）の吸収を測定し、濃度に換算する方法である。NO の紫外吸収は NO₂と SO₂の紫外領域と重なるため、複雑な多成分解析を行い、濃度を算出する。表 2-7 に各測定方式に対する測定レンジと適用条件を記載する。また、付録 2 に NO_x 自動測定器の一般的な性能基準を記載する。

表 2-7 NO_x 自動計測器の種類、測定レンジ及び測定対象成分（標準状態：25℃、1 気圧）

測定方式	測定レンジ			測定対象物	適用条件
	NO (ppm)	NO (mg/Nm ³)	NO ₂ (mg/Nm ³)		
化学発光方式	0~10 から 0~2,500	0~12.5 から 0~3,075	0~18.8 から 0~4,700	NO NO _x	共存する CO ₂ の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
赤外線吸収方式	0~10 から 0~2,500	0~12.5 から 0~3,075	0~18.8 から 0~4,700	NO NO _x	共存する CO ₂ 、SO ₂ 、水分、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	0~50 から 0~2,500	0~12.5 から 0~3,075	0~18.8 から 0~4,700	NO NO ₂ NO _x	共存する SO ₂ 、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。

(3) ダスト濃度自動計測器

排ガス中のダスト濃度の連続測定法には、光散乱式、光透過式及び摩擦静電気検出式に基づくものが用いられている。ダスト濃度の自動測定器は、規制のための排ガス測定だけでなく、電気集じん器（ESP）やバグフィルターの運転管理にも利用されている。表 2-8 に各測定方式の概要を説明する。

表 2-8 ダスト濃度自動計測器の概要

測定方式	測定法の概要	備考
光散乱式	煙道から吸引された排ガス中のダスト粒子に測定光を投射した時、ダスト粒子により測定光が吸収散乱される。その散乱光強度が、ダスト濃度に比例する性質を利用している。	等速吸引法の測定値に近い値になるので、ダスト濃度の公害用連続測定器として活用されている。
光透過式（オパシティ）	排ガス中に測定光を投射すると、ダクト内を流れるガス中のダスト粒子により、その一部が遮光され、元の光量が減衰し受光素子に到達する。受光した光エネルギーを測定して、ダストの相対濃度を求める方法である。投光器と受光器を排ガスダクトに対向して直接取り付ける方法がほとんどであるが、煙道から排ガスの一部を吸引して、煙道外部に設けられた測定光路に導いて測定する方法もある。	光軸調整が困難などの難点はあるが、装置は一般に比較的安価で、手軽にダストの状況をモニタリングできるのが利点である。
摩擦静電気検出式	2つの固体粒子が接触すると、粒子間で電荷の移動が起こる。この電荷の移動は、摩擦静電気あるいは接触帯電として知られている。排ガス中にプローブ状のセンサーを挿入し、粒子がセンサーに衝突又は近くを通過すると、電荷の移動が起こり、発生する電流の大小によってダストの相対濃度を求める。	この計測器は、流速により測定値が変動するが、ダストのオンライン監視装置としては設置工事が容易で保守性に優れている。 ESP 出口ではダストが荷電を持っているため、この方式は濃度が大きくなる。水分の影響を受けやすい。バグフィルターの破損監視には十分に適用できる。

(4) 多成分同時連続モニタリングの例

典型的な連続排ガスモニタリングでの多成分同時測定の実例を図 2-13 に示す。

一般に、CEMS による排ガス測定は、除じん、脱硫などの処理を終了した最終段階の排ガスに対して実施されるが、脱硫処理の状態や効率をモニターするために脱硫装置の前後の SO_2 濃度を計測する場合もある。ダスト測定器、一部の酸素濃度測定器、流量計及び温度計などのセンサーは煙突又はダクト部分に直接設置され測定値の信号が計装部に送られる。一方、 SO_2 、 NO_x 、 CO 等のガス状の大気汚染物質は、煙突又はダクトに開けられたサンプリング孔（フランジ）から排ガスそのものを配管で地上の小屋に設置された測定器に導入して測定する。地上の測定小屋には、安定した電源、空調及び定期的な校正（キャリブレーション）に使う高圧容器（シリンダー）詰めの標準ガスが用意される。

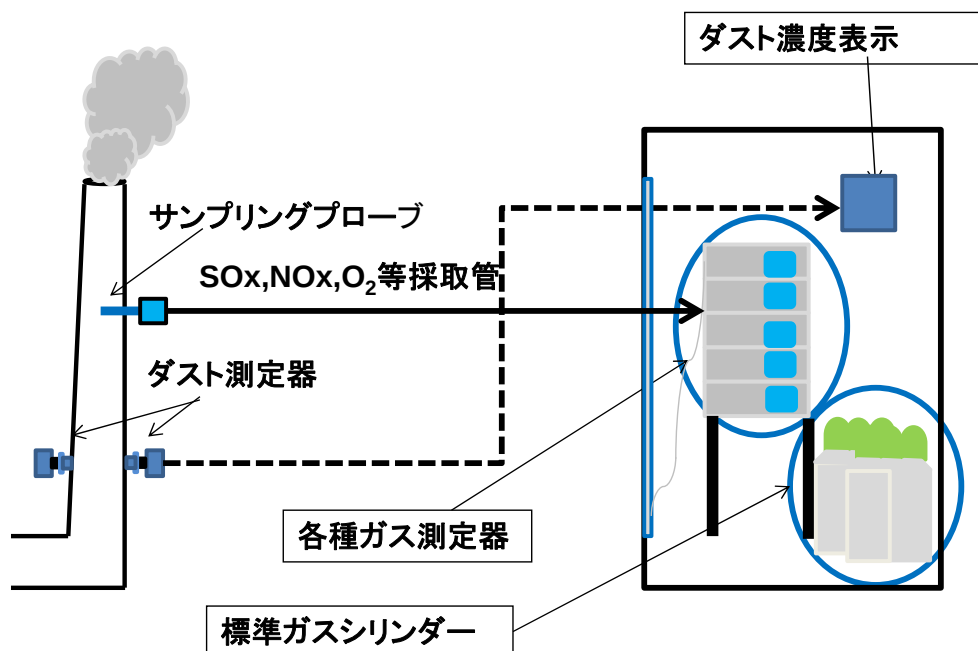


図 2-13 CEMS による多成分同時測定の実例

煙突の中段で排ガスの流れに乱れがない鉛直部分に作業プラットフォームを設け、CEMS に必要なダスト測定器、流量計などのセンサー及び排ガス採取部を設置した理想的な例を図 2-14 に示す。



図 2-14 煙突中段へのセンサー部及び採取部設置例

ベトナムの排出基準では、濃度を比較する際の基本になる標準状態を 25°C、1 気圧と規定しており、単位は mg/Nm^3 である。測定機器による測定結果が体積比 (ppm) で表示される場合があり、これを 25°C、1 気圧における質量濃度 (mg/Nm^3) に変換する場合は以下の式による。

化合物の濃度を C (ppm) とすると。

0°C、1 気圧 (101.32 Pa) の場合

化合物の質量濃度 (mg/Nm^3) = $C \times (\text{化合物の分子量}) / 22.4$

25°C、1 気圧 (101.32 Pa) の場合

化合物の質量濃度 (mg/Nm^3) = $C \times (\text{化合物の分子量}) / [22.4 \times \{ (273+25) / 273 \}]$

2.5.2 自動計測器の維持管理

ベトナムでは、2005 年以降に建設されたほとんどの火力発電所には CEMS が取り付けられている。CEMS を正常に運転し、正確なデータを取得するためには、定期的な校正や維持管理が必要不可欠である。ここでは、ベトナムでよく見受けられる CEMS の故障原因とその対策について記載する。

(1) 定期的な校正

計測器は時間の経過とともに、ゼロやスパンドリフトが起こり、正確な値が測れなくな

る。このため、2.1(2)(b)の自動計測器の校正と同様の手順で、ゼロガス及びスパンガスを用いて、定期的に計測器の校正を行うことが必要である。

(2) サンプルングの注意点

ダクト中に設置した排ガス採取プローブから自動計測器までの配管の適切な設計は、正確な測定値を得るために大変重要である。排ガス中の汚染物質の濃度、測定における妨害成分、水分量、ダスト濃度などを考慮し、適切な除去処理等を行う必要がある。特に以下の点について考慮する必要がある。

- a) 配管内で水分が凝結すると故障の原因となる。また、測定物質が水分に吸収され、真の濃度より低い値になる場合がある。このため、配管内で水分が凝結しないように適切に配管を加熱する。自動計測器の性能に応じて排ガスの除湿をどの程度まで行うか検討する。
- b) 共存する妨害物質の影響により異常値を示す場合がある。自動計測器のマニュアルを良く確認し、妨害物質について確認し、マニュアルに従い、メーカー推奨の除去フィルター等を設置するなど適切な処理を行う。
- c) 湿度により自動計測器の電子基盤の故障が起きやすいので、測定小屋内の温度、湿度を適正に設定する。
- d) 配管のつなぎ部分からのガス漏れ又はガスの侵入による異常値に注意する。配管を設置したら、リークチェックを行う。
- e) 定期点検や部品の取り換えを適切に行う。CEMS は、工場全体が保守点検を行う期間を除いて、24 時間、365 日連続で作動し続ける。ポンプ部、弁の部分、切り替えスイッチ、光源部などの定期的な交換が必要な部品がある。

(注) プラント建設の請負業者、またはその下請けが測定機器を単体で購入し、設置した場合は価格が安くなるが、測定に関する知識がないため、上記の注意点が守られない場合が多いので、自動計測器の設置は CEMS の測定機器メーカーに依頼するか、または知識のある業者に依頼することを推奨する。

(3) CEMS の維持管理に必要な費用

CEMS は上述したように、設置すれば常に正しい値が得られるわけではなく、適切な維持管理を行うことが必要となるため、部品交換等の維持管理のための費用を見積もっておく必要がある。CEMS の維持管理費用は、装置購入後、1～3 年は毎年測定器購入価格の 10%程度がかかり、その後は使用状況にもよるが、部品の交換などでもう少し費用が必要と

なる。十分な維持管理を行えば、10 年～15 年程度は使用することができる。

3 章 ダスト、SO₂ 及び NO_x の排出管理

3.1 大気汚染対策のアプローチ

大気汚染対策のアプローチは3つある。それは、排出した汚染物質の拡散度の改善、生産工程における汚染物質の排出減少、エンドオブパイプでの処理である。

3.1.1 拡散度の改善

この方法が一番歴史がある方法で、大気汚染制御対策の中で最も実施しやすいものである。この方法の哲学は「希釈は公害の解決」である。その目的は、発生源に近い住宅地、工事現場、農地などの対象を守ることである。この方法では環境中への排出量を減らすことはできないが、それらを「希釈」して、対象が直接暴露される濃度を薄めることができる。この方法は以下のとおり実施する。

- ・ 高煙突の使用
- ・ 排出の断続
- ・ 工場移転

3.1.2 生産工程における排出減少

この方法は、大気汚染制御を実施する際に、最初に検討すべき方法である。この方法の目的は、発生源において汚染物質の排出をできるだけ少なくすることである。このことは下記のように、工程変更や汚染予防によって実施することができる。

- ・ 投入する原燃料の改質
- ・ 投入する原燃料の変更
- ・ 汚染物質の排出を減少するための生産工程の変更とエネルギーの効率の向上
- ・ 原材料のリサイクル
- ・ 再生エネルギーの増強

例えば、石炭中に含まれる硫黄を取り除く（処理する）ことにより SO₂ の排出を減少させることができる。石炭中の硫黄は、主に有機と無機の2つの形態で含まれる。無機の硫黄は一般的に黄鉄鉱(FeS₂) の粒の形態で存在している。この黄鉄鉱の粒は重力選鉱により、取り除くことができる。石炭中の S の総量のうちの黄鉄鉱の割合は、石炭の種類、産出鉱山により異なるが、一般的に約 40%である。上記に記載した方法を使えば、石炭中の S 分の総量を約 1/3 を減らせば、排出源における SO₂ の発生も約 1/3 程度減らすことができる。

3.1.3 エンドオブパイプにおける処理

上記の2つの方法を実施した後にも、大気汚染制御の程度がまだ十分でない場合には、いわゆるエンドオブパイプにおける排ガス処理を実施しなければならない。排ガスの下流における処理の技術は図3-1のようにまとめられる。

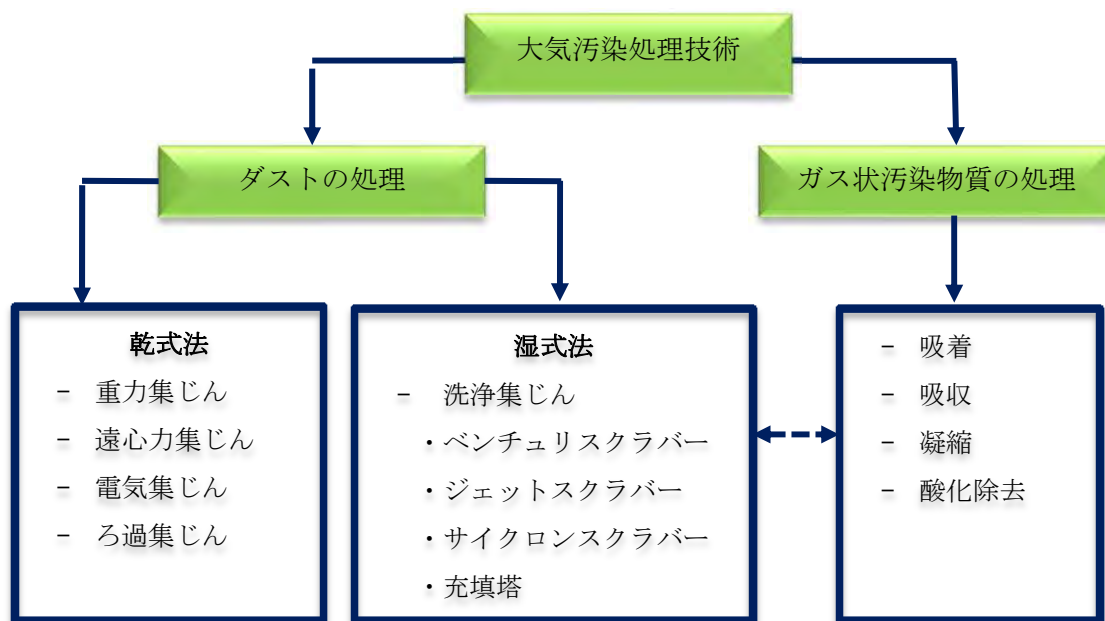


図 3-1 大気汚染処理技術の分類

ダスト、SO₂、NO_x などに対する処理方法については、引き続き本章の次節において詳細に紹介することとする。

3.2 集じん技術

3.2.1 集じん装置の分類

煙などの汚染ガスから固体や液体の粒子を分離し、捕集する集じん装置はおおむね次のように分類される。

(a) 重力集じん装置

重力集じん装置は、含じんガス（汚染ガス）中に含まれる粒子を、重力の作用による自然沈降によって分離する集じん装置である。

(b) 慣性力集じん装置

慣性力集じん装置は、含じんガスを各種の障害物に衝突させ、あるいは含じんガス流の急激な方向転換を行い、粒子の慣性力を利用して分離し捕集する集じん装置である。

(c) 遠心力集じん装置

遠心力集じん装置は、含じんガスを旋回運動させ、粒子に遠心力を作用させることにより、ガスから粒子を分離し捕集する集じん装置である。

(d) 洗浄集じん装置

洗浄集じん装置は、含じんガスを水滴や他の液滴、又は液膜などと接触させ、粒子を洗浄液の中に取り込んで分離し捕集する集じん装置である。

(e) ろ過集じん装置

ろ過集じん装置は、含じんガスをろ過媒体を通して粒子を分離し捕集する集じん装置である。ダストをろ過材内部で分離する方式とろ過材の表面で分離する方式の2つの方式がある。

(f) 電気集じん装置

電気集じん装置は、排ガス中のダスト粒子を帯電させ、これを静電気力により集じん電極に捕集する集じん装置である。

これらの集じん装置のうち、水や他の液体を用いて粒子を捕集するものを湿式集じん装置と呼び、液体を用いずに乾燥した固体粒子のまま捕集するものを乾式集じん装置と呼ぶ。これらの集じん装置のうち、よく使われている電気集じん装置、バグフィルター、遠心力集じん装置、洗浄集じん装置について説明する。

それぞれの集じん装置の捕集効率を図 3-2 に示す。

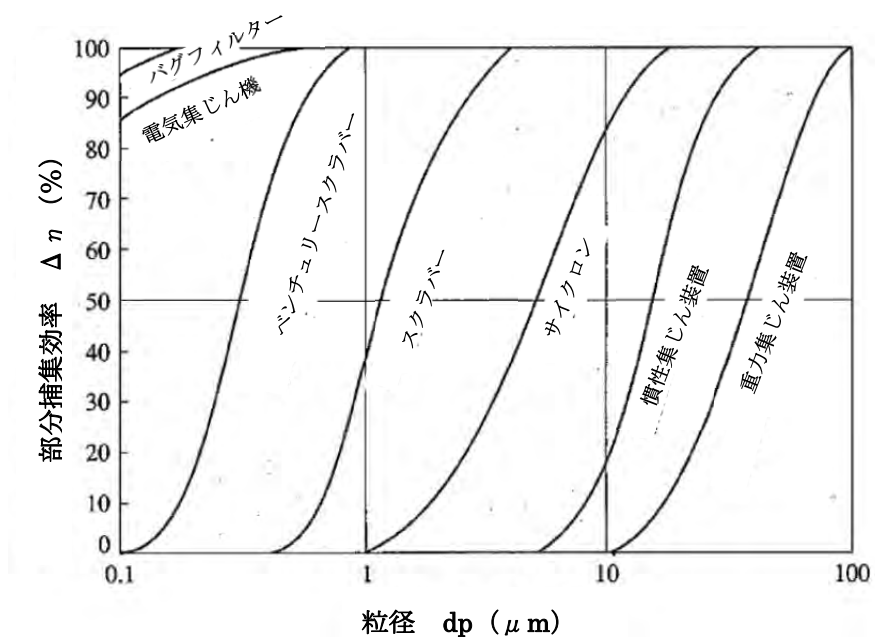


図 3-2 集じん装置の捕集効率

3.2.2 電気集じん装置

(1) 電気集じんの原理

・電極

集じん電極：接地された滑らかな平板あるいは円筒

放電電極：線状

・放電電極

数万ボルトの負の直流高電圧を印加する。電圧の上昇に伴って負コロナ放電が発生する。これによって、集じん電極に向かって負イオンが流れ、イオン風も発生する。高電圧がある値を超えると火花閃絡（火花放電）が発生し、それ以上の高電圧をかけられなくなる。

コロナ放電が発生している電極間を、浮遊粒子を含んだガスが通過すると、負イオンとの衝突により微粒子が荷電される。荷電された微粒子は、コロナ空間の直流電界により集じん電極方向に力を受けて集じん電極に到達する。

集じん電極に堆積したダストが十分な厚さになったとき、集じん電極をつち打ちして機械的衝撃を与え、堆積ダスト層を剥離、落下させ、下部のホッパー内に捕集する。

図 3-3 に円筒形の電気集じんの原理を示す。

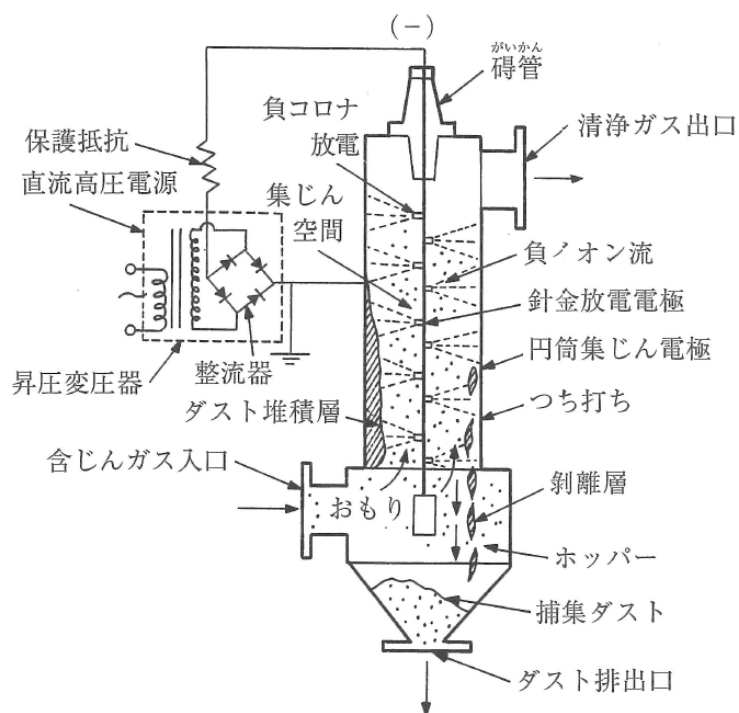


図 3-3 電気集じんの原理 (円筒形)

(2) コロナ放電

針や線状のとがった放電電極と平板や円筒の集じん電極間に直流高電圧をかけると放電電極先端付近が高電界となって気体の局所的な絶縁破壊が起こる。

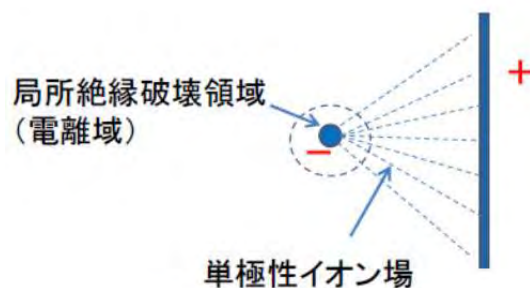


図 3-4 コロナ放電

単極性イオン場で微粒子を荷電する。コロナ放電開始後の電圧 V 、電流 I の関係は近似的に次式で示される。

$$I = AV (V - V_c)$$

A : 定数、 V_c : コロナ放電開始電圧

コロナ放電電圧と電流特性の関係を図 3-5 に示す。

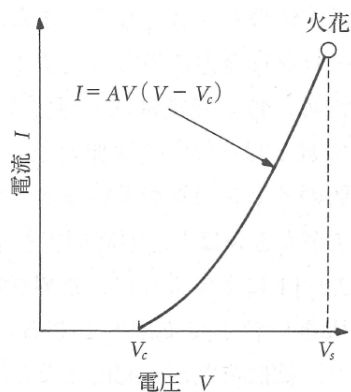


図 3-5 コロナ放電の電圧－電流特性

負コロナの火花電圧 $V_s^{(-)}$ は、電極間距離 d が 5cm 程度以上において、およそ 15d kV である。正コロナの火花電圧 $V_s^{(+)}$ は図 3-6 に示すように通常、負コロナの約 1/2 である。

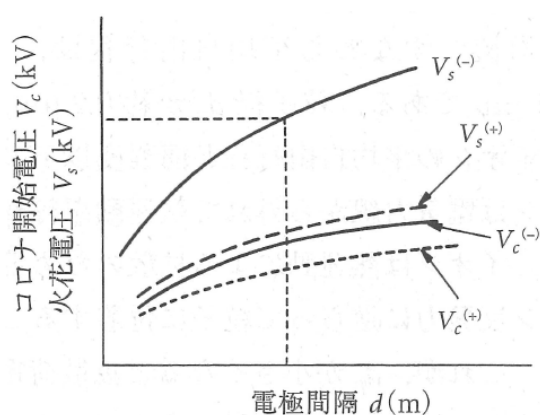


図 3-6 不平等電界における放電極性効果

工業用電気集じん装置では、一般に放電電極を負極に、集じん電極を正極とした不平等電界を形成し、負コロナ放電を利用する。これは、操業の条件によってばい煙の性状が大幅に変化しても、コロナ開始電圧と火花電圧との差が大きいため高い電圧で安定した運転ができ、火花閃絡が発生しにくいためである。これに対して、室内空気洗浄用の電気集じん装置には有害なオゾン発生量の少ない正コロナ放電が用いられる。

(3) 電気集じん装置の種類と構造

(a) 円筒形と平板形

円筒形の電気集じん装置を図 3-3 に平板形を図 3-7 に示す。一般には、集じん電極を平行平板で構成し、この間に放電電極を配置した平板形が広く用いられている。それ

それに乾式と湿式がある。

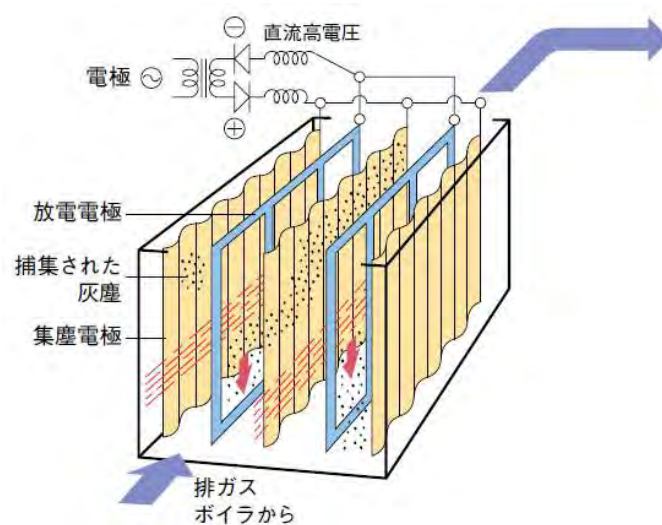


図 3-7 平板形電気集じん装置

(b) 垂直型と水平型

垂直型：処理ガスが垂直に流れる方式のもの。ガス流量が大きくなるとガスの均一な分布が困難になる。

水平型：処理ガスが水平に流れる方式のもの。中容量以上では水平形が用いられる。

(c) 一段式と二段式

一段式と二段式の架電方式の放電電極と集じん電極の配置を図 3-8 に示す。

一段式：放電電極と集じん電極の間の空間でダストの荷電と集じんが同時に行われる形式。再飛散に対して極めて有利であり、産業用として最も普及しているが、

逆電離現象を避けることが困難である。

二段式：荷電だけを行う荷電部を上流に設け、その下流に正電界による捕集のみを行う集じん部を設ける形式。集じん電極間隔を狭くして集じん面積を大きくできるため装置の小型化が可能となる。微細なダストで含じん濃度の極めて低い空気清浄機、ばい煙の前処理に用いられる静電凝集器、あるいは付着性の高いダストの集じんなどに採用されている。

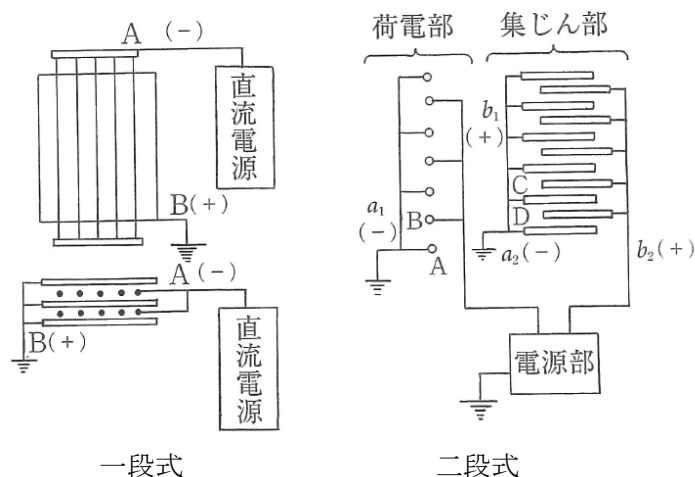


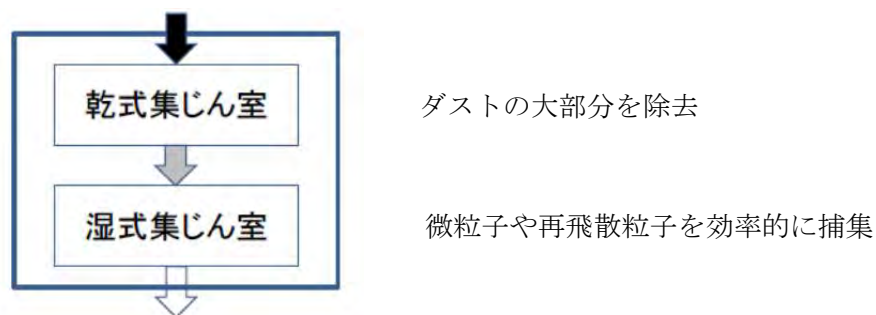
図 3-8 電気集じん装置の荷電方式

(d) 乾式と湿式

乾式：対象粒子が乾燥した固体粒子で、これを乾燥状態のまま捕集する形式をいう。

湿式：集じん電極表面に注水して水膜を作ったり、集じん室に水を噴霧して集じん電極上に捕集した粒子を水とともに洗い流す形式をいう。湿式は、逆電離及び再飛散が発生しないため集じん性能が極めて高く、塩化水素などのガス吸収もできるが、水処理装置を必要とする欠点がある。

ハイブリッド型：同一ケーシング内に乾式と湿式の集じん装置を設置した形式で、石炭火力発電所などでの設置例がある。



対象粒子が硫酸ミストのように著しい腐食性がある場合や、酸露点以下で使用する場合は、銅製の集じん電極や放電電極を鉛で被覆して保護したり、化学的に耐食性の強い電気伝導性プラスチック製の電極を用いる。

(e) 乾式電気集じん装置の本体構造

通常、電気集じん装置の集じん空間はいくつかの部屋に仕切られている。例えば 2 室 3 区という場合は、図 3-9 に示すように、ガス流を 2 室に分け、またガス流方向に 3 区に仕切られている。

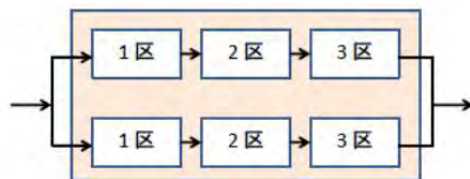


図 3-9 2 室 3 区の集じん空間の構成

集じん空間をガス流方向に多段に分割するのは、構造を適当な大きさのユニットにモジュール化することによる製作、据え付け上の利点に加え、上流、中流、下流でそれぞれコロナの電圧－電流特性と火花放電が異なるので、最大の集じん性能を発揮させるには別個の荷電制御（印可電圧制御）をする必要があるという理由による。

上流の集じん室：含じん濃度高いため浮遊ダストによる空間電荷の効果が大きく、コロナ電流が抑制されやすく、同時に集じん電極付近の電界が高まる結果、火花電圧が低下しやすい。

下流の集じん室：含じん濃度が低いため、空間電荷の効果は大幅に低減し、火花電圧もコロナ電流を大きくとることができる。

放電電極は、集じん電極と対向して適当な間隔で配置される。おもり支持、あるいはフレームに固定したものが用いられる。フレームは碍子で支持される。碍子はエアーページにより清浄に保ち、絶縁性を維持する。

放電電極並びに集じん電極に付着したダストはつち打ちにより剥離され、下方のホッパー内に落下・集積する。つち打ちは、

放電電極：連続で実施

集じん電極：間欠的に実施

される。

ホッパー部におけるガスのバイパスを、仕切板により防止する。ホッパー内は高温ガスの流動がないため温度が下がって、相対湿度が高くなり、極端な場合はホッパー内壁に結露が起こる。このときダストが付着性を増し、ホッパー内から排出されず、ダストが放電電極下端まで堆積してこれと接触することすらある。これを防ぐためには、特にホッパーの外壁を十分に保温する必要がある。

図 3-10 にフレーム形放電電極を用いた平板形乾式電気集じん装置の構造図を示す。

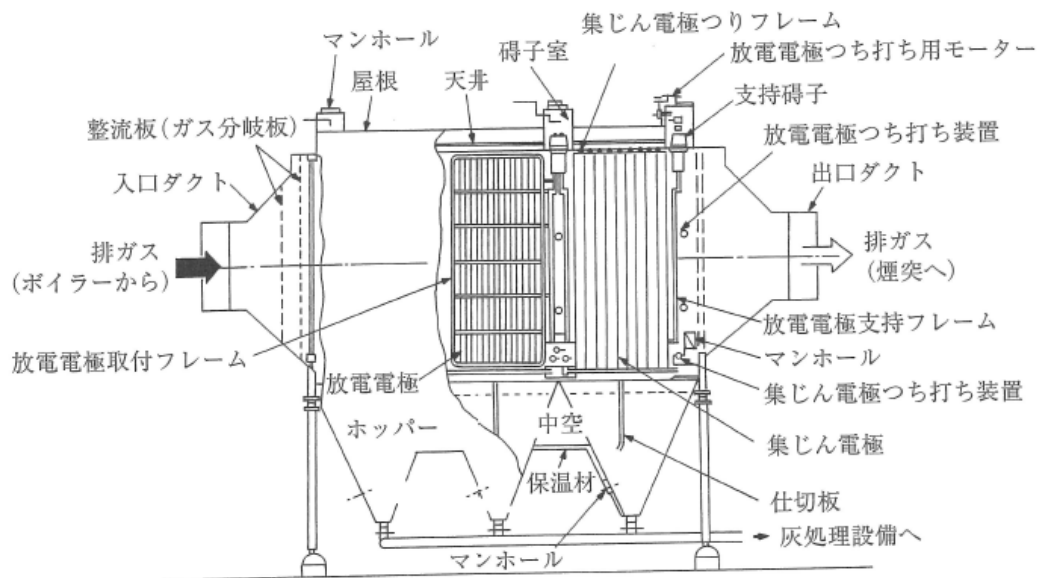


図 3-10 平板形乾式電気集じん装置（フレーム形放電電極）

(f) 主要構成要素

* 放電電極

- ・ 細いほどコロナの発生が容易で望ましい。
- ・ 処理ガス量が多くなると集じん電極が高く（長く）なり、放電電極も高くなり、振れやすくなるため、振動やつち打ちに耐えられる機械的強度が必要である。

* 集じん電極

- ・ 付着ダストが剥離、落下しやすく、つち打ちによるガスの再飛散が起りにくい形状であることが必要である。また、熱ひずみによる変形が起こらないことも重要である。

* つち打ち装置

- ・ 放電電極にダストが付着すると放電特性が低下するので、ほぼ連続的につち打ちする必要がある。
- ・ つち打ち回数は、集じん率が最大となるようダスト性状に応じて調整する。

つち打ち時間：1～2 分間

つち打ち間隔：1～3 時間

- ・ ダストの付着量が多いほど、見かけ電気抵抗率が高いほど、つち打ち間隔を短くする。

* 荷電設備

・ 装置の構成

一次交流電源、電圧調整装置、昇圧変圧器、整流器制御・保護装置で構成される。

・ 電気集じん装置の特異性

電圧・電流特性は、ダスト濃度、集じん電極上のダスト層の厚さ、ガス温度の影響を受け、絶えず変動する。

- ・火花閃絡の発生

印可電圧が上昇するほど火花閃絡の発生頻度が上がり、アークへの移行確率も上がる。いったんアークが発生すると放電電極が損耗して断線の原因となり、また電源自体も過負荷となる。最高の集じん率は一定の頻度で火花閃絡が発生する程度の高い電圧で得られる。このため、アークへの移行防止の電圧制御が重要である。

- * ガス調整装置

- ・集じんが容易になるようにダストの性状を調整したり、ダストの毒性や腐食性を改質したりするために、入口ガス調整装置を設け、水分、三酸化硫黄、アンモニア等を注入する場合がある。

3.2.3 バグフィルター

(1) 捕集機構

ろ布上でのダスト堆積層の形成過程を図 3-11 に示す。

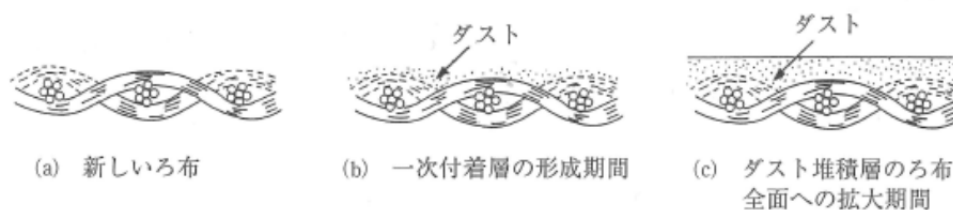


図 3-11 織布上でのダスト堆積層の形成過程

(2) 代表的なバグフィルターのろ布の特徴

代表的なバグフィルターのろ布の材質と性能の一覧表を表 3-1 に示す。

表 3-1 代表的なバグフィルターのろ布材の使用例

名称		織り方	目付 (g/m ²)	密度 (本/2.54cm)		引張強度 (kg/cm ²)		通気度 (cm ³ ・s ⁻¹ ・ cm ⁻²)	常用耐熱 温度 (℃)	耐酸	耐 アル カリ	コスト比
				縦	横	縦	横					
織布	木綿	5枚縹子織	325	75	57	80	57	5	60	×	△	1
	バイレン	5枚縹子織	260	75	47	190	110	7	80	○	△	1.4
	ナイロン	5枚縹子織	310	75	56	135	95	7	100	×	○	1.6
	耐熱ナイロン	5枚縹子織	310	78	58	145	105	10	200	△	○	4.0
	ポリエステル	5枚縹子織	335	78	58	220	170	8	140	△	△	1.2
	アクリル	5枚縹子織	300	74	50	110	75	10	120	○	×	2.3
	四ふっ化エチレン (テフロン)	5枚縹子織	350	88	79	50	47	20	250	○	○	22.0
	ガラス繊維	1/3あや織	480	48	20	185	130	20	250	○	○	3.3
	ガラス繊維	二重特殊織	790	48	40	288	120	15	250	○	○	5.4
	PPS*	5枚縹子織	300	100	50	180	95	6.2	190	○	○	6.5
不織布		表面加工		厚さ (nm)								
	ポリエステル	毛焼き又は平滑	600	1.9		80	200	18	140	△	△	1.5
	ポリエステル	膜加工	550	1.8		70	140	5	140	△	△	10.0
	バイレン	毛焼き	500	1.8		70	180	15	80	○	△	1.9
	アクリル	毛焼き	600	1.9		70	70	12	120	○	×	4.0
	耐熱ナイロン	毛焼き	500	1.7		80	150	20	200	△	○	5.4
	ガラス繊維	－	950	2.5		197	213	19	250	○	○	20.0
	四ふっ化エチレン (テフロン)	－	840	1.3		71	108	9	250	○	○	55.0
	PPS*	平滑	550	1.7		70	140	15	190	○	○	8.0
	テファイヤ	－	710	1.3		60	50	15	250	○	○	21.0
	ポリイミド	－	475	1.5		80	154	22	260	○	○	15.0

【注】 バイレン：ポリプロピレン，PPS*：ポリフェニレンサルファイド

ろ布の織り方は、平織、縹子（しゅす）織、綾織の 3 種類がある。平織は、経糸（たていと）と緯糸（よこいと）を交互に浮き沈みさせて織る最も単純な織り方で、できあがった模様は左右対称になる。図 3-12 に縹子織の例を図 3-13 に綾織の例を示す。工業用には、縹子織が最も使われている。

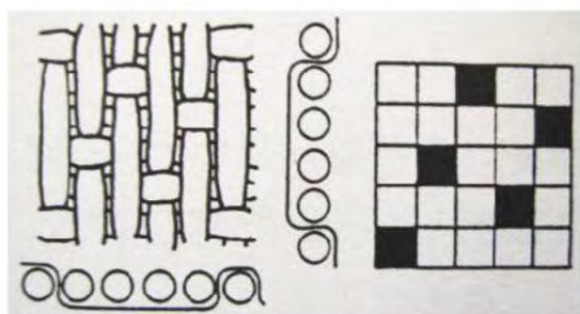


図 3-12 縹子織



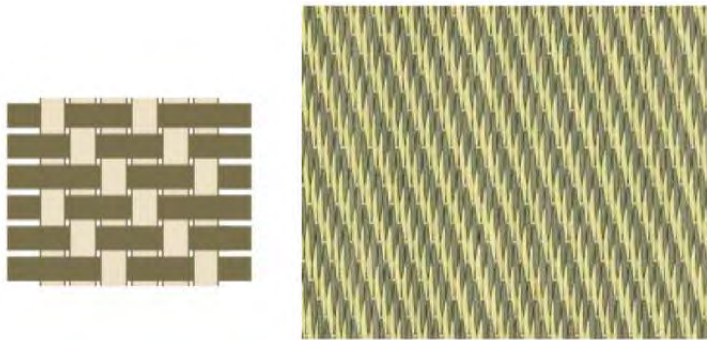


図 3-13 綾織

(3) ダストの払落とし方法

バグフィルターに堆積したダストの払落とし方法は、図 3-14 に示すように間欠式と連続式の 2 つの方法がある。間欠式は、複数に仕切られたコンパートメント毎に払落としを行う方式である。払落とし時にダストが再飛散するが、ダンパーを閉じているので高い集じん率が得られる。連続式は、一つのコンパートメントの中のろ布を順次、払落としを行う方式である。ダスト濃度が高い場合に適した方式である。

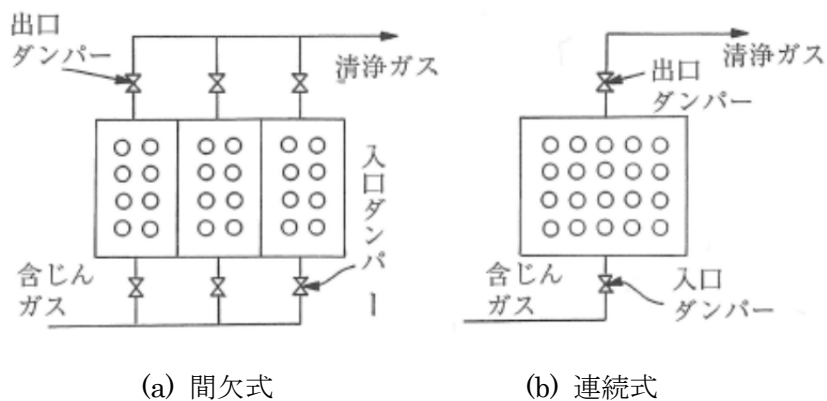


図 3-14 バグフィルターの払い落とし方式

(4) 払い落とし装置

振動形、逆洗形及びパルスジェット形の 3 種類の払い落とし装置の例を図 3-15、図 3-16 及び図 3-17 に示す。

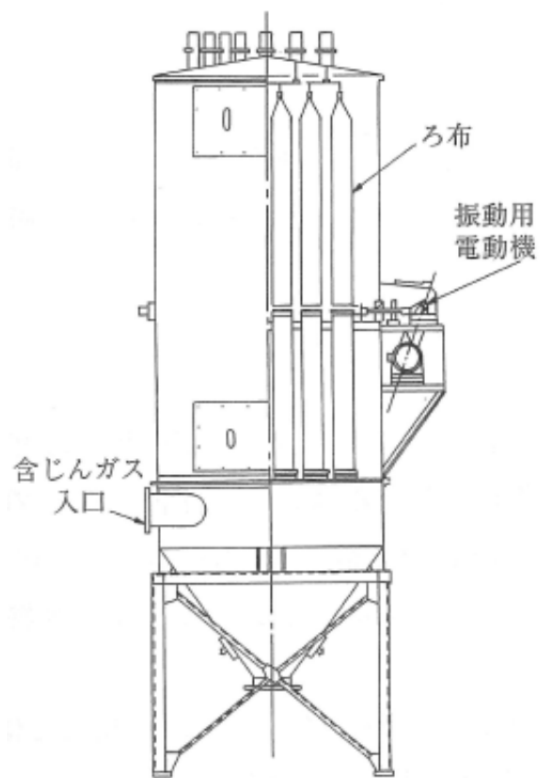


図 3-15 機械振動形

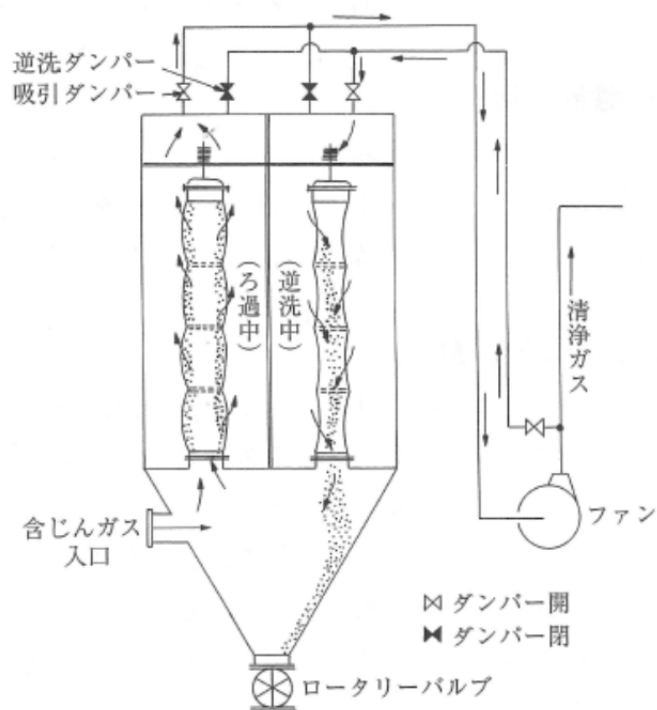


図 3-16 逆洗形

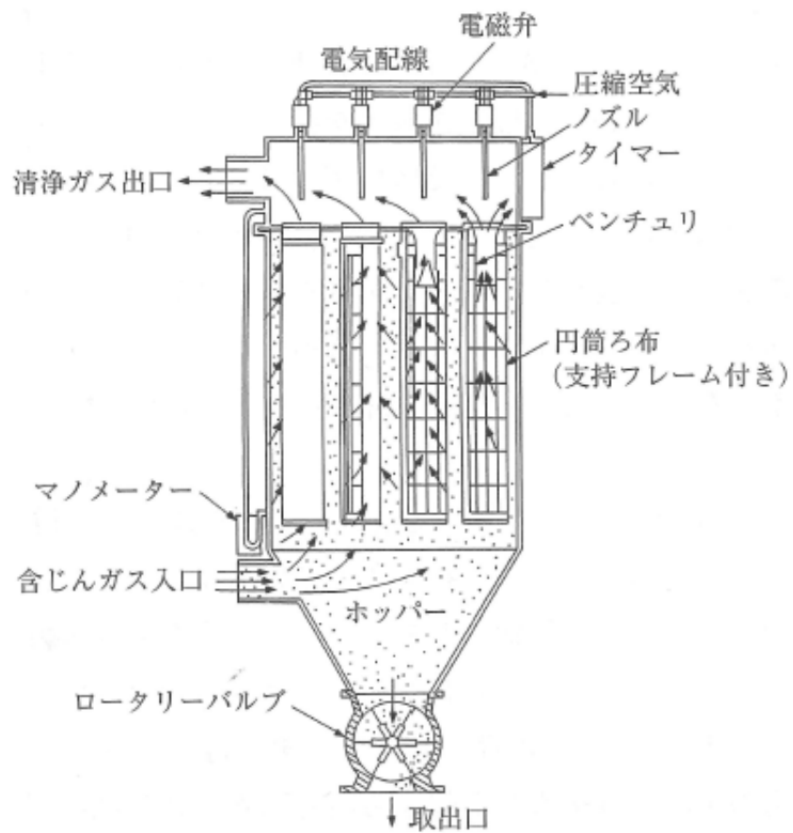


図 3-17 パルスジェット形

(5) バグフィルターの分類と特徴

表 3-2 に振動形、逆洗形及びパルスジェット形の特徴を示す。

表 3-2 バグフィルターの分類と特徴

払い落とし方式	ろ布			ろ過面	ろ過速度 (m/min)	適用ガス 温度(℃)	特徴及び主な用途
	種類	形状	材料				
機械振動	織布	円筒	テトロンなどの合成繊維	内面	0.6 ~ 1.6	~ 200 (耐熱ナイロン)	小風量から大風量まで、一般環境集じんから高温排ガスまで幅広く使用されている。 払い落としが確実。フューム(電気炉排ガスなど)に適している。
		封筒		外面	1 ~ 2	~ 100	数十 m ³ /min の小形簡易集じん装置
パルスジェット	不織布	円筒 (封筒もあり)	テトロンなどの合成繊維	外面	1 ~ 4	~ 200 (耐熱ナイロン)	気流を中断することなく、払い落としが可能。 小風量の連続運転に適している。 風量変動が少ない。 外面ろ過なので、空気輸送の固気分離などの高濃度・摩耗性ダストに適している。 ろ過速度が大きとれるので、コンパクトで据え付けスペースが小さい。
	織布	円筒	ガラス繊維		0.5 ~ 1.5	~ 250	石炭燃焼ボイラーなど高温ガスに適用されている。
	不織布	カートリッジ	合成繊維又は紙		0.3 ~ 1	~ 140 (テトロン)	装置体積当たりのろ過面積が大きとれるので、コンパクトにできる。 低濃度でも高集じん率が要求される用途(空気清浄など)に適している。
	焼結体	円筒	合成繊維又はセラミックス		0.5 ~ 1.5	~ 450 ~ 1,200	高温集じん
逆圧又は逆洗	織布又は不織布	円筒	テトロンなどの合成繊維	内面	0.6 ~ 1.2	~ 200 (耐熱ナイロン)	古くからセメント、鉄鋼などで広く使用されている。
			ガラス繊維		0.3 ~ 1	~ 250	カーボンブラック、非鉄製錬など高温フュームに適している。
	不織布	封筒	テトロンなどの合成繊維	外面	1 ~ 2	~ 140 (テトロン)	コンパクトに取り付けができ、据え付けスペースが小さい。 鋳物砂処理の集じんなど払い落としやすいダストで、大風量に適している。

3.2.4 遠心力集じん装置

(1) 原理

図 18 に遠心力を利用した粒子の分離方法の原理を示す。

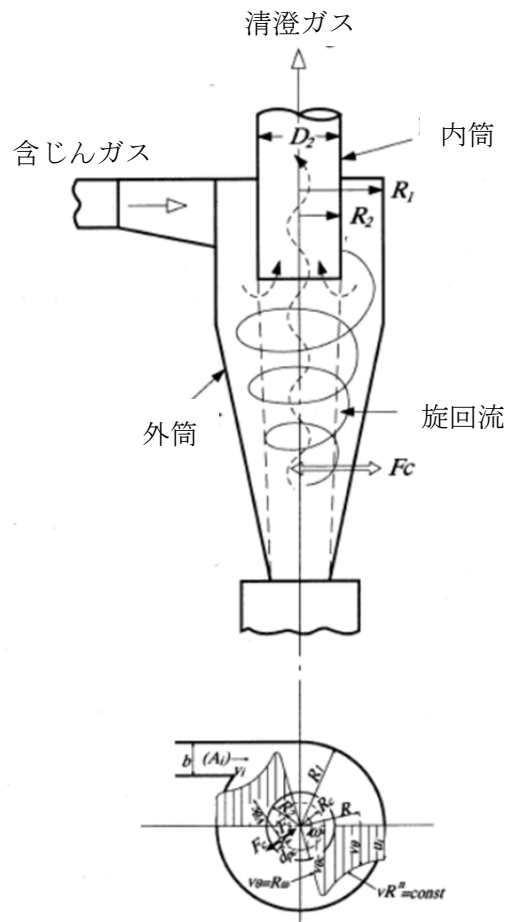


図 3-18 遠心力を利用した粒子の分離

含じんガスを旋回流にすると、粒子に働く遠心力 F_c とガスの抵抗力は次式のようにあらわされる。

$$F_c = \frac{\pi}{6} \cdot d_p^3 \cdot \rho_p \cdot \frac{v_{\theta c}^2}{R_c}$$

$$F_s = 3\pi\mu v_{rc} d_p$$

ここで、 F_c : 粒子に働く遠心力 (kg m/s²)
 F_s : ガスの抵抗 (kg m/s²)
 d_p : 粒子の直径 (m)
 ρ_p : 粒子密度 (kg/m³)
 $v_{\theta c}$: 粒子の周回方向速度 (m/s)
 v_{rc} : 粒子の平均半径方向速度 (m/s)
 R_c : 渦心の半径 (m)
 μ : ガス粘度 (kg/ms)
 W_c : 粒子の分離速度 (m/s)

上記の式より、粒子の分離速度 W_c は、次のように表される。

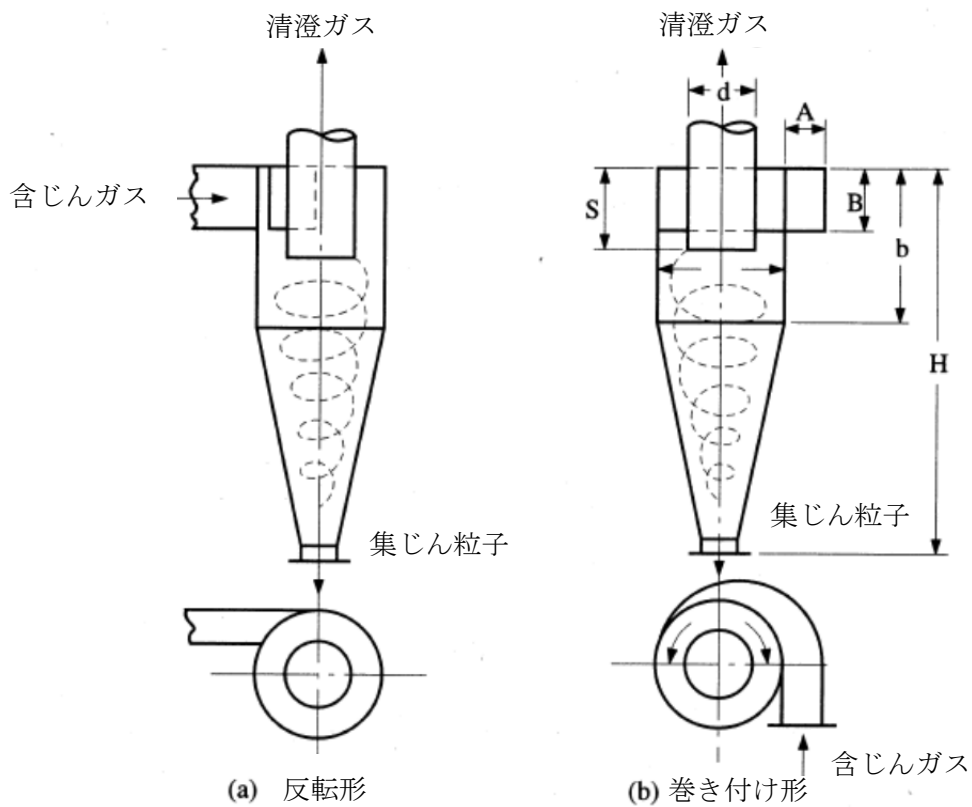
$$W_c = \frac{d_p^2 \rho_p v_\theta^2}{18 \mu R}$$

すなわち、粒子の分離速度は、サイクロンの直径が小さいほど、ガス流速が早いほどよく分離される。

(2) 遠心力集じん装置の種類と構造

遠心力集じん装置は、サイクロン式や回転式など様々な種類があるが、汚染防止のために最も多く使用されているのはサイクロン式である。

図 3-19 に、サイクロン式の遠心力集じん装置の例を示す。これらは、接線流入式と軸流式に分けられ、含じんガスの濃度に応じたいろいろな形式に分類されている。



(a), (b) 接線流入式サイクロン

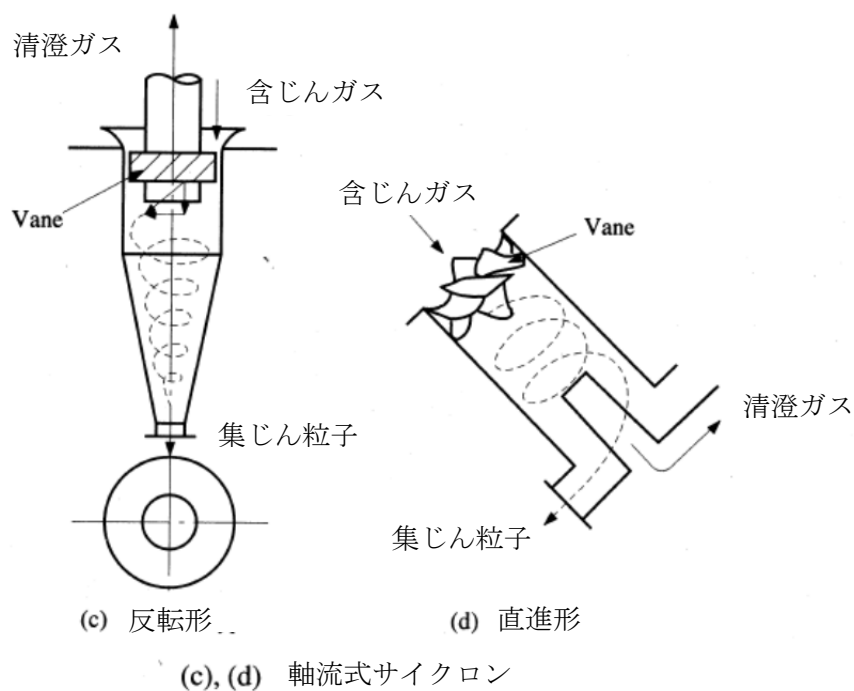


図 3-19 サイクロン式の遠心力集じん装置

サイクロン式の場合、入口ガス流速は一般的に圧力損失と集じん効率の経済性を考慮して $7 \sim 15 \text{ m/s}$ である。それゆえ、処理ガス量が大きくなるほど排出ガス配管の直径が大きくなり、微粒子の分離が悪くなる。このため、処理ガス量が多く、高効率でダスト除去が必要な場合は、小さな直径のサイクロンを平行して多数使うマルチサイクロン式が使われている。

図 3-20 に分離限界粒子径とサイクロンの内筒（清澄ガス排出部）の直径との関係を示す。

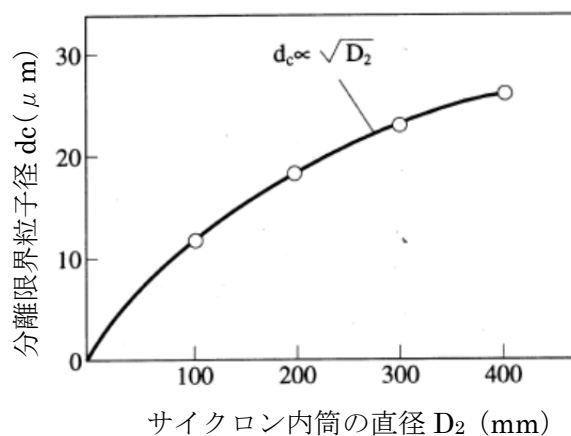


図 3-20 分離限界粒子径とサイクロンの内筒

(3) サイクロンの特徴

サイクロン形の遠心力集じん装置の特徴は、単純な構造、設備費が安い、圧力損失が 100 mmAq 以下で保守管理が容易、数ミクロンレベル小さな粒子を分離できるという点にある。

(a) 接線流入式

入口ガス流速は一般的に 7~15 m/s で使用される。サイクロンで分離できる最小粒子径は、ダストの特性や重力、ガス粘度などによって変わる。すなわち、原理的にはサイクロンの内筒（清澄ガス排出部）の直径によって決まる。接線流入式は相対的に処理ガス量が少なく、処理ガス中のダスト濃度の変動が少ない場合に採用されている。

(b) 軸流式

この方式は、ガイドベーン（案内翼）形とも呼ばれている。入口ガス流速は約 10m/s で使用され、多量の含じんガスをマルチサイクロンで処理する際の前処理用に使われている。というのも、接線流入式と比べて、同じ圧力損失で約 3 倍の処理能力があり、処理ガス中のダストの濃度変動が少ないからである。また、反転形は圧力損失が 80~100 mmAq で接線流入式と同程度の集じん効率が必要な場合に使われている。

3.2.5 洗浄集じん装置

(1) 原理

洗浄集じんにおける粒子の捕集機構には、次の事項を含む。

- (a) 粒子と液滴等の衝突等と液滴等への付着
- (b) 粒子の拡散は液滴との衝突の機会を増やす。
- (c) ガス中の湿度の増加は液滴との衝突を改善する。
- (d) 蒸気は、粒子を核として凝縮する。
- (e) 粒子は液膜や泡と衝突し、それらに付着する。

結果として、洗浄集じんでは、どれだけたくさんの液滴や液膜を作ってガスと液との接触を改善できるかということと、どれだけ効率の良いガス-液分離を用いるかということで、より効率の高い集じんを行うことができる。

洗浄集じん装置で捕集できる粒子の直径は、洗浄集じん装置の種類、粒子の親水性、あるいは洗浄水の使用量によって変わるが、一般的には 0.1 μm 程度までである。

(2) 形式と構造

洗浄集じん装置は大きく分類すると、ため水式洗浄集じん装置、加圧水式洗浄集じん装置、回転式洗浄集じん装置に分類される。

図 3-21 にため水式洗浄集じん装置の例を示す。ため水式の場合、集じん装置の中に一定量の水を貯めている。液滴あるいは液膜は処理するガスによって形成され、含じんガスの洗浄が行われる。

図 3-22 に加圧水式洗浄集じん装置の例を示す。加圧水式は水を加圧しスプレーして含じんガスを洗浄する方式で、ベンチュリスクラバー、ジェットスクラバー、サイクロンスクラバー、各種充填塔、スプレー塔、泡鐘塔など、いろいろな方式がある。

図 3-23 に回転式洗浄集じん装置の例を示す。回転式は、ファンの回転により洗浄水と含じんガスをかき混ぜて、大量の水滴と水膜をつくり、含じんガスを洗浄してダストを集める。この形式には、タイゼンワッシャー式、インパルススクラバー、ジェットコレクターがある。

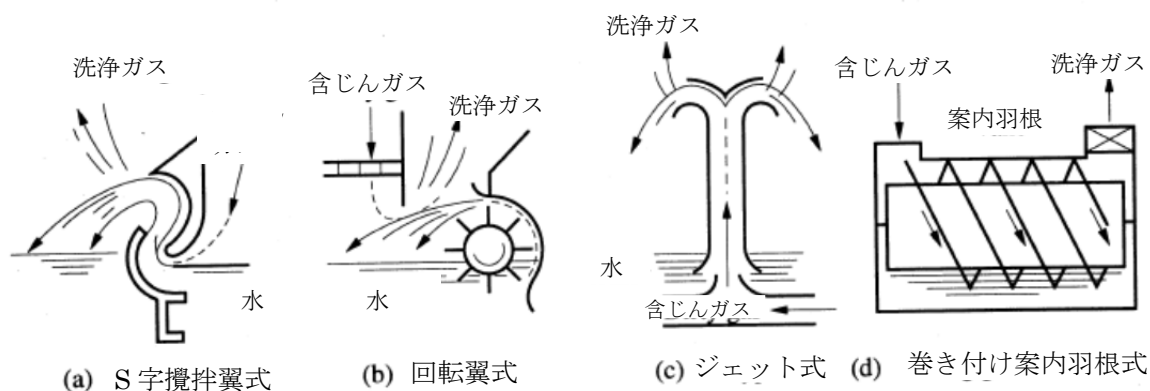


図 3-21 ため水式洗浄集じん装置

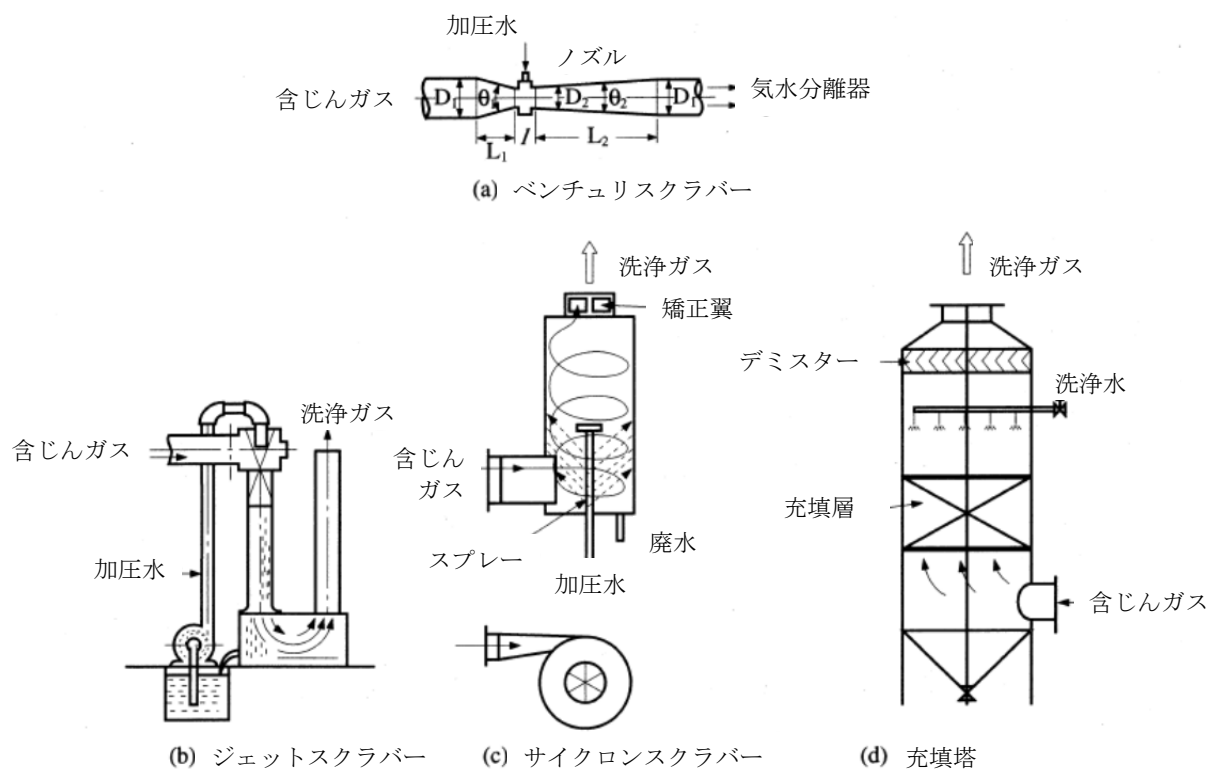


図 3-22 加圧水式洗浄集じん装置

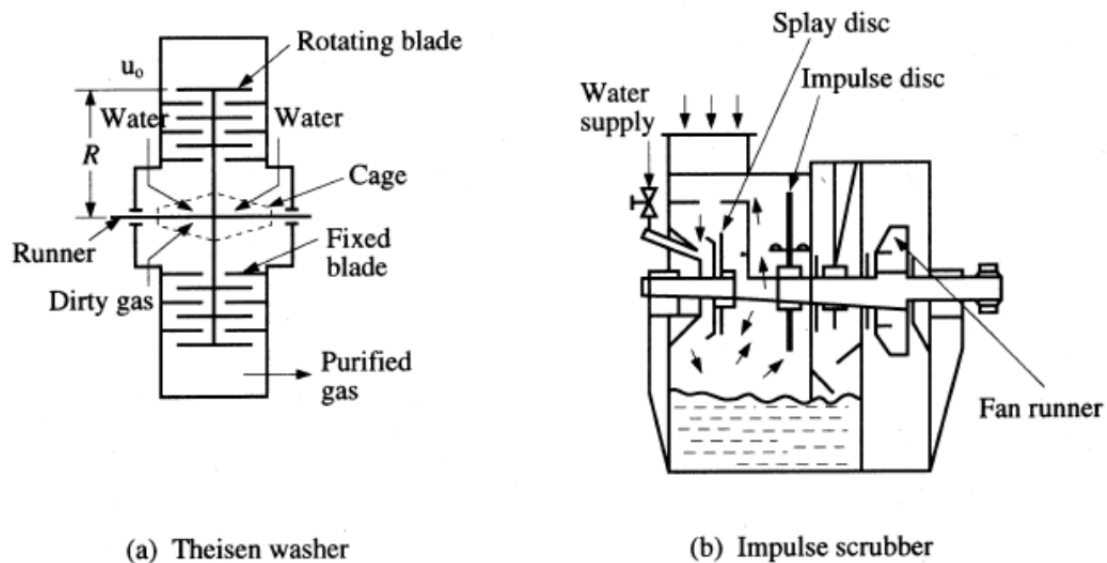


図 3-23 回転式洗浄集じん装置

(3) 特徴

(a) ため水式洗浄集じん装置

ため水式洗浄集じん装置の場合、集じん部分に溜まった水が循環利用されるので、補充する水の量が加圧水式や回転式と比べて極端に少なくて済む。ため水式の集じん性能は、洗浄水が微細化された部分で大きなガス流速をとることができるので高い集じん率が得られる。それゆえこの形式は粒子径が $1\mu\text{m}$ 以上の集じんに使われている。圧力損失は形式により、 $120\sim 200\text{ mmAq}$ の範囲で変わる。

(b) 加圧水式洗浄集じん装置

・ベンチュリスクラバー

これは、のど部分のガス流速が $60\sim 80\text{ m/s}$ で圧力損失が約 $300\sim 800\text{ mmAq}$ であるが、高い集じん効率を得られる洗浄集じん装置である。水の使用量は、粗い粒子又は親水性のダストの場合は 0.3 L/m^3 で、数 μm 以下の親水性のダストの場合は 1.5 L/m^3 である。約 $1\mu\text{m}$ 程度の粒子も捕集することができる。この形式の集じん装置は水溶性のダストやミストの集じんに効果的である。

・サイクロンスクラバー

S 字形の羽根車をもつサイクロンスクラバーの場合、集じん効率は高くなるが、圧力損失も大きくなる。圧力損失は約 $100\sim 200\text{ mmAq}$ で、水の使用量は $0.5\sim 1.5\text{ L/m}^3$ である。

・ジェットスクラバー

ガスブースターの役割を持ち、ベンチュリスクラバーと同程度の集じん性能をもつ集じん装置である。水の使用量がとても多いので、一般的には処理ガス量の大きな集

じんには使用されない。

- ・ 充填塔

セラミック製やプラスチック製の充填材が使用されている。充填塔の性能や圧力損失は、充填材の種類、充填層の厚さ、ガス流速により変わる。水の使用量は、圧力損失が 100～200 mmAq 程度の場合で約 2 L/m³ である。また、充填塔は有害なガスの吸収と吸着による除去装置として広く使われてきた。しかし、この形式は、充填層にダストが詰まるので、ダスト除去には適さない。

- (c) 回転式洗浄集じん装置

回転式の場合、回転翼の円周方向の速度が速くなればなるほど、集じん効率は高くなる。タイゼンワッシャーでは 1 μm 程度の粒子を捕集することができる。水の圧力損失が 50～150 mmAq に上がるにつれて、使用量も 0.7～1.5 L/m³ で変わる。インパルススクラバーの性能は、タイゼンワッシャーよりも幾分低く、水の使用量は 0.3 L/m³ 程度である。

3.2.6 集じん装置の保守管理

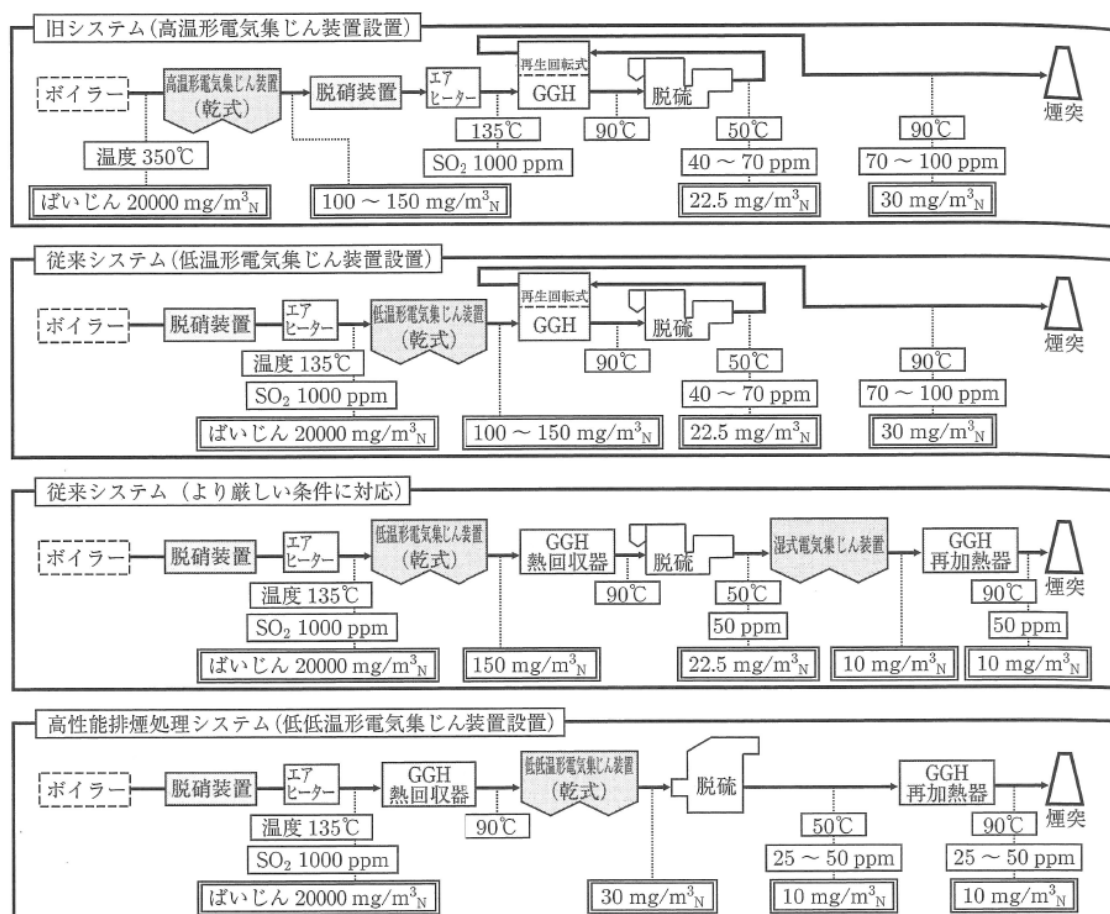
3.2.6.1 電気集じん装置

(1) システムの概要（石炭火力発電所）

大規模な発電設備では処理風量が大きいため、大容量の排ガスを処理できる設備が必要である。集じん装置には、圧力損失が小さく動力費が小さい電気集じん装置が一番よく採用されている。電気集じん装置の設置位置により排煙処理システムが分類されている。ここで、脱硝装置はアンモニア注入による選択的触媒還元法（SCR 法）が、脱硫装置は吸収剤として安価な炭酸カルシウム（石灰石）を使用する湿式石灰石こう法が一般的である。日本では煙突からの白煙防止対策として GGH（ガスーガスヒーター：排ガスから熱を回収し、脱硫後の排ガスを再加熱するための熱交換機）を設置している。ばいじんの処理は、単に電気集じん装置だけで処理するのではなく、脱硫装置の除じん機能と組み合わせたシステムとして処理している。

(2) 4 種類の排ガス処理プロセス

排ガス処理システムは図 3-24 に示すように 4 段階で改良を進めてきた。



【注】

B : ボイラー、 EP : 電気集じん装置、FGD : 排煙脱硫装置、SCR : 排煙脱硝装置、 AH : エアヒーター、GGH : ガスーガスヒーター、 S : 煙突

図 3-24 排煙処理システムフローの例

(3) 高温型電気集じん装置システム

脱硝装置のばいじんからの保護の観点から、脱硝装置の前に乾式電気集じん装置を設置する。脱硝装置の運転温度は 350～400℃である。しかし、高濃度ばいじん条件下でも脱硝設備の運転ができることが確認されたこと、また、実処理ガス量が低温形電気集じん装置システムの 1.5 倍にもなること、煙道の引き回しが複雑で動力費や熱損失が大きいことなどから、現在はこの方式は使われていない。

(4) 従来システム

脱硝装置を乾式電気集じん装置の前に設置し、エアヒーターで熱回収して排ガス温度を 135℃まで低下させることで、電気集じん装置で処理する排ガス流量が下がり、設備の小型化がなされている。

しかしながら、図 3-25 に示すように、135℃はフライアッシュの電気抵抗が最大のゾ

ーンでの運転となるため、石炭の銘柄によってはフライアッシュ層の電気抵抗が絶縁破壊の限界値をオーバーして、逆電離により集じん性能が大幅に悪化する現象が起きる。このため、煙突出口のばいじん濃度規制が厳しい場合（ $10 \text{ mg/m}^3\text{N}$ ）には、湿式電気集じん装置を排煙脱硫装置出口に設置する。

このシステムでは、乾式電気集じん装置の出口のばいじん濃度を $150 \text{ mg/m}^3\text{N}$ に抑えているが、その理由は、ばいじんの捕集性能が悪い石炭銘柄に対しても装置が過大にならないよう経済性を考慮するとともに、GGH の熱回収器の保護、すなわち、排ガス中の硫酸ガスをフライアッシュで吸着し、装置の腐食を防止するためである。

(5) 高性能排煙処理システム（低低温形電気集じん装置方式）

従来、脱硫装置と一体となっていた GGH の熱回収部を電気集じん装置の前に設置し、電気集じん装置の運転温度を 135°C から 90°C に下げること、図 3-25 に示すように石炭の銘柄変更によるフライアッシュの電気抵抗を常に逆電離臨界抵抗以下に保つことができるようになった。結果として、ばいじん捕集性能が向上し、多量のばいじん存在下の運転では、ばいじんによる硫酸ミストの中和、吸着により装置の低温腐食防止にも役立っている。

また、このシステムは、システム全体をコンパクト化し、集じん性能を高めている。すなわち、乾式電気集じん装置の出口ばいじん濃度は $30 \text{ mg/m}^3\text{N}$ であるが、湿式電気集じん装置がなくても、脱硫装置出口のばいじん濃度 $10 \text{ mg/m}^3\text{N}$ 以下を達成している。

ただし、石炭の銘柄によっては、電気抵抗が小さくなりすぎてフライアッシュの電氣的付着力が弱くなりすぎ、集じん電極のつち打ちによる再飛散ばいじん量が過大となり、処理性能を低下させることがある。このため、この方式の電気集じん装置では、図 3-26 に示すダンパー方式電気集じん装置が採用されている。

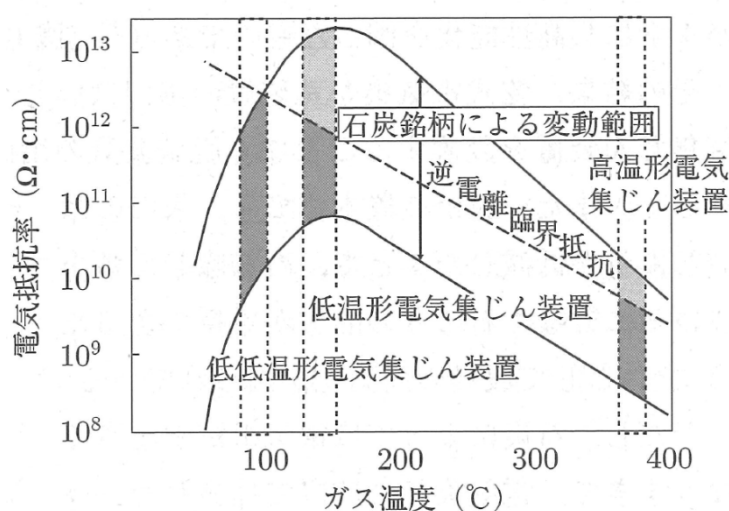


図 3-25 排ガス温度と電気抵抗

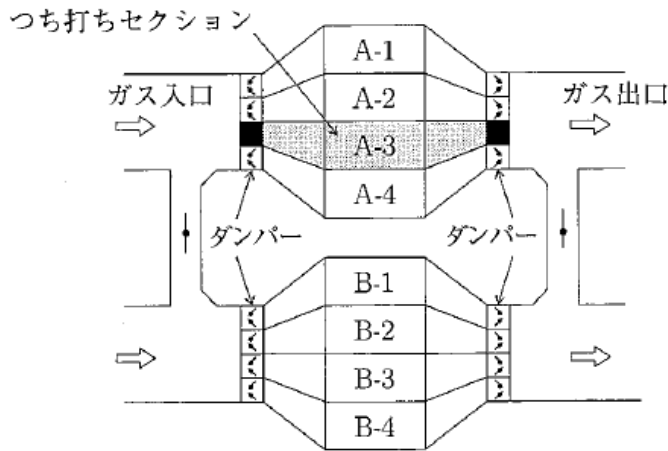


図 3-26 ダンパー方式電気集じん装置の例

3.2.6.2 バグフィルター

バグフィルターの運転時の故障やトラブルの原因と対策を次に示す。

(1) 圧力損失に異常がある場合

(a) マノメーターの指示が異常に増大した場合

- * 風量が過大：ファンのダンパーを絞り、規定の風量まで下げる。
- * ろ布の目詰まり：新品のろ布に取り替える。

払い落とし機器、装置の点検

- * マノメーター導管の亀裂による空気漏れ：修復
- * ろ布が湿ってダストが固着：ホットガスによるパージ
- * ホッパー内捕集ダストの再飛散：ダスト排出、排出装置の点検

(b) マノメーターの指示が異常に減少した場合

- * 払落とし過剰：パルス圧力を下げる。払落とし頻度を少なくする。
- * ろ布の破れなどによるダストの漏れ：ろ布の破れ、ろ布の取り付けなどの点検
- * マノメーターの導管の詰まり：導管の清掃
- * 風量の減少：ファンの点検、ダクトやブレダスターの圧力損失チェック

(2) ダスト漏れの場合

(a) 排気からダストが漏れる。

- * ろ布脱落又は取り付け不良：ろ布を正しくセットする。
- * ろ布の劣化：新品に取り替える。
- * 処理風量の過大：仕様値まで風量を絞る。
- * ろ布取り付け板の損傷：仕切り板、ダンパー等の補修

(b) ダストが払落としごとに漏れる。

- * 払い落とし力の過剰：パルスジェット形では圧縮空気を、また、機械振動形では振動

力を低減する。

(c) 特定ろ布のみ破損

- * ダストの偏流：含じん気流の入口部に分散整流板の取り付け
- * リテーナーの突起変形によるろ布破損：リテーナーの修理又は取り替え
- * 一時的な火の粉の侵入：プレダスターの設置
- * 腐食ガスの侵入：耐食ろ布に取り替える。

(3) 払い落とし動作不良の場合

(a) 払い落とし信号が全くないか、又は不規則である。

- * スイッチの入れ忘れ：正しくスイッチを入れる。
- * 制御盤内のヒューズの破損、ノンヒューズブレーカーの作動：ビューズの交換、ノンヒューズブレーカーのリセット
- * 接続端子の緩み：増し締め

(b) 払い落とし信号があるが、機器の作動なし。

- * 圧縮空気が供給されていない：供給バルブを開ける。空気源の点検。
- * 配線トラブル：配線のチェックと修復

(c) 特定の機器しか作動しないか、又は作動不完全である。

- * 対応するソレノイド等の機器の作動不良：機器の取り替え又は修復
- * 対応する機器の配線トラブル：配線のチェックと修復
- * エアーシリンダーの作動不良：O リングの摩耗等のリーク（取り替え、修復）
- * ダイアフラムバルブの作動不良：取り替え又は弁座などの修復

(d) 圧縮空気が漏れているか、又は圧力が上がらない。

- * バルブの破損：バルブの取り替え又はパッキンの取り替え。
- * ゴムホースの破損：新品と取り替え
- * ゴムホース配管部の破損などの空気漏れ：ゴムホースの締め付けバンドなどの締め付け。
- * ダイアフラムバルブの破損、弁座への異物食い込み：新品に取り替え又は分解掃除して修復。
- * コンプレッサーなどの空気源の異常：点検し修復する。

(4) その他

(a) ろ布及びダストが湿っている。

- * 吸引ダクト、バグフィルター本体、点検ふた・扉から、また接続部からの雨水の侵入：漏れ部の完全シール補修。
- * 多湿ガスによる結露：保温・加温による結露防止設計

(b) ダストの排出口から空気を吸い込む。

- * 吸引側ダクトの圧力損失過大：原因を排除し、吸引圧を下げる。
- * 排出装置の摩耗、異物の挟み込み、ダストの付着成長：分解、掃除、修復又は対策

装置との取り替え。

(c) フードの吸引が悪い。

- * ファンの回転数低下：ベルトの緩み（ベルト張り）、ろ布の目詰まり、総合的に点検して処理する。
- * バグフィルター本体、ダクトなどの破損リーク：リーク部の補修
- * ダスト排出ダンパーからの漏れ：漏れ部の修復
- * 払い落とし機構の作動不良：(3)を参照し修復
- * ファン：回転数・方向、ケーシング内のドレンの点検
- * ダクト内のダストの堆積：ダクト内清掃

3.2.6.3 遠心力集じん装置

遠心力によりダストを分離・捕集するサイクロンは、捕集性能が劣るものの、稼働部がなく、簡便で安価なため、最終段の集じん装置ではなく、プレダスターとして粗粒子を分離・捕集する用途に多用される。このため、ダスト濃度が高く、粒子径が大きいダストを扱うことが多く、保守管理に当たっては特に装置缶体の摩耗による穴あき、また、腐食ガスを含む場合は腐食に留意した保守管理が必要である。

サイクロンの保守管理のポイントを次に示す。

(1) 外筒内壁の摩耗・腐食

遠心力によりダストは外筒内壁に衝突することで捕集される。このため、内壁面のダストの衝突箇所が摩耗し、ついには穴があき、そこから空気が漏れ込み、集じん効果が著しく低下する。穴あきによる性能低下は排ガスの色が変わることなどで目視できるので、発見次第、早期に修復する必要がある。なお、図 3-19 (c)(d)に示す軸流サイクロンでは、旋回流を起こさせる案内羽根（ベーン）部が最も摩耗する。また、腐食性ガスにより腐食し、穴あきが生じることもあり、缶体の腐食の有無、板厚チェック、及び材質の選定に留意する必要がある。

(2) ブローアップ

送風機の吸引側に設置したサイクロンのダストホッパー又はその排出機器からリークが生じると、リーク流が捕集ダストを排気側へ持ち去り、そのリーク量割合によっては集じん率が著しく低下する。

(3) ガス及びダストの分配

同じ遠心力では、サイクロン円筒径が小さいほどダストは内壁に到達しやすく、集じん性能は向上する。このため、処理ガス量を多数のサイクロンに分配して処理するマルチサイクロンが使用される。また、設置スペースを少なくコンパクトにするため、軸流サイクロンをユニットとしたマルチサイクロンが実用化されている。

3.2.6.4 洗浄集じん装置

集じん部に液滴・液膜などを捕集媒体としているため、運転に当たっては、まず、ポンプ等により、所定の水滴・水膜の形成及び液ガス比となる注水状態を確認した後に含じんガスを通す。また、高温含じんガスの集じんではガス冷却装置を備えている場合は、ガス冷却装置を最初に運転し、洗浄集じん装置に所定のガス温度で導入する。停止に当たっては、装置内の付着ダスト、酸性洗浄水などを清掃・除去するため、含じんガス導入終了後も、十数分間ほど空気だけで運転した後にファン、ポンプを停止する。

(1) 水滴の生成、水膜の形成

ベンチュリスクラバーでは、スロート部のガス流速 v (m/s) と注水量すなわち液ガス比 L (L/m³) により、水滴径の平均値は実験式で得られる。また、貯水形の場合は最適な水膜形成の貯水レベルに調整する。

(2) 運転停止後の装置内の点検保守（摩耗、付着ダスト）

特に、ノズル、スロート部など高速で含じんガスが通過する部分は摩耗が生じ、そのまま放置すると捕集性能を低下させる。また、酸性ガスを含む場合は接水部の腐食が生じやすい。また、運転停止後、特に、エリミネーター（水滴捕集部）内部及び装置内に付着ダストが堆積するので、清掃・除去しておく必要がある。洗浄集じん装置では、捕集スラッジ及び排水の処理にも二次汚染が生じないように適正に処理する。

(3) 粉じん爆発性ダスト（アルミニウム、マグネシウム粉など）

表面加工時に発生するアルミニウム、マグネシウム粉などは、乾式処理では危険性が高いため、洗浄集じん装置が使用される。これらの捕集ダストは水と反応し、水素を発生するので、装置内の水素の滞留をなくす構造としなければならない。また、捕集スラッジの保管を適正に（密封しない）する。

3.3 脱硫技術

日本では、湿式プロセスが一般的であり、アルカリスラリー及びアルカリ溶液を吸収剤とする方式が、設置基数で70%以上、処理能力ベースで80%以上を占めている。

その中で、石灰スラリー吸収法（石灰石-石こう法）は電気事業用の大型ボイラーにおける主力プロセスとなっており、一般的に一般産業用の中・小型ボイラーには、水酸化マグネシウムスラリー吸収法が用いられることが多い。

最近では、活性炭吸着法等の乾式同時脱硫・脱硝法が実用化されている。

3.3.1 排煙脱硫プロセスの種類と原理

表 3-3 に各種脱硫プロセスを示す。

表 3-3 脱硫プロセス一覧

	脱硫プロセス	吸収剤又は吸着剤	副生物（処理）
湿式	石灰スラリー吸収法	石灰石（炭酸カルシウム）、消石灰（水酸化カルシウム）、ドロマイト	石こう（硫酸カルシウム）（回収） 亜硫酸カルシウム主体のスラッジ（廃棄）
	水酸化マグネシウムスラリー吸収法	水酸化マグネシウム	二酸化硫黄、石こう（回収） 硫酸マグネシウム（廃棄）
	アルカリ溶液吸収法	水酸化ナトリウム、亜硫酸ナトリウム、アンモニア水など	亜硫酸ナトリウム、硫黄/硫酸、硫安（硫酸アンモニウム）（回収）
	ダブルアルカリ法	炭酸ナトリウム、アンモニア、硫酸アルミニウム	石こう（回収）
	酸化吸収法	触媒添加希硫酸	石こう（回収）
半乾式	スプレードライヤー法	水酸化カルシウム、炭酸水素ナトリウム、炭酸ナトリウム、熱水養生剤（石炭灰利用）	亜硫酸カルシウム、石こう（廃棄又は埋め立て）
	炉内脱硫＋水スプレー法	石灰石	亜硫酸カルシウム、石こう（廃棄）
乾式	炉内・煙道石灰吹き込み法	水酸化カルシウム、蒸気養生剤（石炭灰利用）	亜硫酸カルシウム、石こう（廃棄又は埋め立て）
	活性炭吸着法	活性炭（活性コークス）	硫酸（硫黄、液体二酸化硫黄）（回収）

3.3.1.1 石灰スラリー吸収法

石灰石（炭酸カルシウム（ CaCO_3 ））、消石灰（水酸化カルシウム（ Ca(OH)_2 ））、ドロマイト、石灰とフライアッシュの混合物が吸収剤として使われる。これらのアルカリスラリーで二酸化硫黄（ SO_2 ）を吸収し、石こう（ CaSO_4 ）を副生する。本法では、5～15%の石灰又は消石灰を含むスラリーが広く用いられる。消石灰の溶解度は、石灰の溶解度より大きいいため、消石灰の方が反応速度が大きくなる。石灰石は一般に粒径 $44\mu\text{m}$ 以下のものが

用いられる。

石灰スラリー吸収法は、除じん方法により 2 種に分かれ、スート分離方式とスート混合方式がある。

(1)スート分離方式

吸収塔の前に冷却除じん塔を設置し、高温の排ガスを吸収に適した温度まで冷却するとともに、石こうの品質を高めるためばいじんを除去する。図 3-27 にスート分離方式のフローを示す。

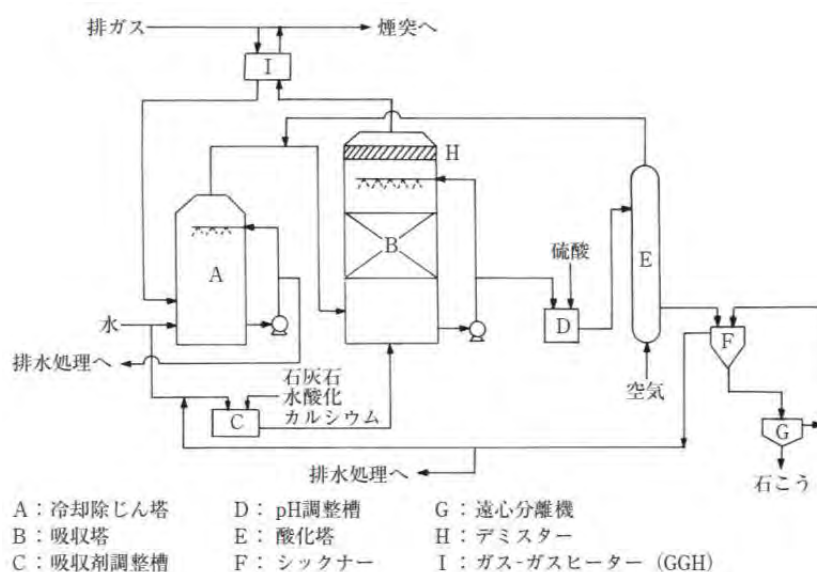


図 3-27 スート分離方式石灰スラリー吸収法（酸化塔別置き方式）

(2)スート混合方式

一つの塔内で、排ガス中の硫黄酸化物 (SO_2) の吸収とばいじんの除去が同時に行われる。本方式では、冷却塔及び除じん塔が必要ないため、建設費を下げるができる。

図 3-28 にスート混合方式のフローを示す。

石灰スラリー吸収法における酸化システムも、別置きの酸化塔を設置する方式（2 塔方式（図 3-27））と、吸収塔内で SO_2 の吸収と酸化を同時に行う方式（1 塔方式（図 3-28））の 2 種類がある。

1 塔方式では、酸化塔を設置する必要がないため、建設費及び稼働時の電力費ともに節約ができる。また、酸化反応により生成された硫酸は石灰石と急速に反応するため、硫酸の添加が不要となり、石灰石過剰率を低く抑えたままで高い脱硫効率を得ることができる。このため、最近では、冷却と除じん、 SO_2 の吸収、 CaSO_3 の酸化が一つの塔内で同時にできるスート混合方式の 1 塔方式が主流となっている。

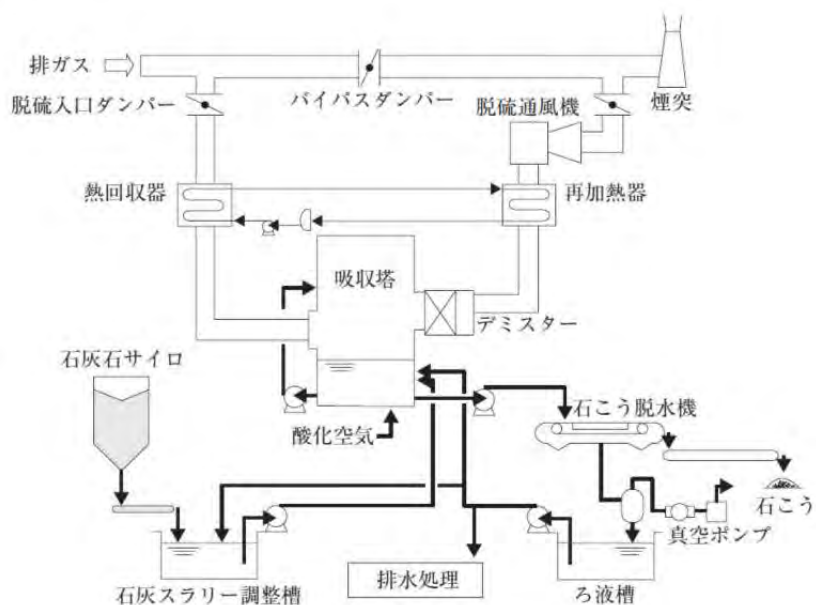
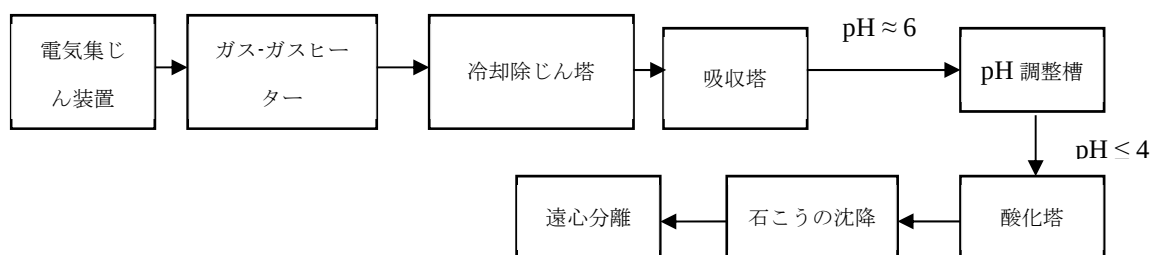


図 3-28 スート混合方式石灰スラリー吸収法（吸収塔酸化方式）

スート分離方式石灰スラリー吸収法のプロセスフローを以下に示す。



●電気集じん装置



●ガス-ガスヒーター



●冷却除じん塔（プレスクラバー）

-SO₂の吸収に適した温度 50～60℃まで、排ガスを冷却

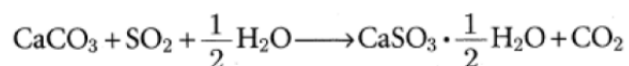
-ばいじん、硫酸ミストも同時に除去する



●吸収塔

-pH 6 程度で吸収が起こる

-SO₂ から亜硫酸カルシウム (CaSO₃・1/2H₂O)を生成



↓

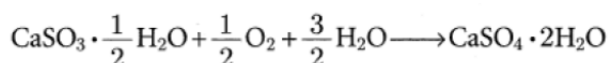
●pH 調整槽

-pH 調整 pH ≤ 4

↓

●酸化塔

-亜硫酸カルシウムが空気により酸化され、硫酸カルシウムとなる



*硫酸カルシウムは石こう (CaSO₄・2H₂O) と呼ばれる

↓

●石こうの沈降過程 (シックナー、液体サイクロン)

-石こうスラリーの濃縮する

↓

●遠心分離機

-石こう粉末として回収

3.3.1.2 水酸化マグネシウムスラリー吸収法

ストート分離方式水酸化マグネシウムスラリー吸収法のプロセスフローを以下に示す。

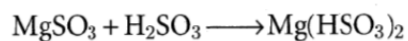
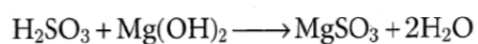
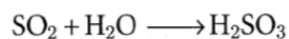
●排ガス

↓

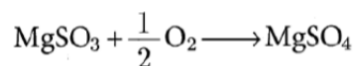
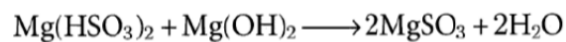
●吸収塔

-水酸化マグネシウム(Mg(OH)₂)スラリー 濃度 5～10%

-吸収反応



-曝気により吸収塔下部で一部が酸化

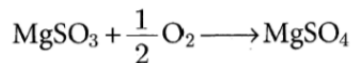


↓

●酸化塔

-未反応の亜硫酸水素マグネシウム(Mg(HSO₃)₂)や亜硫酸マグネシウム(MgSO₃)

を空気により酸化し、硫酸マグネシウム(MgSO₄)とする



亜硫酸水素マグネシウム(Mg(HSO₃)₂)や亜硫酸マグネシウム(MgSO₃)は、排水中の COD 増加の原因となるので、注意が必要である。

↓

●ろ過

-ろ過器を用いてばいじんを除去したのち、無害な硫酸マグネシウムとして、廃液を水域に排出する。

図 3-29 に水酸化マグネシウムスラリー吸収法のフロー図を示す。

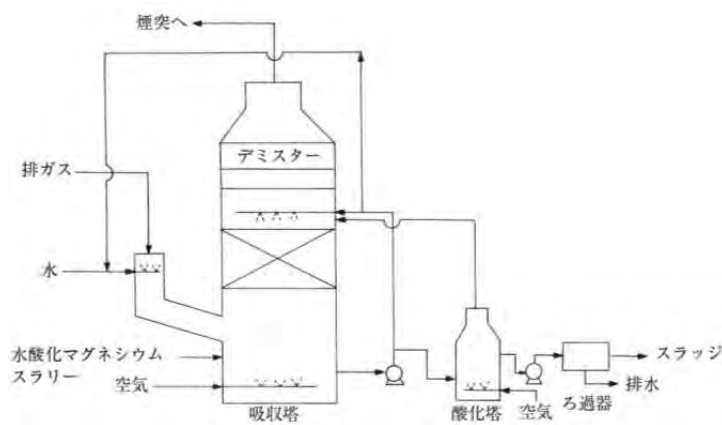


図 3-29 水酸化マグネシウムスラリー吸収法

水酸化マグネシウムスラリー吸収法の特徴を以下に示す。

- ・設備が簡易であり、建設費が安く抑えられるため、小規模の産業ボイラーの排ガス処理に適している。
- ・水酸化ナトリウムに比較して、水酸化マグネシウムの方が価格が安く、かつ、水酸化マグネシウムと SO₂ は等モル反応のため、ランニングコストを低減できる。
- ・廃液は弱アルカリ性だが、毒性、腐食性もほとんどなく、取扱いも容易で危険性がない。
- ・原料は、豊富に存在する海水と炭酸カルシウムであり、価格変動も少なく供給も安定しており、安心して使える。
- ・生成物 (MgSO₃, MgSO₄) の溶解度が水酸化マグネシウム (Mg(OH)₂) より大きく、パイプラインの閉塞等の心配がないので、維持管理が容易である。

3.3.2 排煙脱硫装置の機能と運転、維持管理

(1) 排ガスの冷却除じん工程

脱硫装置に導入される 90~150℃の排ガスを水洗浄するためのスート分離方式に設けられる工程である。一般に、スプレー塔やベンチュリスクラバーが用いられる。

排ガスの温度は、水の蒸発熱によって断熱飽和温度まで冷却され、50~60℃になる。蒸発熱を相殺する用水補給が必要である。したがって、入口排ガス温度が低いほど用水量は節減できる。

洗浄水は排ガスの冷却によって強い酸性となるため、装置の材質は耐食性と耐熱性が要求される。例えば、特殊なステンレス鋼や耐熱煉瓦などを内貼りしたもの、あるいはゴム類又は樹脂をライニングした鋼材が用いられる。

酸性の洗浄水には SO_2 はほとんど吸収されないが、微粒ばいじんや塩化物の濃度が規定値以下になるように、洗浄水の一部を廃水処理装置に供給する。

一般的に用いられるスプレー塔とベンチュリスクラバーを図 3-30 及び図 3-31 に示した。

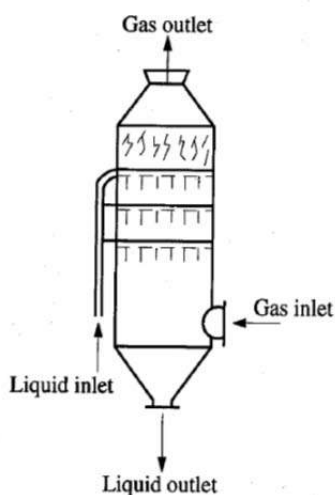


図 3-30 スプレー塔

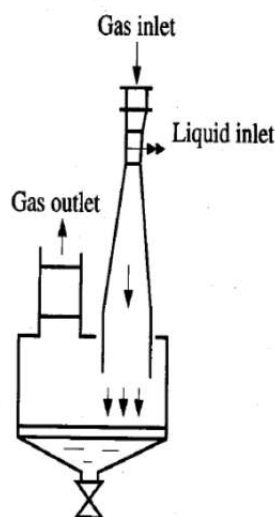


図 3-31 ベンチュリスクラバー

(2) SO_2 吸収工程

火力発電用の排煙脱硫装置では石灰スラリー吸収法が普及している。 SO_2 吸収塔には次の形式が用いられている。

(a) スプレー形

多数のスプレーノズルを数段に配置して吸収液を噴霧する。

(b) 充填形

薄板で成形されたグリッド充填層で吸収液をぬれ壁状に流す。

(c) 気泡分散形

多数のガススパージャーを吸収液に浸して排ガスを気泡分散する。

(d) 液柱形

多数の噴水ノズルを吸収塔下部に配置して吸収液を液柱状に噴き上げる。

いずれの形式もスケールの沈着や固形物による摩耗を抑え、できるだけ少ない圧力損失で、できるだけ大量の排ガスが処理できるよう工夫がなされている。

高度脱硫を行うために複数の SO_2 吸収塔を組み合わせ用いられることがある。

装置材料にはステンレス鋼や、ゴム類、プラスチック類をライニングしたものが用いられる。

排ガス処理中に発生する液滴を除去するために、 SO_2 吸収塔出口近くに偏向板式のデミスターが設置される。

(3) 酸化工程

SO_2 吸収塔で得られた亜硫酸塩を酸化する方法には次のものがあげられる。

(a) 別置き酸化塔方式

空気と硫酸を加えて、別置きの酸化塔で硫酸塩を回収する。

(b) 吸収塔酸化方式

SO_2 吸収塔内の吸収液に通気することにより、 SO_2 吸収と酸化を同時に行う。近年は、この方式が主流になっている。

酸化反応は、空気中の酸素ガスが液中に吸収される速度に影響される。

(a) 別置き酸化塔方式

約 400 kPa の圧力下で空気の気泡を塔底に送り、酸化反応を促進するとともに、硫酸を添加して残留石灰石を分解し、高純度の石こうを回収する。

(b) 吸収塔酸化方式

反応槽は吸収塔の下部に設置される。構造上の制約のため、大気圧の空気を幅広く分散させる必要がある。このため、固定式スパージャー、回転式スパージャー、攪拌式アトマイザーなど、各種のスパージャーが開発された。

(4) 副生物回収工程

亜硫酸塩を酸化して得られる硫酸塩は、吸収剤の種類によって異なる生成物を副生する。石灰スラリー吸収法の場合は、水に対して溶解度の低い石こうが結晶として析出する。結晶粒子の大きさは数 10 μm で、懸濁状態にある。液体サイクロンやシックナーで沈殿濃縮したのち、バスケット形遠心脱水機又はベルトフィルターで脱水する。

溶解度の大きい硫酸塩が副生する場合は、冷却又は蒸発タイプの晶出機で結晶化したのち、固形分を分離し、脱水機でろ過する。ろ過液は吸収塔へ循環されるが、一部は固形分の蓄積を防ぐために抜き出され、廃水処理工程に送られる。

(5) 吸収剤調整工程

SO_2 吸収剤が水溶液として扱える場合は、濃度を調整したのち、吸収塔に供給する。

石灰石のような溶解度の低い吸収剤の場合は、平均粒径 15 μm に粉碎した石灰石を貯

蔵する大容量のサイロと、サイロ下部から抜き出した石灰石粉と水を混ぜて所定濃度のスラリーに調整する石灰スラリー調整タンクを設置する。

石灰石の粒子が大きい場合には、 SO_2 との反応性が悪くなり、石こう中に残留する。このため、ボールミルなどの粉砕機を設置する。

最近では、サイロ底部から直接 SO_2 吸収塔に石灰粉を供給する構造上の工夫が施され、石灰スラリータンクが省略されることがある。

(6) 廃水処理工程

スート分離方式では、冷却除じん塔から抜き出された廃水は排水処理施設へ送られる。

スート混合方式では、副生物回収工程からの廃水の一部が排水処理施設へ送られる。

3.3.2.1 排煙脱硫装置に必要な機能

・スケーリング防止策

生成した亜硫酸カルシウム及び石こうは溶解度が低いため、吸収液中で結晶として析出する。スケーリングは吸収塔、デミスター、配管などに発生する。

亜硫酸カルシウムは酸性の液中では溶解度が大きい、アルカリ性の液中では溶解度が著しく小さくなり、スケーリングを起こしやすくなる。このため、別置き酸化塔方式の SO_2 吸収塔では、吸収液が中性ないしは弱酸性を保つように吸収剤（石灰スラリー）の供給量を調整し、スケーリングを防止する必要がある。

近年主流となっている吸収塔酸化方式では、完全に酸化することによる亜硫酸カルシウムの結晶化及び沈積を防ぐために、以下の対策が取られる。

(a) 吸収液にあらかじめ石こうの種結晶を加える。

この方法の目的は、石こう濃度を高め、酸化反応により生成する硫酸カルシウムを種結晶表面に析出させることにより、装置の表面での結晶化を防ぐものである。

(b) 吸収塔内部に設ける充填物、配管、梁などの構造物の表面で結晶が進み、沈着するため、液のよどみの可能性が少ない単純構造とし、表面が滑らかな材料を用いる。

(c) 吸収塔下部に滞留時間の大きな反応槽を設置し、吸収液の石こう過飽和度を常に低い状態に保つ。

(d) 液分散ノズルの適正な配置により、吸収塔内の乾き箇所や吸収液のよどみを防ぎ、適切な液・ガス比を維持する。

(e) デミスターは液滴を分離するために屈曲構造となっているため、そこに液のよどみや結晶が生じやすい。デミスターの運転中の定期的な洗浄が必要である。

3.3.2.2 処理ガスの昇温

湿式法の吸収装置出口排ガスは水分飽和状態になっているため、そのまま大気中に排出すると白煙を生じる。したがって、白煙を消し、かつ、排ガスの大気中での拡散をよくするために、出口排ガスの温度を上げる必要がある。

出口排ガスの温度を上げるために、入口排ガスの熱を熱交換器を用いて利用する。次のような熱交換器が通常用いられる。

- ・回転再生形熱交換器（ユングストローム形）（図 3-32）

蓄熱板間のガスが相互にリークするため脱硫・除じん効率が低下する。

- ・熱媒体循環形多管式熱交換器（図 3-33）

熱回収器と再加熱器が独立して設けられている。この熱交換器は高度の脱硫・除じん性能が求められる場合に適している。

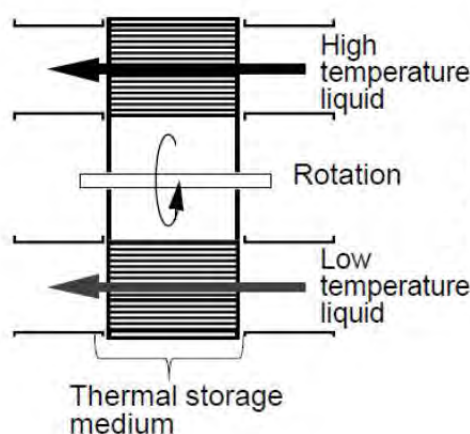


図 3-32 回転再生形熱交換器

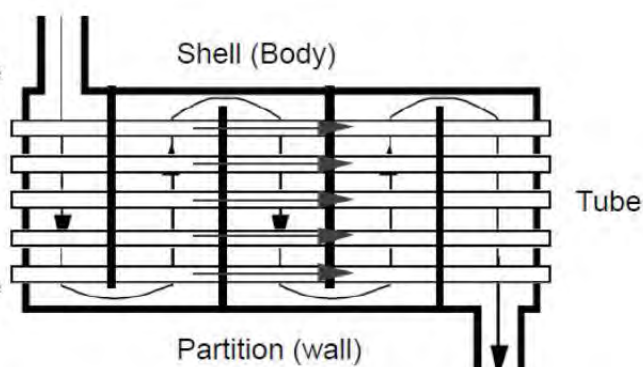


図 3-33 熱媒体循環形多管式熱交換器

3.3.2.3 維持管理

(a) 圧力損失

湿式排煙脱硫装置の場合、熱回収器、吸収塔、デミスター、再加熱器のそれぞれの工程における圧力損失を監視することが重要である。

圧力損失は固形物の付着によるガス流路の狭隘化に起因するので、定期的な点検及び洗浄が必要である。

(b) 脱硫性能

脱硫性能は吸収塔での気液接触効率（液ガス比）に影響を受ける。脱硫性能の低下は液噴射ノズルの閉塞に起因する。

また、pH の制御も重要である。吸収液の pH が低くなると、化学平衡関係にある SO_2 の分圧が大きくなるため脱硫効率が低下する。逆に、pH を高くすれば脱硫効率は上がるが、過剰の吸収剤（石灰スラリー）を必要とし、石こうの純度が低下する。このため、吸収剤の供給量を調整して、pH を 6 近傍にするのがよい。

(c) 流量

ボイラーの負荷変動や炭種により排ガス性状も変動するので、吸収剤（石灰スラリー）を過不足なく供給しなければならない。このため、排ガス流量、 SO_2 濃度、吸収剤流量、吸収剤濃度、吸収剤中の固形物濃度を測定する機器の点検及び精度管理が必要となる。

さらに、安定した運転のためには、固形分による流量調節弁の閉塞、配管の腐食による漏えい、供給ポンプのトラブルの監視も必要である。

酸化反応用空気ノズルの出口では、スケールが発生しやすい。空気流量が低下すると結晶粒子を含む吸収液の逆流が起こり、ノズルの閉塞の原因となる。その防止のためには定期的な水洗浄が効果的である。

酸化反応塔での空気が不足すると、以下の連鎖作用により、脱水効率が低下する。

酸化反応速度の低下 → 亜硫酸塩の残留 → 脱硫効率の低下 → 副生石こうの純度の低下 → 脱水効率の低下

(d) 副生品

石こうは建材用ボードやセメント添加物として広く使用される。

石こうの純度は、石灰石中の不純物、吸収液の pH、排ガスに含まれるスート、塩酸ガスやふっ酸ガス濃度、SO₂ 酸化率などの影響を受ける。また、スートの混合や分離方法、別置き酸化塔方式や吸収塔酸化方式のような脱硫方式の違いにも影響される。

石炭種や石灰石供給元の変更がある場合は、石こうの成分を分析しなければならない。

(e) 装置材料

吸収液や洗浄水で常時湿潤している部位は、耐熱性に乏しいプラスチックやゴムが使用されていることが多い。したがって、温度が制御限界を超えないように温度計による連続的な温度監視が不可欠である。

3.4 脱硝技術

燃焼により 2 種類の NO_x が生成する。一つはいわゆるサーマル NO_x で、高温条件下で窒素と酸素が反応して生成する。他方はフューエル NO_x で、例えば化石燃料中の窒素分が酸化されて生成する。 NO_x 排出防止技術は図 3-34 のように分類できる。すなわち、 NO_x 抑制技術と排煙脱硝技術である。また、 NO_x 抑制技術は、燃料改善と燃焼改善に分けられる。

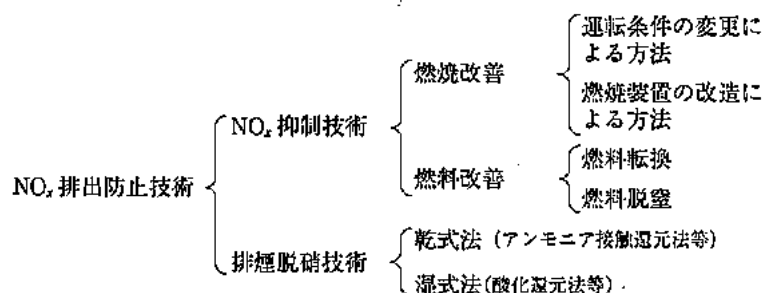


図 3-34 NO_x 排出防止技術の種類

3.4.1 低 NO_x 燃焼技術

3.4.1.1 NO_x 生成抑制方法

NO_x の生成を抑制する基本原理は以下のとおりである。

- (a) 有機窒素化合物の含有率の低い燃料を使用すること
- (b) 燃焼域での酸素濃度を低くすること
- (c) 高温燃焼域での滞留時間を短くすること
- (d) 燃焼温度を低くし、局所的に高温にならないようにすること

典型的な NO_x 抑制技術を図 3-35 に示す。

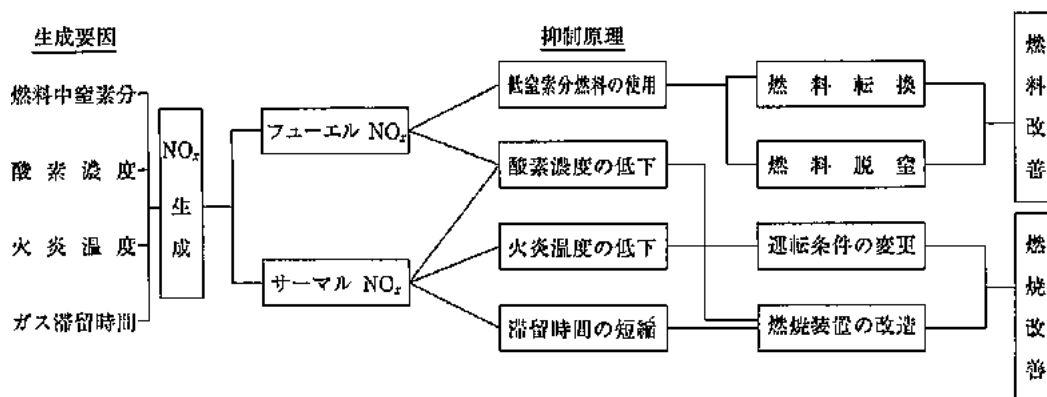


図 3-35 NO_x 抑制技術

一般に硫黄分の少ない燃料は窒素分も少ないので、低硫黄燃料、低窒素燃料に変換する。エマルジョン燃料は、水の蒸発潜熱により火炎温度を低下させるので、NO_x 生成抑制に効果的である。エマルジョン燃料は、石油系燃料に水と微量の界面活性剤を加えて攪拌混合して作られる。そのエマルジョンの粒子径は数 μm である。

燃焼改善は、2つの方法、すなわち低 NO_x バーナーと運転条件の変更に分けられる。

3.4.1.2 低 NO_x バーナー

低 NO_x バーナーの基本原理は以下のとおりである。

- ・ 燃焼領域の酸素濃度の低下
- ・ 火炎の最高温度の低下
- ・ 高温域でのガスの滞留時間の短縮

低 NO_x バーナーのタイプは以下のとおりである。

- ・ 急速燃焼形（混合促進形）
- ・ 緩慢燃焼形
- ・ 火炎分割形
- ・ 自己再循環形
- ・ 段階的燃焼組込形

1) 急速燃焼形バーナー

図 3-36 に示したこのタイプのバーナーでは、燃料と空気を直角に衝突させることにより急激に混合し、円錐状の非常に薄い火炎を形成させる。このことにより、火炎からの放熱量が増加し、高温部での燃焼ガスの滞留時間が短縮され、NO_x 生成が抑制される。

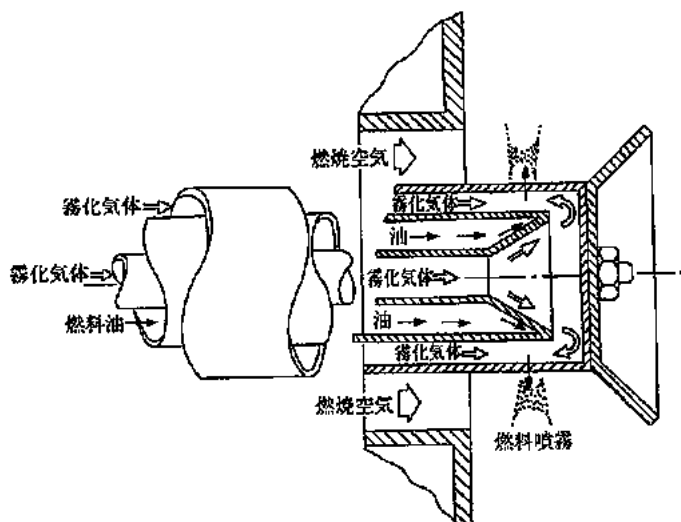


図 3-36 急速燃焼形バーナー

2) 緩慢燃焼形バーナー

燃焼域や火炎表面積の拡大による火炎温度の低下とともに、燃焼域での酸素分圧の低下により NO_x の生成を抑制する。このタイプのバーナーの例を図 3-37 に示す。

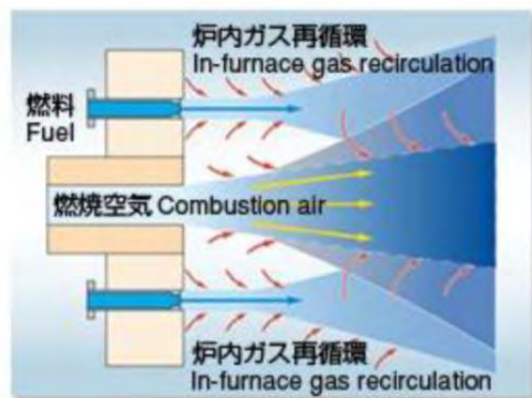


図 3-37 緩慢燃焼形バーナー

3) 火炎分割形バーナー

火炎を複数の独立した小火炎に分割し、放熱性をよくすることにより火炎温度を低下させ、また、火炎層を薄くすることにより高温域でのガスの滞留時間を短縮して NO_x 生成を抑制する。このタイプのバーナーの例を図 3-38 に示す。

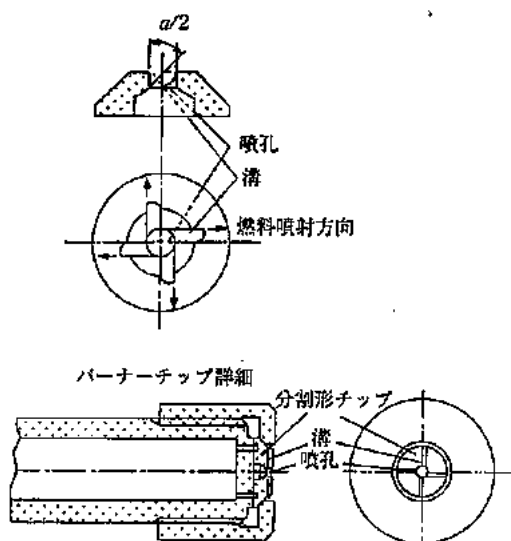


図 3-38 火炎分割形バーナー

4)自己再循環形バーナー

空気と燃料の噴霧によって生じる伴流によって、バーナー内部で燃焼ガスの再循環を強制的に行わせ、このことにより循環域での酸素濃度を低下させ、同時に燃料の蒸発・ガス化を促進し、燃焼温度を低下させることにより NO_x 生成を抑制する。このタイプのバーナーの例を図 3-39 に示す。

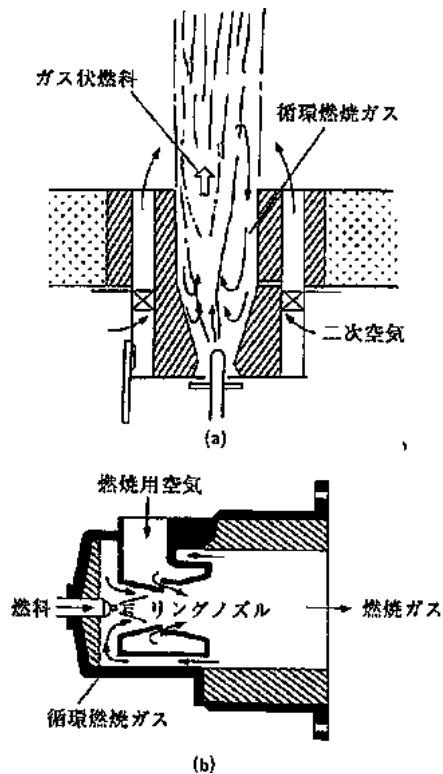


図 3-39 自己再循環形バーナー

5)段階的燃焼組込形バーナー

バーナー内に二段燃焼や濃淡燃焼などの原理を組み込み、段階的燃焼により 1 段目で酸素濃度の低い燃焼状態を作り、 NO_x の生成を抑制する。このタイプのバーナーの例を図 3-40 に示す。

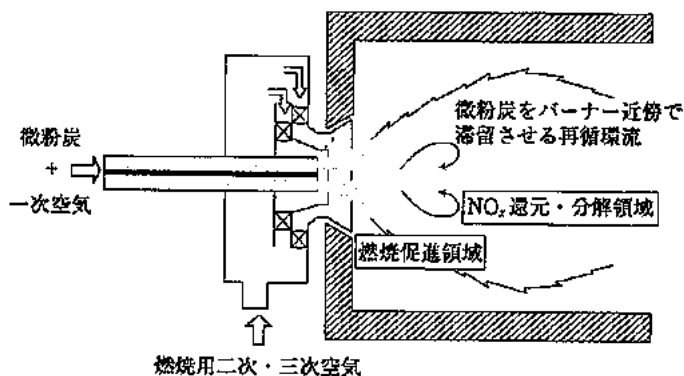


図 3-40 段階的燃烧組込形バーナー

3.4.1.3 運転条件の変更

(1) 炉内脱硝

炉内脱硝法は、炭化水素系燃料及び石炭に NO_x の還元性があることを利用し、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ある。この方法は微粉炭ボイラーの NO_x 低減に適用できる。

反応は以下のように進行する。一次燃料と一次空気による一次燃焼（主燃焼）は通常の空気比で行われ、ここでかなりのフューエル NO_x とサーマル NO_x が生成する。次にこの一次燃焼の後流に二次燃料のみを、一次燃焼後に残存する酸素より過剰に供給して還元燃焼（二次燃焼）させる。ここで一次燃焼で生成した NO_x は N_2 と N に還元される。さらに、その後流に二次空気を供給し、三次燃焼を行わせ、二次燃焼域で残存する未燃焼分を完全燃焼させる。典型的なプロセスを図 3-41 に示す。

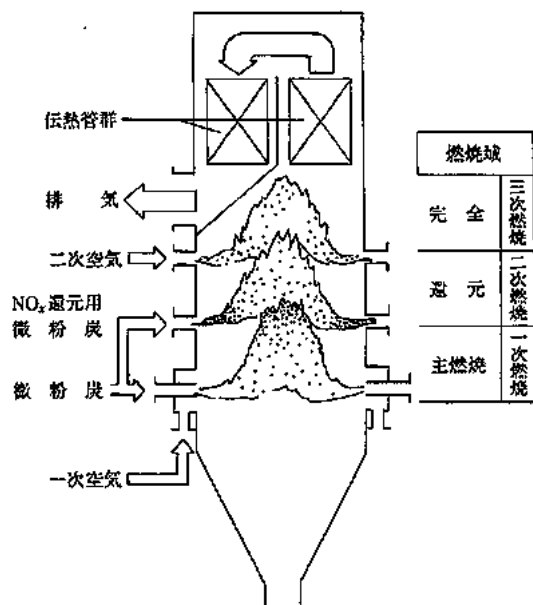


図 3-41 炉内脱硝法の燃焼状況

(2) 2 段燃焼、排ガス再循環、低 NO_x バーナーを併用している火力発電所の典型的なプロセスを図 3-42 に示す。

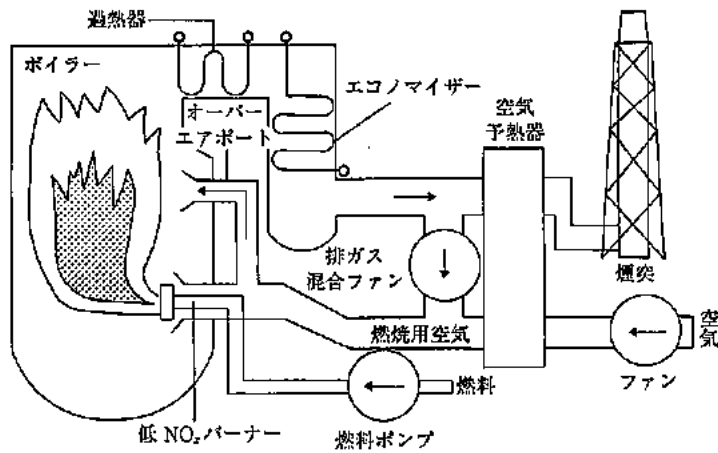


図 42 低 NO_x 燃焼技術の組み合わせ適用例

3.4.2 排煙脫硝技術

乾式処理は、我が国で実用化されている最も一般的な処理方式である。乾式処理のうち、アンモニア接触還元法の処理能力は、日本では処理能力で全体の 90%以上を占めている。また、活性炭又は活性コークスを使用した排煙処理システムは、脱硫と脱硝が同時に可能である。これらのシステムは事業用発電ボイラーに採用されている。典型的な脱硝技術を表 3-4 に示す。

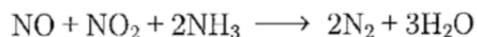
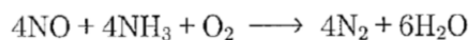
表 3-4 典型的な脱硝技術の一覧表

名称	反応例	方法	実用化の状況
乾式	アンモニア接触還元法	触媒を用いてアンモニアと NO _x を反応させ、無害な窒素と水蒸気に還元させる方法	ボイラー、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処理能力で 90% 以上を占めている。
	無触媒還元法	アンモニアを還元剤として排ガス中に吹き込み、気相無触媒で NO _x を窒素に還元する。	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	活性炭（又は活性コークス）により排ガスの SO ₂ を吸着し、NO _x は活性炭（活性コークス）の触媒作用により、アンモニアで窒素に還元させる同時脱硫・脱硝法	ボイラー、焼却炉等に数基採用されている。事業用流動層ボイラーの同時脱硫・脱硝装置として活性炭コークス法が実用化されている。
湿式	酸化還元法	NO をオゾン又は二酸化塩素で酸化し、亜硫酸ナトリウム溶液に吸収させる方法	比較的小形のボイラー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、大形装置への適用は難しい。

3.4.2.1 排煙脱硝技術の種類と原理

アンモニアによる NO_x の接触還元の原理は、以下のとおりである。

排ガス中の NO_x (NO と NO₂) が、排ガス中に注入されたアンモニアガスと 250～450℃ で触媒により反応することによって、窒素 (N₂) と水蒸気 (H₂O) に還元される。その基本反応は以下のとおりである。



アンモニア接触還元法は 1970 年ごろから開発が始まり、現在はほとんど開発が終了し、実機において安定した自動運転ができるようになった。本法は、発電ボイラーをはじめ、産業用ボイラー、ディーゼル機関、ガスタービン、廃棄物焼却炉などに最も広く採用されている脱硝装置である。

アンモニアは強い刺激臭を持つため、近年、尿素水が代わりに使用され始めている。無触媒脱硝は、触媒脱硝に比べて脱硝効率が低く、より高い反応温度を要するものの、効果的である、

3.4.2.2 選択的触媒脱硝（SCR）

選択的触媒脱硝（SCR）の典型的な触媒の構成は、以下のとおりである。

(1)形状

当初、触媒はペレット状又はリング状のものが使用されていた。しかし、ダストによる触媒層の閉塞による圧力損失の増加の問題から、現在では図 3-42 のように、ハニカム（格子）状あるいはプレート状の並行流形が主に用いられている。

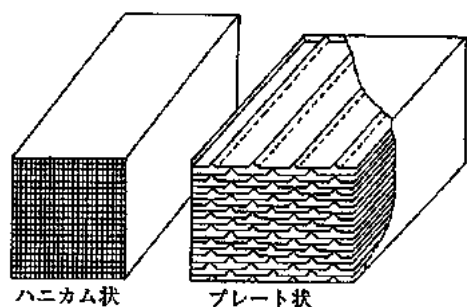


図 3-42 代表的な触媒の形状

(2)組成

触媒は基材、担体、活性金属から構成される。多くの場合、ハニカム状の触媒は担体自体が基材として働いている。一般に、次の材料が用いられている。

担体：酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、酸化チタン（ TiO_2 ）

活性金属：Pt、 V_2O_5 、 Fe_2O_3 、CuO、 Mn_2O_3 、 Cr_2O_3 、 MoO_3 、CoO

酸化アルミニウムを担体とするものは、 SO_x と反応して硫酸アルミニウムを生成し、触媒を被毒する。その代わりとして、酸化チタン担体が開発された。

白金系触媒は活性が高いが SO_x による被毒が著しく、また高価である。そこで酸化バナジウム（ V_2O_5 ）が活性金属として広く用いられている。しかし、排ガス中のアルカリ金属塩（硫酸カリウム、硫酸ナトリウム）が酸化バナジウムの毒となるため、触媒の水洗が欠かせない。

(3)触媒の寿命

石炭燃焼ボイラー：5～6 年

油燃焼ボイラー：7～8 年

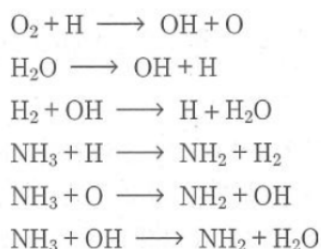
ガス燃焼ボイラー：8～10 年

3.4.2.3 選択的無触媒還元（SNCR）

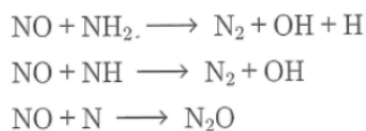
高温の排ガス中に NH_3 を添加し、触媒を用いずに選択的に NO を窒素（ N_2 ）に還元する。900℃から反応が急激に進み、約 1000℃で最大の脱硝率が得られる。 NH_3 の添加量が

多いほど脱硝率は高くなるが、酸素濃度が大きくなると脱硝率は若干低下する。

反応は以下の式にしたがって進むと考えられている。

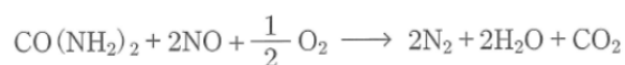


生成した H 、 O 、 OH と反応して NH を生成し、さらに N などを生成する反応が起こる。結局 NO は次式のように H 、 O 、 OH と反応し、 N_2 に還元される。



水素を添加すると、 H_2 と O_2 との反応によって H 、 O 、 OH が生成されるため、反応温度を $200\sim 300^\circ\text{C}$ 低下させることができる。 NH_3 の添加量を多くすれば脱硝率は高くなるが、同時に未反応の NH_3 が多くなり、硫酸水素アンモニウムの析出という触媒接触還元法の場合と同様の問題を生じさせる。ボイラーなどでは、排ガスが脱硝に最適な温度範囲に滞留する時間は極めて短いので、脱硝率は $30\sim 50\%$ 程度である。

また、還元剤として尿素 ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) を用いる方法も実用化されている。その反応は次のとおりである。



尿素水溶液を微粒化し、燃焼炉内に噴霧する。イニシャルコスト、ランニングコストともに安価であり、尿素水溶液の取扱いも安全かつ容易である。

3.4.3 脱硝装置の構成、運転、維持管理

排煙脱硝装置の性能管理フローを図 3-43 に示す。

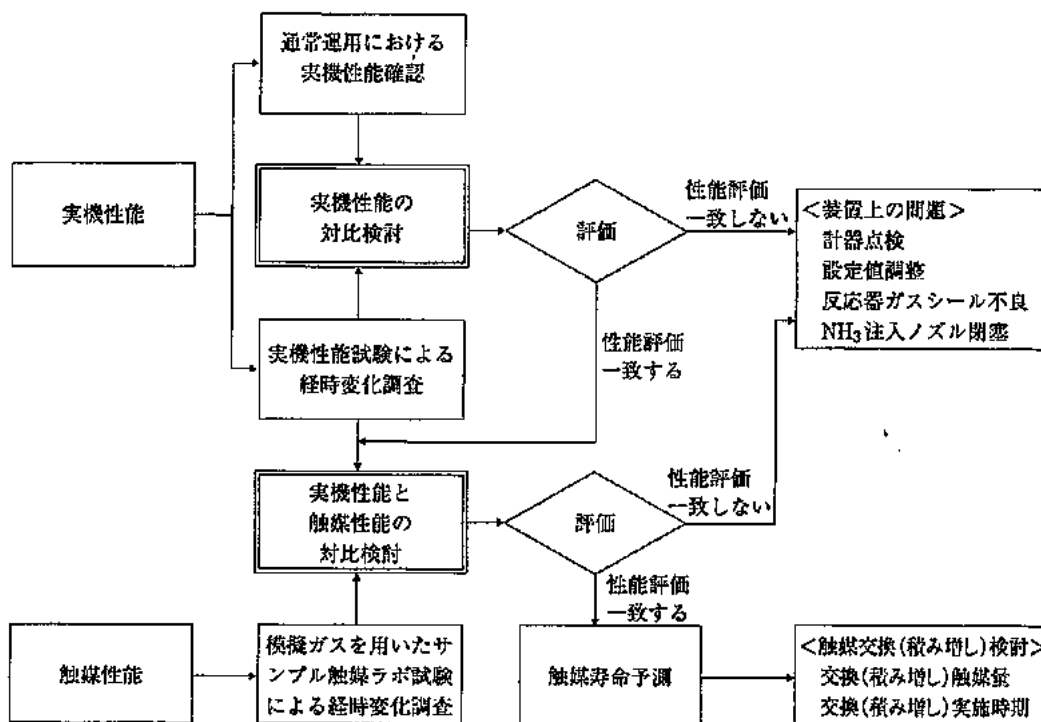


図 3-43 排煙脱硝装置の性能管理フロー

3.4.3.1 脱硝装置の点検及び維持管理

脱硝装置の点検及び性能管理は以下のとおりである。

(a) 通常運転時の性能管理

下記の運転データを記録・確認する。

- ・脱硝装置出入口の NO_x 濃度
- ・排ガス中の残存 NH₃ 濃度
- ・NH₃ 注入量

(b) 実機性能試験による性能管理

- ・ダクト断面における排ガス成分の濃度分布の測定
- ・各注入ノズルにおける NH₃ 注入量の調整

(c) 反応器の内部点検

破損、変形、ノズルの閉塞等の有無を目視点検し、必要に応じて清掃、補修する。

(d) ラボ活性検査による触媒性能管理

プラント停止時にサンプル触媒を抜き取り、ラボ活性検査により触媒活性の把握と触媒寿命の予測を行う。

脱硝装置の保守管理項目を表 3-5 に示す。

表 3-5 排煙脱硝装置の保守管理項目

対象	区分	頻度	内容
脱硝装置	通常運用時性能管理 (中央制御室データ確認)	1 回 / 月 程度	①ユニット負荷 ⑥脱硝出入口 NO _x 濃度 ②燃料性状 ⑦残存アンモニア濃度 ③燃料流量 ⑧脱硝装置及びガスエアヒーター ④アンモニア注入量 (GAH) 差圧 ⑤脱硝入口排ガス温度 ⑨その他プラント運転データ
	実機性能試験 (仮設計器によるラボパス計測)	定検ごと	①脱硝性能 (脱硝率、残存アンモニア) ② SO ₃ 転化率 (油、石炭焚きの場合)
	反応器内部点検	定検ごと	①触媒層での灰付着・灰堆積状況 ②触媒バスケットの状況 ③ NH ₃ 注入ノズルの状況
脱硝触媒	触媒経時変化調査 (模擬ガスを用いたラボ活性検査)	定検ごと	①脱硝率 ② SO ₃ 転化率 (油・石炭焚きの場合) ③物性・組成 ④摩耗状況 (石炭焚きの場合)

3.4.3.2. 脱硝装置の長期運用計画

(a) 脱硝触媒の性能低下要因

脱硝触媒の活性は長期にわたり、徐々に低下する。その原因は、以下のとおりである。

(1) 熱的劣化

- ・触媒成分の結晶構造のシンタリングによる粗大化
- ・触媒中に含まれる硫黄分の飛散

(2) 化学的劣化

- ・被毒成分 (ナトリウム、カリウム、ひ素、リン) の触媒への付着

(3) 物理的劣化

- ・ダストによる触媒表面の被覆
- ・酸性硫酸 (硫酸水素アンモニウム) による触媒細孔の閉塞

(4) その他の要因

- ・ダストによる触媒の摩耗
- ・脱硝触媒の強度低下

(b) 脱硝触媒の寿命予測

ラボ活性検査の結果を、脱硝反応の反応速度定数と比較して、触媒の寿命を予測する。

(c) 脱硝装置の性能回復

以下の方法により、脱硝性能を回復する。

- ・緊急対策：NH₃ 注入量の増加
- ・抜本対策：触媒の交換、触媒の積み増し (あらかじめ脱硝反応器に予備層を設けておく。)

4 章 省エネルギーによる CO₂ の排出管理

4.1 企業内における温暖化対策の考え方

2015 年12 月にフランス・パリで、気候変動枠組条約第21 回締約国会議（COP21）において各国の温暖化対策の取組について2020年以降の新たな温暖化対策の枠組みが話し合われた。ベトナムも国家行動計画に温暖化対策の目標値を設定し、CO₂ 排出削減の努力をすることが挙げられており、大気汚染防止と並行してCO₂ 削減に取り組むことが重要となっていくものと思われる。特に、電力、鉄鋼、セメント等のエネルギー多消費型の産業はCO₂を多く排出するため、よりエネルギー効率の高い生産プロセスへの転換や技術の導入によりCO₂ 排出削減が達成され、温暖化対策に寄与することができる。この章では、特に製造業の生産活動における省エネルギー技術に焦点を絞り説明する。

(1) 省エネルギーの考え方

事業所内のエネルギーは、電力や燃料、冷水、温水、蒸気など、様々な形態で存在している。一般的に工場では各種の装置が複雑に連携して生産プロセスが形成されているため、エネルギーの使用を合理化するためには、エネルギーの流れと装置の関係を整理することが重要である。エネルギーフローの概念と省エネルギーの関係を図4-1 に示す。

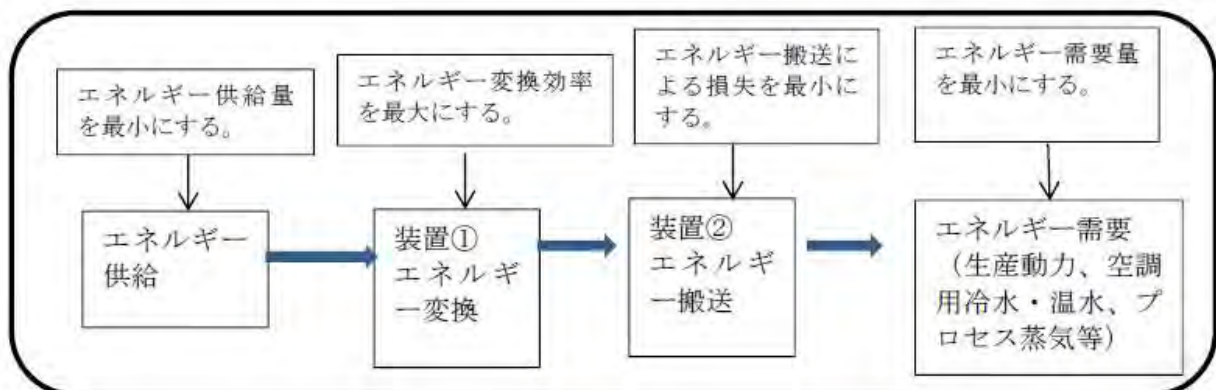


図4-1 エネルギーフローの概念と省エネルギーの関係[1]

工場内の究極の省エネルギー化は、エネルギーのロスを防止することで需要量を極限まで削減するとともに、装置の効率を最大レベルまで追求することで達成される。燃焼管理においても、適切な空気量で燃焼することにより、燃焼効率を上げることができる。

(2) 省エネルギーの評価項目

日本はエネルギー資源に乏しく、石油、天然ガス、石炭などは輸入に頼っている。1970 年代に中東情勢の影響を受けて 2 度の石油危機を体験し、1979 年には「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネルギー法）が制定されたことから、企業内での省エネルギー対策が推進されてきた。なお、本法律は、現在は温暖化対策に資する法律としても位置づけられている。日本の省エネルギー法で、省エネルギー対策を実施する上での評価基準項目が参考になるため以下に紹介する（表 4-1）。

なお、既存設備のエネルギーの使用の合理化に関しては、下記①～⑥の項目で網羅されるが、新設する場合には、設備・機器自体の高効率化についても留意しなければならない。

表 4-1 エネルギーの使用の合理化に関する判断の基準となるべき事項[2]

①	燃料の燃焼の合理化
②	加熱及び冷却並びに伝熱の合理化
③	廃熱の回収利用
④	熱の動力等への変換の合理化
⑤	放射、伝導、抵抗等によるエネルギーの損失の防止
⑥	電気の動力、熱等への変換の合理

(3) 省エネルギーの具体的な取組内容

表 4-1 の各事項毎に、企業における省エネルギー取組内容の例を表 4-2 に、また、その具体例を以下に示す。

表 4-2 省エネルギー取組内容の例

①燃料の燃焼の合理化 (運転方法の改善を含む)	➤ 適正空気比燃焼 ➤ 燃焼灰中の未燃分の低減(石炭の燃焼時) ➤ 圧力、温度、流量、還流比など最適運転への条件変更
②加熱、冷却、伝熱の合理化	➤ 熱供給配管等の断熱強化(④にも関連) ➤ ヒートポンプの設置(⑥にも関連)
③廃熱の回收利用 (廃棄物の有効利用を含む)	➤ 排ガス等の廃熱の回收利用(熱利用、排熱発電)(④にも関連) ➤ 廃液、廃油、オフガス等の燃料化(①にも関連) ➤ 有機性廃棄物、廃水処理汚泥の燃料化(①にも関連) ➤ 生産工程からの廃棄物の原料としての再利用、リサイクル等
④熱の動力等への変換の合理化 (機器効率の改善を含む)	➤ 高効率ボイラーの導入(⑤にも関連) ➤ 高効率タービン等の導入 ➤ 熱供給配管等の断熱強化(②にも関連)
⑤放射、伝導、抵抗等によるエネルギーの損失の防止	➤ スートブローの実施(蒸気、圧縮空気、音波振動) ➤ 工場内の高圧幹線における送電損失の改善 ➤ コンプレッサー配管のループ化、適正圧、リーク防止、熱換気
⑥電気の動力、熱等への変換の合理化 (機器効率の改善を含む)	➤ 高性能・高効率な設備機器、材質への更新 ・照明、ファン・モーター、誘導溶解炉等の高効率化 ・トッランナー変圧器への更新、受変電設備の一部休止 ・ファン・モーターへの省エネ V ベルトの適用 ➤ 電気使用におけるインバータ制御(①、②、④にも関連)
⑦共通項目、関連項目 (プロセスの合理化を含む)	➤ 過大な動力等の設備・機器の適正化 ➤ 燃焼設備・動力等の運転台数制御 ➤ 製法転換・生産方式変更、触媒変更 ・適正な維持管理による長期連続運転、寿命延長 ・生産工程の時間短縮・改善、生産計画の改善 ➤ 熱の多面的な有効利用 ・ピンチテクノロジー※の利用 ➤ 製造ラインへの管理制御技術の導入 ・エネルギー消費の見える化によるムダの排除

※ピンチテクノロジーとは、複数の装置、設備（プラント）、工場、企業（コンビナート）に広げた熱の授受に関して、熱のカスケード（Heat Cascade）利用を徹底する省エネ手法

① 燃料の燃焼の合理化

適正空気比燃焼については、4-2 で詳述する。

② 加熱、冷却、伝熱の合理化

a. 蒸気利用プロセスに関する効率化

産業部門で消費されるエネルギーのうち、蒸気に係る消費は大きい。一般に蒸気は、ボイラーから乾燥・加熱設備への熱の伝達に用いられているが、蒸気設備が古くなると、経年劣化によりドレイン回収のための復水装置（steam condenser）や、復水分離装置（steam trap）などに蒸気漏れや閉塞故障などが発生してエネルギー損失が増える。このため、負荷変動に対応できる高効率ボイラー、蒸気モーター等の動力応用技術、高性能蒸気流量計、高圧用高性能スチームトラップ、完全クローズド方式ドレイン回収システムなどを用いることで、また、過剰蒸気の放出抑制などの蒸気供給の効率化や配管系統の断熱性能の向上による熱損失低減、循環システム面での改良を行うことで、エネルギーの浪費を抑制し、効率化が図れる。

b. 加熱・乾燥プロセスにおける効率向上

燃焼技術の改良による燃焼炉の燃費改善が行われている。

また、蒸気による熱輸送効率の向上のため、加熱を必要とする設備に直接熱を供給できる加熱技術の導入も効果がある。例えば、蒸気による熱輸送に代えて表面燃焼バーナー※の技術などを用いることにより、熱輸送損失を軽減することができる。

※表面燃焼バーナーとしては、セラミックプレートを使ったブンゼン式のガス赤外線バーナーや、金属ファイバを織り上げた材料で形状自在の表面燃焼バーナーなどがある。用途としては、食品の焼成や解凍、繊維や紙の乾燥のほか、金属熱処理、ガラス熱処理、熱風発生機器などのあらゆる焼成や乾燥工程に使用されている。

③ 排熱の回収利用

a. ボイラーや加熱炉等の廃熱回収

燃料を燃焼させることによって、燃焼排ガスとして排熱が大気中に放出されてエネルギーロスが生じる。燃焼排ガスとして持ち出される排熱は、エコノマイザー（節炭器）やレキュペレーター（燃焼用空気加熱器）などで回収され、エネルギー効率の向上に寄与している。また、伝熱面にスケールが付着するとボイラー効率を低下させるので、それを防止するために、ボイラー水の一部を外部にブロー（放出）し、新しい水を送り込んで不純物

の濃度を低下させる。しかし、そのまま捨てると熱損失となることから、ブローの回路に熱交換器を設置してボイラー給水を予熱することで廃熱回収する。

b. リジェネレーティブバーナー

リジェネレーティブバーナー (Regenerative burner) は、バーナーと蓄熱体をセットとした蓄熱型燃焼システムであり、2 セットで 1 式とし、一定時間の間隔で交互に切り替えて使用する。一方のバーナーが燃焼しているときは、他方のバーナーに内蔵した蓄熱体に燃焼排ガス熱を蓄え、次に他方のバーナーが燃焼するときには加熱された蓄熱体に燃焼用空気を通して予熱することで、排熱を回収する。リジェネレーティブバーナーは、レキュペレーターによる排熱回収より費用対効果に優れており、高温を必要とする金属加熱炉やガラス溶融炉などで多く使用されている。

④ 熱の動力等への変換の合理化

高効率な設備を導入するとともに熱輸送のロスを減らすことにより、熱を有効に動力に変換する。

⑤放射、伝導、抵抗等によるエネルギーの損失の防止

a. 高圧空気稼働設備の省エネルギー

高圧空気配管では、圧力配管がループ化していない場合、末端で必要とする圧力を確保するために過大な圧力空気を送り出すことになるが、ループ化すれば適正圧での供給が可能となって省エネが実現する。また、コンプレッサー周辺の換気が悪く、熱がこもっている場合、高温空気を加圧することになってエネルギーロスを生じるので、自然換気などにも配慮する必要がある。

⑥電気の動力、熱等への変換の合理化

a. トップランナー変圧器への更新

日本では、2006 年から変圧器に「トップランナー基準※」が施行され、2014 年 4 月からは更に基準が強化された「トップランナー変圧器 2014」の出荷が義務付けられている。「トップランナー変圧器 2014」は、変圧器自体の負荷放電、無負荷放電によるエネルギー損失を抑制したものであり、旧型変圧器に対して約 40%の省エネ効果が見込まれている。

変圧器の更新による投資回収年数は長期間を要するが、実用耐用年数の目安も 20～25 年またはそれ以上の長期であることにも留意して、費用対効果を検討する。

※トップランナー基準とは、機器の省エネルギー基準を定めるに当たり、その時点で市場に存在する機器のうち最もエネルギー消費効率が優れている機器をベースにして定められる基準である。1998年の省エネルギー法の改正により導入された。対象機器は、順次拡大指定されている。

b. IPM モーターへの更新と高効率制御[3]

IPM (Interior Permanent Magnet) モーターは、回転子 (rotor) に永久磁石を使用したモーターのことであり、永久磁石には電流が流れないため、電気抵抗によるエネルギーロスを低減できる。また、負荷がかかったときの電流を必要最小限に抑えるように IPM モーターをインバータで制御する IPM 高効率制御により、通常のモーターに比べ、最大で約 70% の省エネが実現する。

c. モーターへのインバータの導入

モーターは、ファン・ポンプ、高圧空気利用や冷凍のためのコンプレッサーのような固定エネルギー消費の根幹をなす装置に用いられている。

これらの装置にインバータを導入すれば、液体や空気の供給量の変化に応じてモーターの回転数を制御し、効率的運転ができるため、省エネルギーに有効である。

例えば、ボイラーには燃焼用空気の供給ファンと燃焼排ガスの排気ファンがある。通常、ファン能力は過大に設計されており、しかも、燃焼量に応じてダンパーの開閉度で流量をコントロールすることから、定格のファン能力に応じた電力を消費する。一方、インバータは回転数制御のため、燃焼量の増減に応じて消費電力量をコントロールできることになる。また、排ガス中の酸素濃度や炉内圧によるインバータの回転数制御を行えば、空気過剰燃焼による排熱ロスや空気不足による黒煙発生などの抑制管理にも有効である。

⑦ 共通項目、関連項目

a. 過大な動力等の設備・機器の適正化

動力等の設備・機器は、フル稼働でも一定の余裕を持った性能で設計されている。しかし、場合によっては極めて過大な設備・機器が導入されている場合がある。このような場合には設備・機器性能の適正化による省エネルギーが考えられる。

b. 産業プロセスにおける固定エネルギー消費の削減

固定エネルギーとは、工場において生産量の変動に連動せずに、固定的に消費される不変のエネルギーである。常に稼働しているやコンプレッサーや油圧ポンプなどで消費される固定エネルギーを生産量の変動に連動させることで、その生産量に応じたエネルギーの消費が実現し、生産量当たりのエネルギー消費原単位が低下する。

c. 小型ボイラーの台数制御

ボイラーは運転状況により効率が変化するので、1 台のボイラーで運転するよりも、小型ボイラーを複数設置し、蒸気の使用量に応じて必要台数のみを運転する方が省エネルギーとなる。

d. コンプレッサーの台数制御

高圧空気で稼働する機械への高圧空気供給では、コンプレッサーの配置等の関係で、製造ラインにおける生産量と関係なく、常に一定の吐出圧力・空気量を供給するシステムが構築されている場合が多い。また、コンプレッサーでの空気の高圧化では、投入エネルギーの 80%近くが熱の形で損失している。このため、高圧空気により稼働する機械とコンプレッサーを、生産量に応じて運転する台数制御を行うことによって大幅な省エネルギーが実現する。

e. 熱の多面的な有効利用

産業における熱の有効利用のためには、廃熱利用等の熱そのものの有効利用に関わる技術の他に、熱の多面的な有効利用のためのシステム技術がある。システム技術のアプローチとして、単一の工場内の複数の設備や工業団地内の複数の近隣工場等で物質及び熱の流れを解析し、最適化を行う解析ツール「ピンチテクノロジー」がある。本技術は、元来は熱交換器群や蒸留塔の熱回収システムの最適設計のための熱力学に基づいた解析手法であり、高温から低温に至る熱落差に応じた熱有効利用システムの最適化に即した設計・評価技術として適用可能である。例えば、工業団地内にある製油所、化学工場、製鉄所、ガラス工場、発電所、食品工場、機械工場などが排熱を融通し合って、単独工場では成し得ない省エネルギーを実現するものである。

日本では、既に多くの事例があるが、モンゴル国の石炭火力発電所の例では、低圧タービンを駆動させた蒸気の一部を近隣工場に供給することで電熱供給を実現し、エネルギーの総合利用効率を高めている。

f. 製造ラインへの管理制御技術の導入

個別機器単体での省エネルギー化を進めることも必要であるが、総合的なエネルギーの有効利用を推進するために例えば、製造ラインの生産量の変動に応じて機器をフレキシブルに稼働させるなど、それぞれの機器が最適な稼働状況になるような管理制御技術や制御機器を導入する。

例えば、各製造ラインの主要設備毎にエネルギーの使用状況を「見える化」し、コントロール室で管理することで無駄な運転の排除を徹底し、エネルギー消費を効率化させるな

ども一つの手法である。

4.2 燃焼管理による省エネルギー

燃焼管理とは、ボイラー等の燃焼設備の運転において、適正な燃料の使用、燃焼方法、燃焼設備全体の管理を合理化し、燃焼効率の改善を行うことである。適切な燃焼管理を行うことは、燃料使用量を減少させて省エネルギーに寄与するだけでなく、SO_x や NO_x などの汚染物質の低減にもつながる大気汚染防止の基本となる技術である。

種々の燃料を燃焼させる時、熱をロスしないようにできるだけ少ない過剰空気で完全燃焼させることは燃焼管理の基本である。ここでは燃焼に必要な空気量や排ガス量の算定方法、過剰空気の量（空気比）の管理、すすを低減するための燃焼方法、排ガスによる金属腐食の防止方法について説明する。

4.2.1 燃焼計算

燃焼反応は燃料が酸素と反応し、熱や光を発する化学反応である。炭素や水素、硫黄を含む燃料は完全燃焼により、CO₂、H₂O、SO₂ に変換される。燃焼は化学反応であるため、質量保存の法則を適用して燃焼反応前後の物質収支の計算を行うことで、燃焼に必要な空気量、燃焼排ガス量、排ガス中の二酸化炭素濃度、二酸化硫黄濃度等を算出することができる。このような理論計算を行うことは、燃焼管理や大気汚染防止管理において重要である。

(1) 理論空気量及び空気比

燃料を効率良く燃焼させるためには空気は多すぎても、少なすぎても良くない。

○空気が多すぎる場合：完全燃焼するが、過剰な空気によって、発生した熱量が持ち去られ、燃焼効率が悪くなる。

○空気が少ない場合：燃料が完全燃焼せず、すすの発生や一酸化炭素等の未燃焼ガスの発生が多くなる。

燃料を完全燃焼させるために必要な酸素の量を理論酸素量（O₀）と呼び、理論酸素量を含む空気量を理論空気量(A₀)と呼ぶ。通常、酸素は空気中に 21%含まれているので、理論酸素量と理論空気量の関係は以下のとおりである。

$$A_0 = O_0 / 0.21$$

通常、燃料を燃焼装置で燃焼させるとき、燃料と空気を完全に均一に混合させることができないので、理論空気量だけを供給したのでは完全燃焼させることは困難であるため、実際には理論空気量より多めの空気を供給しなければならない。実際に供給する空気量を所用空気量（A）という。

所用空気量 A と理論空気量 A_0 の比を、空気比又は空気過剰係数（m）という。

$$m = \frac{A}{A_0}$$

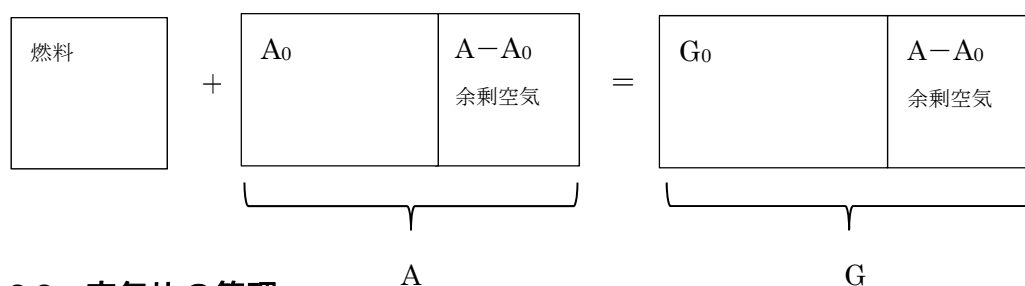
また、過剰空気率は以下の式で示される。

$$(m - 1) \times 100\%$$

(2) 燃焼ガス量と理論燃焼ガス量

燃料中に含まれる水素（H）は、燃焼により H_2O となる。燃焼排ガスの温度が高い場合、排ガス中の水分は水蒸気となる。燃料単位量当たりの、水蒸気を含めた燃焼後の全排ガス量を湿り燃焼ガス量（G）と呼び、特に理論空気量で完全燃焼したと仮定したときの湿り燃焼ガス量を理論湿り燃焼ガス量（ G_0 ）という。

以上の関係を図で表すと、下図のようになる。



4.2.2 空気比の管理

(1) 空気比と最適燃焼

燃焼には燃料と空気（酸素）が必要であり、空気が不足すると燃料が残ってしまい、ばい煙や一酸化炭素を発生させ、いわゆる不完全燃焼状態となる。一方、空気は多ければ多いほど良いというわけではなく、空気過剰は排ガス量を増加させ、余分な空気を加熱することになり、熱効率が悪化する。つまり、良い燃焼状態とはできるだけ少ない空気量で完全燃焼させることであり、そのための最適な空気量がある。

図 4-3 に天然ガス火力発電用ボイラーにおける空気比と熱効率の関係を示す。グラフの横

軸は空気比で、燃料を燃やすために必要となる理論空気量に対して実際に供給する空気の比率である。天然ガス火力発電用ボイラーでは、空気比が 1.05～1.10 の領域が最適燃焼域と呼ばれ、熱効率が高く（不完全燃焼による炭素分の損失、燃焼に用いられなかった過剰空気の導入による熱損失が共に低く）、SO₂、NO_x、CO の大気汚染物質の排出が最も少ない領域である。空気比が 1.05（排ガス中の残存酸素濃度は 1.0%）より小さくなると不完全燃焼により生成する CO 濃度が増加し、それが燃焼するため熱損失が大きくなる、最終的に未燃の炭素である黒煙（すす）が増加するとともに熱損失もさらに大きくなる。空気比が 1.10（排ガス中の残存酸素濃度は約 1.9%）を超えると余分な空気を加熱し、その空気は排ガスと一緒に熱として利用されることなく放出されるので熱損失が増加する。

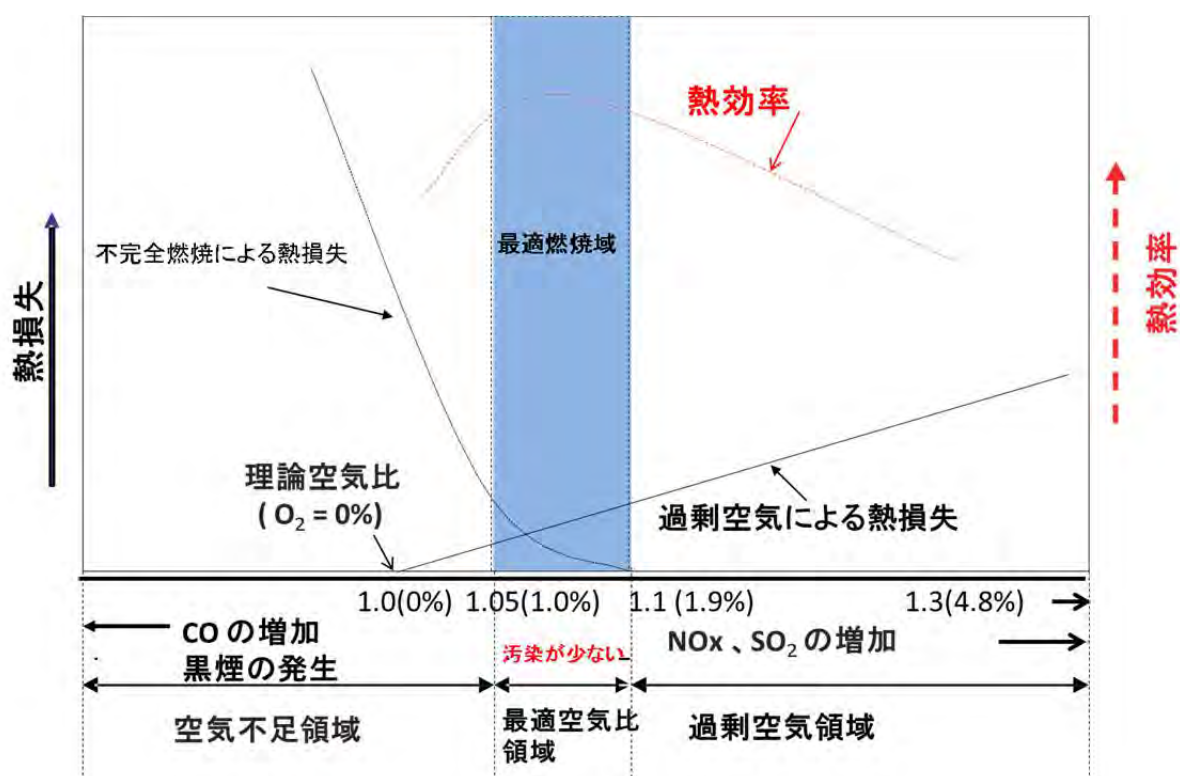


図 4-3 天然ガス火力発電所における空気比と熱効率の関係[3]

参考に日本のエネルギーの使用の合理化に関する法律（1979 年制定、2014 年改正）において、省エネルギーの観点より規定されているボイラーを運転する際の基準空気比を表 4-2 に示す。

表 4-2 ボイラーに関する基準空気比

カテゴリー		負荷率 (%)	基準空気比				
			固体燃料		液体燃料	気体燃料	高炉ガス (製鉄)、 その他の 副生ガス
			固定床	流動床			
発電事業用ボイラー		75～100	1.15～1.3 (注)	—	1.05～ 1.1	1.05～ 1.1	1.2
一般用ボイラー	蒸発量≥30t/時	50～100	1.3～1.45	1.2～ 1.45	1.1～ 1.25	1.1～1.2	1.2～ 1.3
	10t/時 ≤ 蒸発量 <30t/時	50～100	1.3～1.45	1.2～ 1.45	1.15～ 1.3	1.15～ 1.3	---
	5t/時 ≤ 蒸発量<10t/ 時	50～100	---	---	1.2～1.3	1.2～1.3	---
	5t/時>蒸発量	50～100	---	---	1.2～1.3	1.2～1.3	---

(注) 微粉炭を燃料とする場合

4.2.3 すすの発生と低減対策

(1) すすの性状と生成

種々の燃料の燃焼が完了した後に生成する炭素粒子をすす(soot)という。すすの生成機構は十分に解明されていないが、炭化水素燃料の燃焼過程では、脱水素や分解と同時に、重合により環状化合物などが生成し、次第に炭素の多い物質が生成すると言われている。燃料の性質とすすの生成のしやすさは大いに関係がある。例えば、炭素と水素の比 (C/H) の大きい燃料ほどすすが発生しやすい。また、不完全燃焼※を起こすと、すすの発生は多くなるので、燃焼効率を上げことですすの発生も低減できる。

天然ガス (メタンが主成分) や LPG 等のガス燃料では、すすの生成が少なく、重油や石炭等の液体又は固体燃料ではすすが生成しやすい。

※可燃物中の C、H や S 分がすべて、二酸化炭素、水、二酸化硫黄の形になるような燃焼を完全燃焼 (Complete Combustion) といい、燃焼ガス中に一酸化炭素や可燃すすを含んだ燃焼を不完全燃焼 (Incomplete Combustion) という。

(2) ガス燃料の燃焼におけるすすの生成

ガス燃料では液体燃料や石炭などの固体燃料に比べてすすの生成は最も少ない。ガス燃料の燃焼方法には以下の 2 つがある。

① 予混合燃焼

燃料ガスと燃焼用空気をあらかじめ混合した後に、燃焼室で燃焼するものを予混合燃焼 (Premixed Combustion) という。予混合燃焼の場合、火炎面の温度はかなり高く、燃料と空気の接触も十分であるため、脱水素や凝縮のような炭素生成速度より酸化速度がはるかに大きく、ほとんど炭素が生成されない。

② 拡散燃焼

燃料ガスと燃焼用空気を燃焼室内で逐次混合させながら燃焼するものを拡散燃焼 (Diffusion Combustion) という。拡散燃焼では酸化速度が空気の拡散によって制限されるため、炎の温度もそれほど高くなりえず脱水素や凝縮などに有利である。また炎の中に中間生成物が滞留する時間が長いので、その中に炭素が生成されやすく、すすも発生しやすい。

(3) 油燃焼におけるすすの生成

油の噴霧燃焼は、ガス燃料の拡散燃焼のように油燃料と空気を混合し、燃焼する。炎の中には炭素が生成されるが、空気の拡散速度が大きければ脱水素や凝縮の速度より酸化速度が大きいので、燃焼後にすすが残ることは比較的少ない。しかし、重油の噴霧燃焼では、油滴が蒸発した後に炭素が残る。これをセノスフェア (Cenosphere) という。このセノスフェアは気相反応によって生成される炭素よりはるかに大きく、噴霧油滴の大きさに関係する。特に、炎の中に火花状のものが観察されることがあるが、これはコークスが高温ガス中で加熱され輝きを発することによるもので、重質油の使用、噴霧油滴の大きいことに起因する。したがって、重油燃焼で生成される炭素は、気層反応によるものとセノスフェアとの両方から成る。

(4) 石炭燃焼におけるすすの生成

石炭の燃焼方法には、固定層燃焼、流動層燃焼、微粉炭燃焼の 3 つの方法がある。固定層燃焼ではストーカーボイラー、流動層燃焼では流動層ボイラーがあるが、近年は後者の方が広範囲な炭種への燃焼適応性、低公害性により、設置が増えている。ストーカー燃焼の場合は他燃焼方式に比べて空気比は高いが、可燃物と空気との混合が十分でないとき、部分的に空気不足の所ですすが発生する。すすの発生は燃焼方式と石炭の性状によるとこ

ろが多い。

近年、大規模な火力発電所で多く使用されている微粉炭燃焼は、石炭を粉砕して極めて微細な粒子とし、燃焼室内に吹き込んで燃焼させるもので、ストーカー燃焼とは異なり、むしろガス燃焼や油燃焼に近い。微粉炭燃焼施設は大規模で排ガス処理施設が整っているところが多いため、適切な処理を行えばすすやその他汚染物質の発生はほとんどない。この場合、すすよりもむしろ微粉炭機での石炭を細かく粉砕する際に発生する粉じんの集じんが問題となる。

(5) すず及び灰の除去による熱効率の維持

ボイラーの伝熱面へのすすの付着、火炉壁管のある輻射領域で発生するスラッシング(slagging)、過熱器管や再過熱器管で発生するファウリング(fouling)は、伝熱障害によるボイラー効率低下の原因となる。スラッシング及びファウリングとは、ボイラーの伝熱管や側壁に、溶融した石炭灰が溶着・堆積する現象である。これは、閉塞トラブルやクリンカの脱落による管損傷、伝熱面の腐食の原因ともなり、システムダウンを引き起こすなど、電力の安定供給に重大な影響を及ぼす。このため、日常のスートブローや定期点検における清掃など、可能な限りすすの付着や灰の付着・堆積を抑止する工夫が必要となる。

また、トラブル停止によりボイラーが完全冷却すると、立ち上げ時の燃料消費が大きな浪費となる。たとえ稼働中のボイラー効率が優れていても、通年で見た真のボイラー効率や発電効率は大きく低下することとなる。これらのことは、年間の発電電力量に対する投入石炭の熱量との関係（熱効率）を調べれば理解できる。一般に、石炭火力発電所の定常運転時のボイラー効率及び発電効率が正常に記録されているにもかかわらず、所定の熱効率が得られていない場合などは、トラブル等による停止回数が多い可能性を示唆している。このため、トラブル停止の原因を理解し、最適な対応策を講じる必要がある。

ボイラーの伝熱面のすすによる燃料損失の例を図 4-4 に示す。

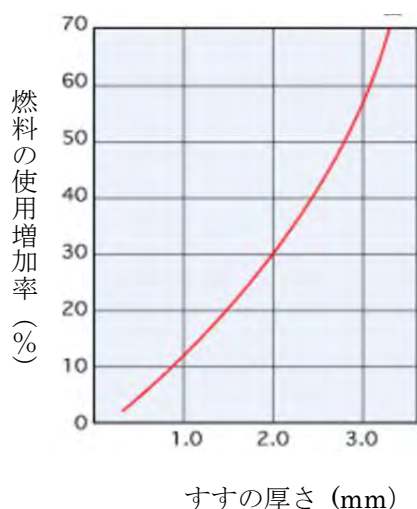


図 4-4 伝熱面のすす付着による燃料損失の例[5]

4.2.4 燃焼装置の腐食とその防止対策

(1) 低温腐食

燃料中に硫黄分があると、燃焼して SO_2 を生成する。燃焼排ガス中の SO_2 濃度は通常 0.2% 以下であるが、その中の 2～5% が SO_3 である。 SO_3 は水蒸気と反応して硫酸を生成し、燃焼ガス中の硫酸蒸気が凝縮する温度を高くする。

硫酸蒸気の凝縮温度は種々の条件により異なり、最高 160°C ぐらいまで上昇することがある。硫酸蒸気の凝縮し始める温度を酸露点というが、酸露点以下 $15^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$ で硫酸の凝縮量は最大となり、酸による腐食も最大となる。燃焼排ガス出口温度の低い発電用ボイラー、あるいは種々の熱設備の熱交換器内のガスの流れが一様でないと、局部的にガス温度が酸露点以下になって伝熱面を腐食することがある。これを低温腐食と呼ぶ。硫酸を含んだすすの塊をアシッドマットと呼ぶ。酸による腐食を防止する方法として、以下の方法がある。

- (a) 硫黄分の少ない燃料を利用する。
- (b) 熱交換器の燃焼排ガスの流れを一様にする。
- (c) 粉末状の酸化マグネシウム、ドロマイト、炭酸マグネシウム、酸化亜鉛などを二次空気に混ぜ燃焼室内に吹き込み、 SO_3 を吸収、中和する。また重油に対しては、約 0.06% のアンモニアあるいは約 0.04% の複素環式アミンを燃焼ガスに添加すると、腐食を低減できる。
- (d) 過剰空気をできるだけ少なくし、 SO_2 から SO_3 になるのを防ぐ。
- (e) 空気予熱器や節炭器の表面温度が酸露点以下にならないようにする。

※2 章の排ガスのモニタリングにおける採取においても、採取の配管は酸露点以上 ($150\sim 160^\circ\text{C}$) に加熱することが重要である。

(2) 高温腐食

重油中に含まれるバナジウム、ナトリウム、カリウム、けい素、アルミニウム、ニッケルなどの金属酸化物が腐食性成分として灰中に残留し、これが過熱器、再熱器などの高温伝熱面に付着、堆積して腐食を生じる現象を高温腐食と呼ぶ。特にバナジウムを含む灰は伝熱面の表面の酸化被膜を溶融し腐食作用を進行させる。またナトリウムが硫酸ナトリウムを生成し、五酸化バナジウムの腐食を促進する（バナジウムアタック）。

高温腐食防止対策には以下がある。

- (a) 高温部の過熱器、再熱器の伝熱面の表面温度を下げるよう、伝熱面の配置を考える。
- (b) 付着物をできるだけ落とすようにスートブロワーを適切に配置する。
- (c) ドロマイト ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) などの添加剤を注入し、灰の融点上昇を図り、高温部での灰

付着を少なくする。

(d) バナジウムやナトリウムの少ない重油を使用する。

(e) 定期点検時などを利用し、付着した灰を除去する。

5 章 重要産業におけるコベネフィット対策

ベトナムにおいて主要な大気汚染発生源とされている、石炭火力発電、鉄鋼、セメント、化学（肥料製造及び石油精製）の4産業における大気汚染対策とCO₂削減対策について説明する。大規模工場の大気汚染対策とCO₂対策は、業種に特有な工程に合わせた特別な対策技術もあるが、基本的には個別の要素技術を組み合わせたものである。このため、3章と4章も参照されたい。

5.1 石炭火力発電

ベトナムの石炭火力発電では、燃料として自国で採掘される揮発分が少なく灰分の多い無煙炭が多く使用されている。無煙炭は石炭化が進んでいるため、亜炭や歴青炭に比べて着火温度が高く、固く燃えにくいため、発電には適していない。また、無煙炭に多くの不純物が存在し、これも燃焼効率を低下させる原因となっている。

現在のベトナムではボイラー等の定期点検や改修・修理による停止の他に、故障による緊急停止もあり、停電が多い。このため、工場の技術者が力を合わせてトラブルの原因を究明し、対策案を作成し、関係者と協議のうえで実行し、その成果を確認しつつ更なる可能性を探究することにより、発電効率を維持向上させることができる。

5.1.1 生産プロセス

現在主流の微粉炭発電では、石炭をミル（微粉炭機）により中央値50ミクロン程度に粉碎した後に燃焼用空気と共にバーナーからボイラー内に噴射し、燃焼している。ボイラーで発生した蒸気を蒸気タービンに送り、タービンに直結した発電機を回転させることにより電気を作り出している。

5.1.2 大気汚染対策

石炭燃焼では、ばいじん、SO_x、NO_xが発生するので、集じん機、排煙脱硫装置、排煙脱硝装置を設置することが必要となる。一般的な排ガス処理装置の設置を図5-1に示す。排ガスは、初めに、排煙脱硝装置でNO_xが除去され、次に集じん機でばいじんが除去され、最後に排煙脱硫装置でSO_xが除去される。排煙脱硝装置にはアンモニア接触還元装置が、集じん機には電気集じん機が、排煙脱硫装置は石灰スラリー吸収法が用いられることが多い。

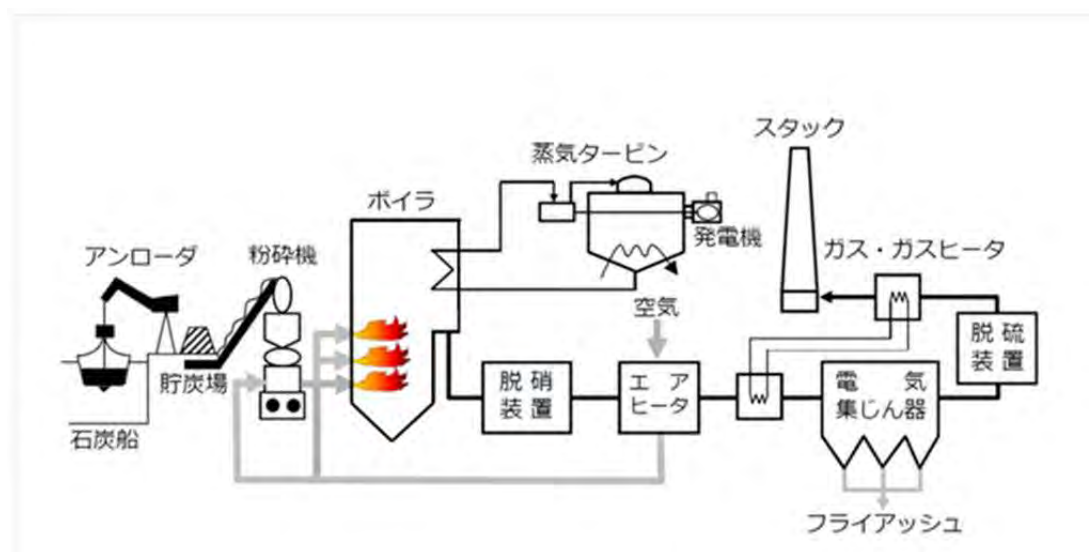


図 5-1 石炭火力発電所における排ガス処理システム[1]

微粉炭燃焼ボイラーで生成する NO_x の 90% 以上は fuel NO_x で、thermal NO_x の割合は少ない。このため、微粉炭燃焼用の低 NO_x バーナーが開発されている。低 NO_x バーナーによる NO_x 低減に加え、二段燃焼法を用いることで、更に NO_x を低減させることができる。二段燃焼法は燃焼が不安定になり、ばいじんや CO が発生しやすいので注意する必要があるが、日立グループは、HT-NR (Hitachi- NO_x Reduction) バーナーと二段燃焼を組み合わせて、 CO を増加させずに NO_x 排出量を従来の技術に比べて 40% 以上低減した[2]。

5.1.3 省エネルギー（ CO_2 削減）対策

本章のすべての業種に共通することであるが、省エネルギー対策（燃料使用量の減少）は大気汚染物質の排出抑制にも結び付くものである。

火力発電所の省エネルギー対策は、基本的にはボイラー、タービン、電気、補機・配管関係に大別される。これらについては既に多くの対策メニューが提起されているので、これらを念頭に、発電所技術者には日常から改善を意識した行動が求められる。以下、稼働中の施設に関する対策メニューを中心に例示する。

a. ボイラー

省エネルギーのためのボイラーの燃焼管理としては、適正空気比燃焼、伝熱面へのすすの付着やスラッシング(slagging)、ファウリング(fouling)による伝熱障害によるボイラー効率低下の防止、日常点検によるトラブルの未然防止やトラブル発生時の迅速な回復（再起動

時の燃料損失の削減)などが挙げられる。表 5-1 に対策例を示す。

表 5-1 ボイラーの省エネルギー対策

	対策メニュー	内容
1	燃焼改善による燃費節減	空気過剰率の低減、微粉炭粒度の微小化による灰中未燃分の減少
2	スートブロー実施による熱伝導率、排熱回収率の向上	過熱器・再過熱器のスートブロー実施、節炭器へのスートブロー設置
3	火炉、過熱器、節炭器等の伝熱面洗浄	伝熱面の化学薬品洗浄により熱伝導率を修復し、ボイラ効率を向上(伝熱管の破損防止効果もあり)
4	ボイラーブロー水の熱回収	給水加熱に利用
5	空気予熱器のエレメント洗浄及び不具合エレメントの交換	廃熱回収効率の修復
6	運転シミュレーターの活用	シミュレーションによる事故停止回数の減少(起動時の燃料損失の削減)

b. タービン

定期点検時やトラブルが予見される場合に実施する。表 5-2 に対策例を示す。

表 5-2 タービンの省エネルギー対策

	対策メニュー	内容
1	高効率タービンへの取替 ^{※4}	ローター、翼、内部ケーシング、ガバナーの一体取替
2	コンデンサー周りの配管の空気漏れ低減 ^{※5}	真空度を上げ、タービン効率を向上させる
3	高圧タービン経年劣化箇所の改善 ^{※6} によるタービン効率の修復	シールフィン取換、スケール除去
4	低圧タービン対策の実施 ^{※7} によるタービン効率の向上	動静翼の新製、動翼にフィンの設置、ダイヤフラム取替、内車室取替
5	給水加熱器の更新	ボイラーブロー水の熱回収(給水加熱に利用)
6	スチームトラップの採用	蒸気漏洩対策

c. 電気

変圧器は、旧型であるほどエネルギー消費効率が悪く、無駄なエネルギーロスを発生させているので、20 年以上使用している場合には、早めに高効率変圧器へ交換することが望ましい。表 5-3 に対策例を示す。

表 5-3 電気設備の省エネルギー対策

	対策メニュー	内容
1	発電機の更新	タービンと一体更新によるプラント効率向上
2	高効率変圧器への交換	消費電力の低減
3	空調機、冷凍機等の機能修復	メタライザーによる機能修復・延命

d. 補機・配管

補機・配管の消費電力の低減対策は、発電所内で消費される電力量の割合（所内率）の低減に寄与する。表 5-4 に対策例を示す。

表 5-4 補機・配管の省エネルギー対策

	対策メニュー	内容
1	給水ポンプの回転数制御	給水量の変動に追随した電力消費によるムダの抑制
2	ポンプ等の表面樹脂コーティング	復水ポンプ、冷却水ポンプ等の表面樹脂コーティングによる 摩耗修復と延命・性能維持 ¹
3	コンプレッサー等の摩耗修復	メタライザーによる摩耗修復による延命・性能維持
4	エアーコンプレッサーの高効率化	消費電力の削減
5	FDF、IDF の取替え	軸流押込ファン(FDF:forced draft fan)、軸流排ガス誘引通 風機(IDF:Induced Draft Fan)の高効率化による省エネ
7	FDF、IDF の回転数制御	風量の変動に追随した電力消費でムダの抑制
8	屋外ダクトの空気漏入防止	IDF の動力のムダの抑制
9	主要配管の保温強化	主要配管からの放散熱量の低減
10	台数制御	必要な数のポンプ、ファン、コンプレッサーのみを動かし、無 駄な運転を抑制

e. 超臨界圧ユニット

火力発電ではボイラーで高温・高圧の蒸気を発生させ、蒸気タービンを動かして電気を得る。この時、蒸気の温度と圧力が高い方が発電効率が高くなる。水は臨界点（物質の気相―液相間の相転換が起こりうる範囲の限界、374℃、22.6MPa）に達すると沸騰することなく、超臨界流体と呼ばれる特別の流体となるので、このことを利用した超臨界圧ユニット（SC）や超々臨界圧ユニット（USC）と呼ばれる高効率火力発電技術が開発されている。USC は従来の亜臨界圧の蒸気を使用するボイラーと比較すると、石炭消費量を 10%以上削減することが可能である。このため、日本では SC や USC がほとんどの発電所で使用されており、そのうち USC は石炭火力発電所の半数以上の設備で採用されている。

USC は、日本が 1990 年代に世界に先駆けて国家プロジェクトとして開発を行い、現在は、蒸気温度を 700℃クラスとする先進超々臨界圧（A-USC）ユニットの開発がスタートしており、2020 年くらいには実用化を目指している[3]。

5.2 鉄鋼業

5.2.1 生産プロセス

鉄鋼業の生産プロセスは鉄鉱石から高炉で銑鉄をつくり、更に鉄鋼製品まで製造する銑鋼一貫製鉄と、鉄のスクラップを原料として電気炉で熔解して鉄鋼製品を作る電気炉製鉄に分かれる。

(1) 銑鋼一貫製鉄

鉄鉱石から鉄鋼材料を生産する銑鋼一貫製鉄プロセスは、図 5-2 で示すとおり、高炉で還元反応により銑鉄をつくる「製鉄」と、銑鉄を転炉で製錬して圧延、熱処理等の加工を材料に加え多様な特性を有する鉄鋼製品を生産する「製鋼」の二段階のプロセスである。鉄鉱石の還元反応では CO_2 を発生する。この還元反応を推進させるための熱源が必要となる。さらに鉄鋼製品を作り出すまでには、鉄鋼材料の精製、加工など多くのプロセスが必要となり、この間の加熱等に燃料を消費する。

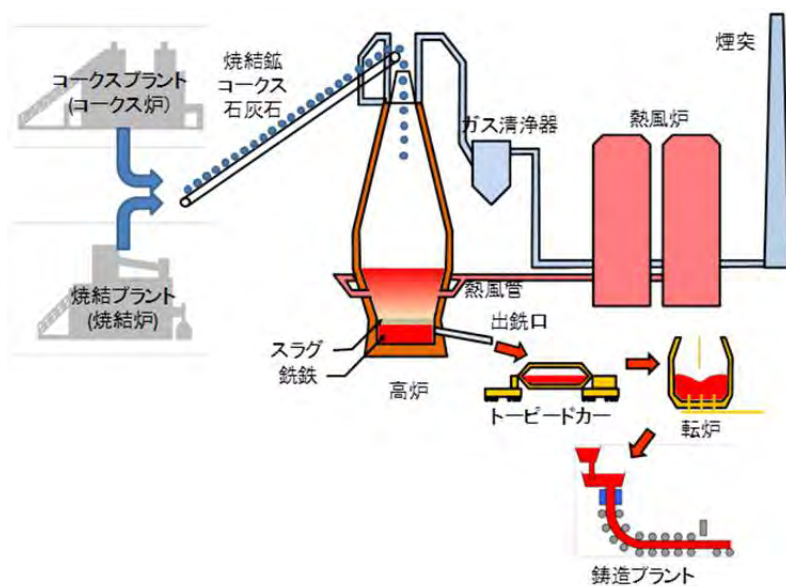


図 5-2 銑鋼一貫製鉄のプロセス

(2) 電気炉製鉄

電気炉製鉄の製造プロセスは図 5-3 に示すとおり、鉄のスクラップを原料として電気炉で熔解して casting、圧延工程を経て鉄製品を製造する。最も一般的な電気炉のアーキ式電気炉は、蓋の部分に黒鉛電極が取り付けられている。この電極に電流を流すと電極と炉中の鉄

スクラップとの間にアークを生じ、このアーク熱により鉄スクラップが溶かされる。電気炉では酸素を電気炉に吹き込み反応熱で炉の温度を上昇させる酸化精錬と、スラグを外部に出してからコークスと石灰を投入して脱酸、脱硫を行う還元精錬が行われる。

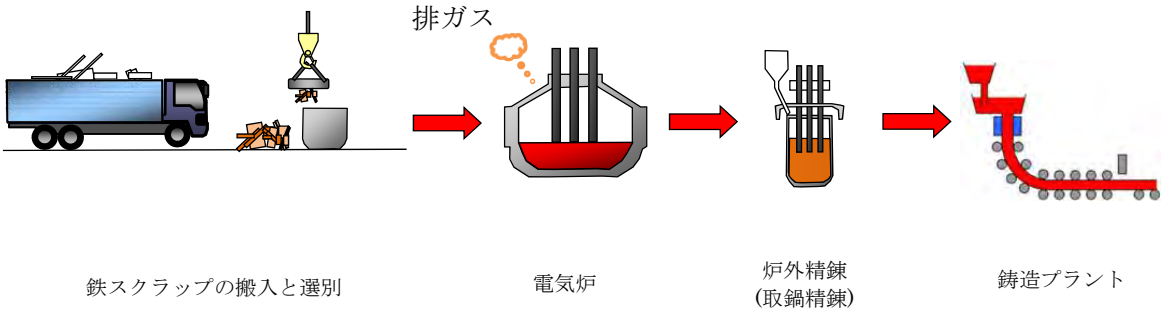


図 5-3 電気炉製鉄のプロセス

5.2.2 大気汚染対策

(1) 銑鋼一貫製鉄における大気汚染対策

銑鋼一貫製鉄では多くの燃焼設備が用いられており、それぞれの設備で導入されている排ガス対策を表 5-5 に示す。

表 5-5 銑鋼一貫製鉄における排ガス処理[4]

製造プロセス	主な排ガス対策
焼結工程	電気集じん機、排煙脱硫装置、脱硝装置
コークスプラント	コークス炉空冷炉蓋、コークス炉ガス脱硫
高炉	ベンチュリースクラバー、電気集じん機
転炉	建屋集じん
鋳造・圧延	低 NO _x 燃焼

(2) 電気炉製鉄における大気汚染対策

電気炉による溶融工程でスクラップ鉄を電気炉に投入する際、蓋の開閉により粉じんや揮発性の物質が炉外へ放出される。このため、電気炉から発生する排ガスの直接処理と、建屋内に漏れた排ガスを吸引処理する建屋集じんが行われている。図 5-4 に処理フローを示す。

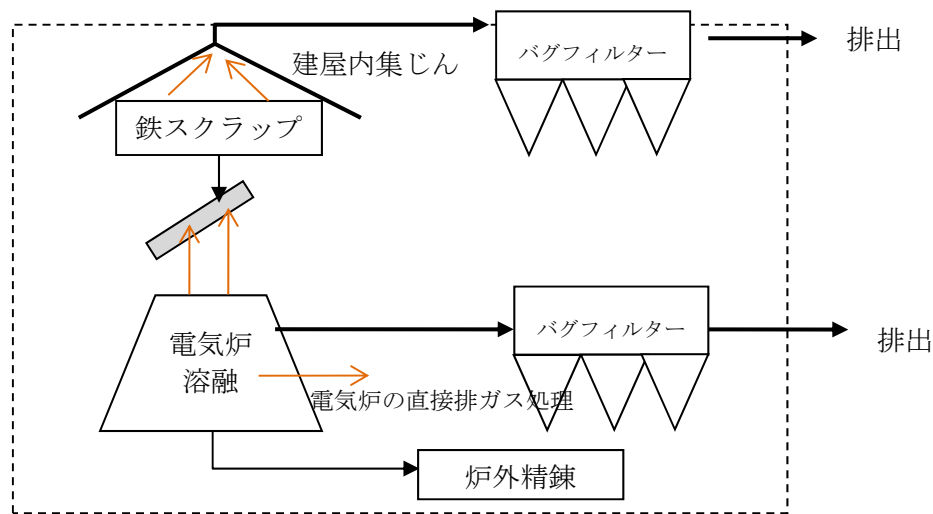


図 5-4 電気炉製鉄における排ガス処理

5.2.3 省エネルギー（CO₂削減）対策

（1）銑鋼一貫製鉄における省エネルギー（CO₂削減）対策

a. 焼結鉱の新製造技術

製鉄プロセスにおけるエネルギー消費量や CO₂ 排出量は、生産量の増減に大きく影響する。このため日本の JFE スチールでは、操業技術の向上や設備投資による改善効果をより的確に把握するために「原単位（単位生産量当たりのエネルギー消費量及び CO₂ 排出量）の削減」を重視して、省エネルギー活動に取り組んでいる。省エネ設備投資や新しい製鉄原料製造技術「Super-SINTER®OXY」※などの技術開発により、原単位で見ると、2014 年度のエネルギー消費原単位は 22.6GJ/t-スチールと、1990 年度比で 20%削減、CO₂ 排出原単位は 2.00t- CO₂ /t-スチールと、1990 年度比で 19%削減している[5]。

※ 高炉で使用する塊状の焼結鉱は、粉状鉄鉱石と石灰石に凝結材である粉コークスを混合した後、焼結炉に装入・点火し、焼結反応を進行させて製造する。高品質の焼結鉱を製造するためには、焼結時の温度を 1,200℃から 1,400℃の間で一定時間維持する必要がある。Super-SINTER®OXY は、最適な温度を従来よりも 2 倍以上の時間保持することができる酸素・水素系ガス（都市ガス）の複合吹込み技術である。これにより、劣質原料使用時の課題であった焼結鉱の強度を 2%改善することで歩留まりが向上し、また、焼結反応速度の向上によって、焼結炉の生産性を従来より 5%向上させることができる。また、高炉用原料として、コークス比低減に有効な高品質焼結鉱の使用比率を向上させることができる。

（2）電気炉製鉄における省エネルギー（CO₂削減）対策

a. 環境対応型高効率アーク炉

ここでは、アーク式電気炉の省エネ対策として、排熱を効率的に回収する日本の最先端技術を紹介する。

“環境対応型高効率アーク炉「ECOARC」”は、省エネルギーとダイオキシン類の排出抑制を目指してスチールプラントック株式会社が開発したものである。日本における通常のアーク炉の電力使用原単位 400kWh/t と比べて、ECOARC は 40%以上の省エネ実績がある。ECOARC の特徴は、電気炉本体に原料を供給する予熱シャフトの中に、スクラップが連続して存在する状態を保ち、スクラップが熱回収しながら熔解するのでエネルギー効率が非常に高いことである。図 5-5 に ECOARC システムの概略を、図 5-6 に余熱原理を示す。

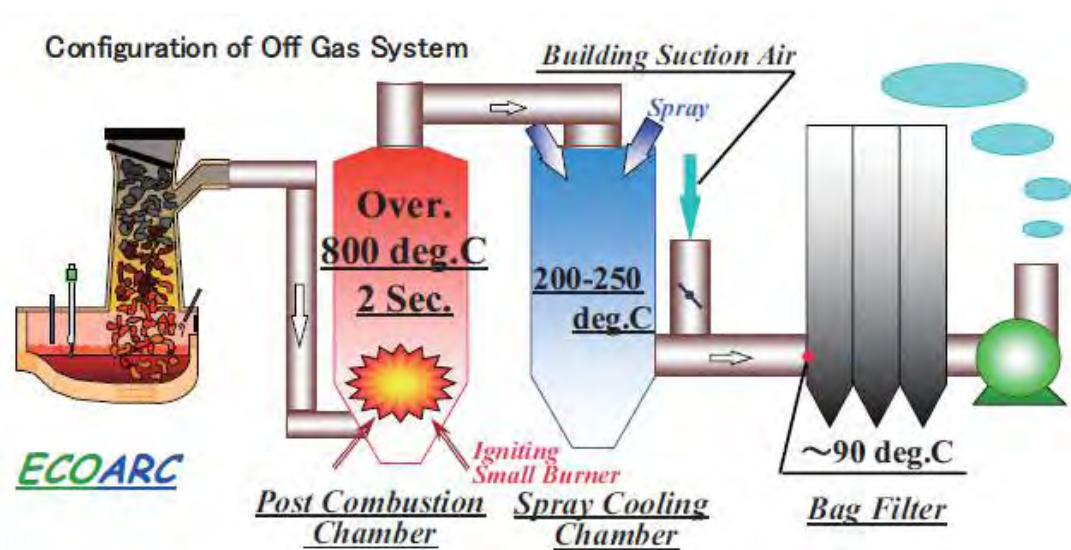


図 5-5 ECOARC システムの概要[6]

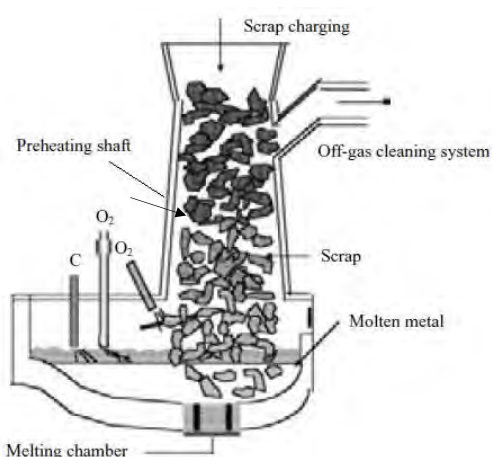


図 5-6 ECOARC の余熱原理

b. コヒーレントバーナー (coherent burner)

酸素とともにコークス粉や化石燃料を同時に吹込む超音速バーナーである。金属酸化熱やコールドスポット部のスクラップのカッティング効率向上による溶解促進により、省エネルギーを達成できる。

c. ファジィ論理による電極制御システム

電流、電圧、アーク抵抗などの複数の制御因子を取り込み、オートメーションで電気炉の操業を最適化する制御技術である。

d. 取鍋※用の酸素バーナーによる予熱方式

酸素バーナーは、空気の代わりに酸素を使用するため、燃焼後の排ガス量は約 25%まで低減する。このため火炎温度がより高温となり伝熱効率が上昇すること、及び排ガス量が減少し排ガスとともに排気される熱ロスが減少することより、省エネルギーが可能となる。

※ 電気炉で溶融した鉄をすくって型に流し込むためのひしゃくのような容器

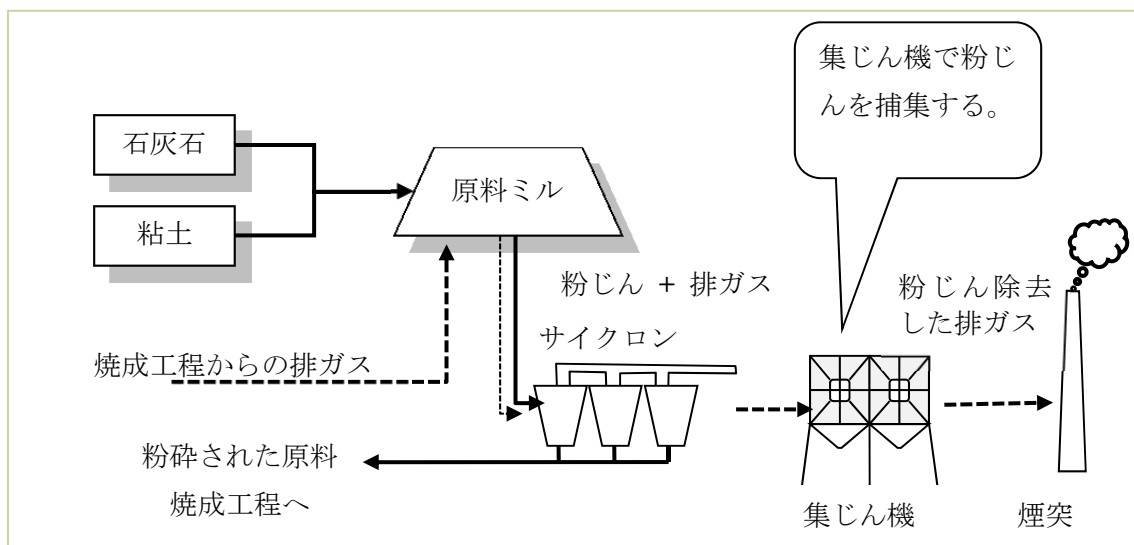


図 5-8 セメント製造における排ガス処理

5.3.3 省エネルギー（CO₂削減）対策

セメント産業は燃料多消費産業であり、世界的に見ても電力、鉄鋼に次ぐ大量の CO₂ 排出産業である。このため、省エネルギーによって大きな CO₂ 削減効果が期待できる。

a. 代表的な省エネ対策技術

設備改善による方法として、従来設備に対して日本の代表的な対策技術を導入した場合の 1 基あたりの省エネ効果と投資額を表 5-6 に示す。

最先端の設備や技術の導入は、省エネルギーによるコスト削減という直接的な経済効果に加えて、製品の品質向上による競争力の強化などの二次的な経済効果、CO₂ や大気汚染物質排出削減による環境改善効果もあるので、このことについても考慮する必要がある。

表 5-6 代表的な対策技術と従来設備に対する 1 基あたりの省エネ効果と投資額[8]

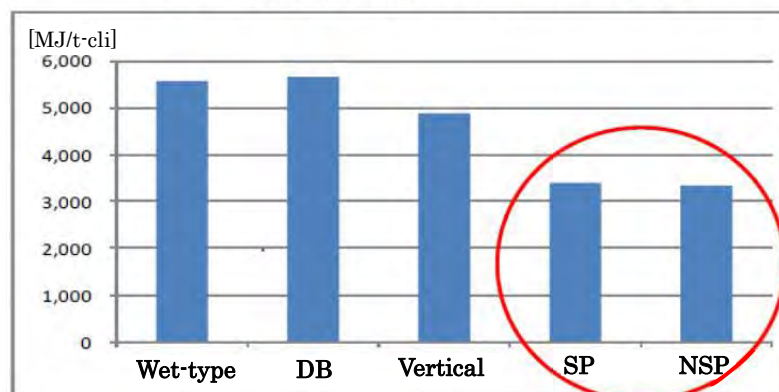
	対策技術	内容	省エネ率 (%)	省エネ効果 [原油換算 kl]	投資額 [百万 \$]
①	SP・NSP焼成方式	熱効率の向上	40	77,000	300
②	廃熱発電	廃熱回収	25	6,000	30
③	エアービーム式クーラー	熱回収効率向上	3	3,000	4
④	堅型ミルによる原料粉砕	粉砕効率向上	30	1,000	25
⑤	堅型ミルによる石炭粉砕	粉砕効率向上	25	1,000	10
⑥	堅型ミルによるスラグ粉砕	粉砕効率向上	30	1,000	8
⑦	ローラーミル型予備粉砕設備	粉砕効率向上	15	1,000	10
⑧	セパレータの高効率化	分級効率向上	5	400	5

(100 円/US ドルとして換算)

〔備考〕・1 基あたりの設備規模については、100 万t-クリンカ/年のプラントを想定

・投資額は、設備の調達先や設置のローカル業者によって大幅な低減の可能性もある。

図 5-9 は、キルンのタイプ別の熱エネルギー原単位を示したものである。日本では 1990 年代にすべてのキルンが世界最先端の NSP 又は SP に転換されているが、Vertical タイプなどの旧式のキルンを使用している国では大きなエネルギー削減ポテンシャルがあることがわかる。



- Suspension Pre-heater (SP) and New-Suspension Pre-heater (NSP) kiln are the most efficient as the cement baking method
- DB: Dry-type with the Boiler (It is installed in the 1950's from 1940.

図 5-9 キルンタイプ別熱エネルギー原単位[8]

b. 廃熱発電設備

NSP（ニューサスペンションプレヒーター）方式の普及によりキルン 1 基当たりの生産規模が増大したことから、約 400℃のプレヒーター排ガスと約 250℃のクリンカクーラー排気の熱を廃熱ボイラーで回収し、蒸気タービンによる発電で電気に変換してエネルギーを

回収する廃熱発電設備が、日本では 1980 年頃から急速に普及した。その理由は、クリンカ 1 t 当たりの発電可能量が平均して 35~40kW であることから、5,000 t/day のキルンで時間当たり約 8,000 kW の出力が可能となり、投資採算に見合うものとなったことによる。

c. 高効率クリンカクーラー

ロータリーキルンから排出された高温クリンカはグレート(grate)上に落下するが、クリンカの粒度の偏りや不均一な層厚の状況が生じる。このため従来の空気室単位で冷却空気を供給する方式では、グレート位置によって冷却空気の通風状態が異なり、熱回収に限界があることから開発された技術であり、エアービーム式など様々なタイプがある。

d. 堅型原料ミル

セメント原料の粉砕には多大なエネルギーを要する。堅型原料ミルは円盤上のテーブルの間で粉砕する方式で、初期に使用されたチューブ式ミルに比べ、エネルギー効率が高い設備として開発された。

e. 廃棄物の燃料／原料としての利用

廃棄物をセメント製造の燃料や原料として利用することは、CO₂排出削減のみならず廃棄物問題や資源問題の解決に大きく貢献するものである。日本では、高炉スラグ、製鋼スラグ、石炭灰、副産石こう、汚泥、スラッジ、燃えがら、ダストなどの廃棄物が大量に利用されている。ベトナムにおいても、廃棄物の有効利用のための制度構築に向けて、検討する余地がある。

5.4 化学工業

5.4.1 化学肥料製造

(1) 生産プロセス

植物の成長には窒素、リン、カリウムの 3 元素が必要である。ここでは、窒素肥料の製造プロセスを取り上げ、説明する。図 5-10 に窒素肥料の主成分である硫酸アンモニウム（硫安）の原料となるアンモニアの合成工程を示す。アンモニアの製造は 20 世紀の初めにドイツのハーバーとボッシュにより開発された窒素ガスと水素の反応によるアンモニアの合成が一般的である。

なお、CO₂ 除去工程で発生した CO₂ は、アンモニアとともに尿素の原料として利用される。これらの工場では、アンモニア合成プラントと尿素合成プラントが併設されることが多い。

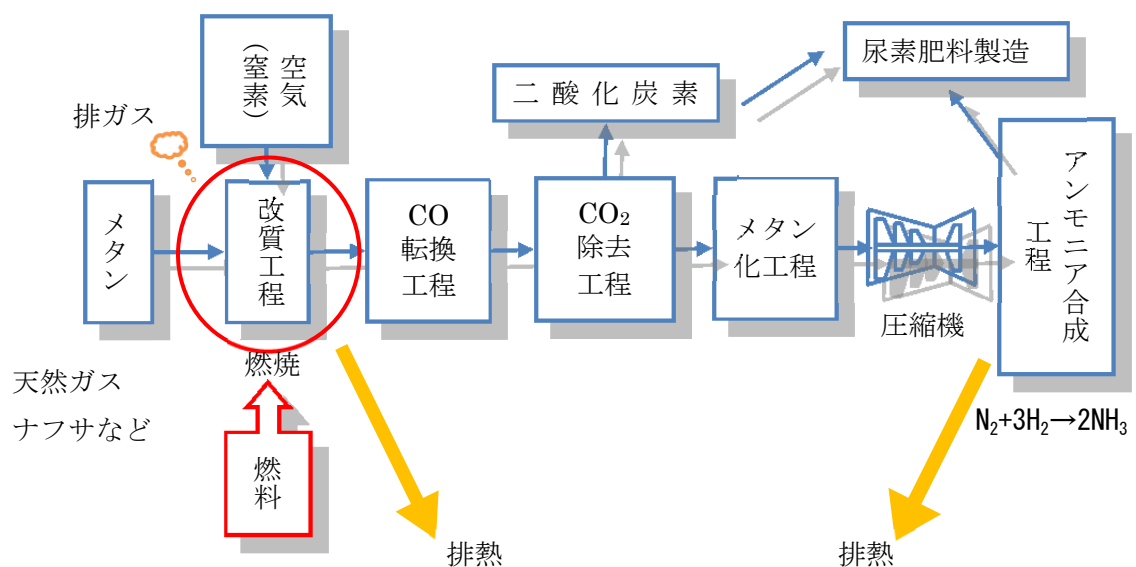
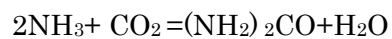


図 5-10 アンモニア製造のプロセス

(2) 大気汚染対策

アンモニアの製造プロセスにおいて大気汚染防止のために重要な工程は、原料の改質工程で燃焼させる燃料の選定及び燃焼管理である。燃料に天然ガスなどを使用し、燃焼管理を適正に行えば、排ガス中のダスト、NO_x、SO₂濃度を下げることができる。

また、改質工程、アンモニア合成工程で発生する排熱を回収できれば、省エネルギーと温室効果ガスの排出削減を行うことができる。

(3) 省エネルギー（CO₂削減）対策

窒素肥料の原料であるアンモニアを製造している昭和電工（株）川崎事業所にヒアリングした省エネルギーの内容を紹介する。

事業所内の生産設備へ蒸気供給を行っているボイラー3基を、最も効率が良い発電用の1基に集約した。また、事業所内で廃熱が発生する複数のプラントから熱回収を行えるように配管した。一例として、アンモニアの合成塔で発生する熱を、発電用ボイラーの復水の加熱用に利用し、主ボイラーの燃料使用量の削減を図っている。

5.4.2 石油精製

(1) 生産プロセス

原油は、まず常圧蒸留装置において、沸点の差により、ガス分、LPG、ナフサ、灯油、軽油および残油留分に分離される。これらの沸点範囲は、表 5-7 のとおりである。分離された留分は、そのままでは製品となるものはほとんどなく、さらに水素化精製装置、接触改質装置、接触分解装置、重油脱硫/分解装置等で処理される。これらの精製された留分を調合することにより、石油製品が製造される。

また製油所内で発生したガスは、主に各装置の燃料として利用される。水素化精製装置等で発生した硫化水素は、硫黄回収装置で硫黄に転化し回収される。

表 5-7 各留分の沸点範囲[9]

ガス分	メタン（沸点-163℃） エタン（沸点- 89℃）
L P ガス	プロパン（沸点- 42℃） ブタン（沸点- 1℃）
ガソリン	35～180℃
灯油	170～250℃
軽油	240～350℃
残油	350℃以上

（2）大気汚染対策

① 硫黄酸化物対策

製油所においては、原料油に含まれる硫黄分を除去する精製プロセスとして水素化精製や水素化脱硫装置、ならびに重質油の分解プロセスとして接触分解装置や水素化分解装置が導入されている。これら装置からの副生ガスは燃料として使用されるが、硫化水素（ H_2S ）が多量に含まれ、そのまま燃焼すると SO_2 を排出することになる。製油所では、次のような装置を設置し硫黄酸化物による大気汚染を防止している。

a.硫黄回収装置

硫黄回収装置（SRU : Sulfur Recovery Unit）は、副生ガス中に含まれる H_2S がガス洗浄設備で吸収分離される工程と、分離された高濃度の H_2S から単体硫黄として回収される工程からなる。回収された硫黄は主に硫酸原料として出荷される。

b.テールガス処理装置

SRU の硫黄回収率は 97%前後であるため、SRU からのオフガス（テールガス tail gas）は、テールガス処理装置（TGTU）に送られ、残りの硫黄分が回収される。これにより総回収率は、99.90%以上にまで改善される。

c.排煙脱硫装置

ボイラー等の排煙に含まれる硫黄酸化物を除去するために排煙脱硫装置が設置されている。

②窒素酸化物対策

製油所で採用される主要な窒素酸化物対策は、低 NO_x バーナーとアンモニア接触還元

よる排煙脱硝装置である。一部で二段燃焼法、排ガス循環法も採用されている。

(3) 省エネルギー（CO₂削減）対策

製油所には、既述のとおりエネルギーを消費する様々な設備が併設されており、省エネ対策の内容も多様である。省エネ対策については設備単体の対策だけでなく、これらの設備の間の熱の相互利用も重要となる。表 5-8 に製油所における精製設備やユーティリティ設備（スチーム及び電気）を対象とする省エネ対策の例を示す。

表 5-8 製油所における省エネ対策の例[10]

1	熱の有効利用	高効率熱交換器の導入、精製装置間の相互熱利用、等
2	高度制御・高効率機器の導入	コンピュータによる高度制御の推進、コージェネレーションシステムの導入、等
3	動力系の効率改善	高効率モーターへの置き換え、等
4	プロセスの大規模な改良・高度化	複数装置のインテグレーション／ホットチャージ化、等

6 章 工場における環境管理

6.1 全社的な環境管理の取組

企業活動に伴う環境汚染の要因や対策を最も良く知り得るのはその企業自身であり、その効果的な低減対策を行い得るのもその企業である。このため企業は、経営層から従業員にいたるまで、環境汚染防止の重要性を認識した上で、実効性のある適切な環境管理を自発的、主体的に進めることが必要である。このことにより、環境汚染を未然に防止し、あるいは問題を早期に発見し、是正していくことが可能となる。

効果的な環境管理のためには、企業は以下の要素を企業活動の要件として認識し、取り組んでいくことが必要である。①経営者が環境管理の重要性を理解し、全社的な環境管理の方針を定める。②経営者は、適切な環境管理を実施するための組織を構築するとともに、環境汚染防止設備を整備する。③全従業員は、環境汚染の発生のリスクを認識し、環境汚染の未然防止を図る。④環境管理上の不適正な事象が発生した場合には、早急に是正措置を講じるとともに、原因を究明し、今後の対処方針を定める。⑤地方行政部門や地域住民等と日頃から情報及び意見の交換を行い、環境汚染防止活動について認識の共有化を図り、関係者間の信頼関係を構築する。

6.2 環境管理体制の整備と環境管理者の役割

6.2.1 環境管理組織の設置

適切な環境管理を実施するためには、組織として取り組む必要がある。この環境管理組織では、トップから中間管理者を経て現場の作業者にいたるまで、その各々が職務に応じた責任と役割を持つ環境管理者として活動することが求められる。環境管理組織は、環境管理総責任者、環境管理の専門技術者、環境管理施設の運転担当者から構成するものとし、ここでは、排ガスにかかる各種環境管理者の役割について述べる。

6.2.2 各環境管理者の役割

(1) 環境管理総責任者の役割

環境管理総責任者は、環境管理のための予算や人事の権限を持ち、また、緊急時には操業の縮小・停止などを決定しなければならないため、環境管理部門だけではなく生産管理部門にも権限を有する経営層あるいは工場長を充てる必要がある。

その総括的な職務は、環境管理計画の策定、排ガス処理施設の設置、その適切な運用を行うための人員の配置、それらに伴う社内規定の制定、予算の確保、緊急時等の対策計画の策定などである。

(2) 排ガス関係の環境管理技術者の役割

環境管理技術者は、環境管理総責任者の指揮統括の下で、大気汚染防止に関する高度に専門技術的内容にわたる管理業務を行う。また、排ガス処理施設運転員を指揮、監督して適切な大気汚染防止業務を実施させなければならない。

排ガス関係環境管理技術者が管理する具体的な職務は次のようなものである。①使用する燃料や原料の点検管理、②燃焼施設及びその他の排ガス排出施設の点検管理、③排ガス処理施設の適切な運転及び維持補修の管理、④排ガスの測定及びその記録の管理、⑤測定機器の点検及び維持補修の管理、⑥排ガスの異常排出時における応急措置の実施、⑦行政機関へのインベントリなどの報告や立入検査への対応などである。これらの実施状況に関しては、適宜、環境管理総責任者へ報告する。

これらの業務を適切に実施するためには、環境管理技術者には、これらの事項に関する技術的知識とともに関係する各種の法律や規則についての知識も必要とされる。したがって、工場の環境管理及び環境汚染防止活動が実効を上げることができるか否かは、環境管理技術者にかかっているといっても過言ではない。

(3) 排ガス処理施設運転員の役割

排ガス処理施設運転員は、環境管理技術者の指揮監督の下で、排ガスに関する技術的内容にわたる環境汚染防止業務を実施する。排ガス処理施設運転員が実施する具体的な職務は次のようなものである。①排ガス処理施設の適切な運転及び日常点検、②排ガスの測定及び結果の記録、③測定機器の日常点検及び調整、④排ガスの異常排出時における応急措置の実施、⑤行政機関の立入検査への対応などである。これらの実施状況に関しては適宜、また、異常を発見した場合は直ちに、環境管理技術者に報告し、判断を仰ぐ。

6.3 職員の能力開発

環境管理技術者は率先して、自ら又は外部研修に参加するなどして、環境関連法規の最新情報を把握するとともに、最新の技術情報を収集し、修得する。これらの知見については、報告書を環境管理総責任者に提出するとともに、排ガス処理施設運転員に対しては環境管理技術者が講師となって社内研修を実施するなどして、新しい知識を関係者と共有するとともに排ガス処理施設運転員の環境汚染防止対策能力を向上させる。

また、緊急時において被害の拡大を防止するための対応措置については、定期的に排ガス処理施設運転員及び環境管理技術者も含めた実地訓練を行うことが効果的である。社内研修や実地訓練は、1年に1回程度は必要である。

6.4 地方行政部門及び地域住民とのコミュニケーション

企業の存在は地域経済を潤す一方、住民の環境意識の高まりつつある現在、企業が持続的に発展していくためには地域住民の理解が欠かせない。事業者は法令に基づく諸規制を誠実に順守すべきことはもちろんであるが、同時に、企業の社会的責任（CSR：Corporate Social Responsibility）に基づき、自発的に環境保全活動を行うことも期待されている。

環境報告書などによる環境情報の開示は、CSR 活動の重要な柱の一つである。その中で自発的かつ継続的な改善を目指す姿勢を示すことにより、企業の環境保全活動を理解してもらい、地方行政部門及び地域住民の信頼を得ていくことができる。このことは、企業の社会的評価を高め、企業価値の向上に結びつくものである。

6.5 日本の公害防止管理者制度の例

日本には、公害防止管理者制度という 40 数年の歴史を有する特有の制度があり、日本の環境汚染問題の解決に大いに貢献してきた。ここでは、企業における環境管理組織の例として紹介する。

6.5.1 概要

1971 年の産業構造審議会の答申に基づき制定された法律において、適用を受ける対象工場(特定工場)は、公害防止管理者、公害防止主任管理者及び公害防止統括者から構成される公害防止組織を設置することにより公害防止組織の整備を図り、公害防止に資することが義務付けられた。

この法律における特定工場とは、日本の標準産業分類における製造業、電気供給業、ガス供給業及び熱供給業のいずれかの業種に属している工場で、公害の主な発生源として考えられている一定の規模以上のばい煙発生施設、汚水排出施設、騒音・振動発生施設、ダイオキシン発生施設などを設置している工場である。また、公害防止統括者は公害防止に必要な業務を統括管理する者、公害防止主任管理者は公害防止管理者を指揮するとともに技術的事項について公害防止統括者を補佐する者、公害防止管理者は公害防止に関する技術的業務を管理する者である。また、これらの工場の従業員は、公害防止統括者、公害防止主任管理者や公害防止管理者が職務上必要な指示に従わなければならない。

(1) 公害防止管理組織の構成

公害防止組織の例を図 6-1 に示した。ここで、公害防止主任管理者は、下記に述べる大規模のばい煙発生施設及び大規模の汚水等排出施設の両方を設置する工場において、公害防止統括者と公害防止管理者の中間に配置される。

(2) 特定工場について

特定工場とは、前述したように業種と保有する施設の両面から定義されている。すなわち、製造業（物品の加工業を含む。）、電気供給業、ガス供給業及び熱供給業のいずれかに属している工場で、一定の規模のばい煙発生施設、汚水排出施設、騒音・振動発生施設、ダイオキシン発生施設などを設置している工場である。4つの業種は、ほとんどの工場をカバーするが、建設現場、病院、学校、食堂等は他の別個の法律の対象となっている。

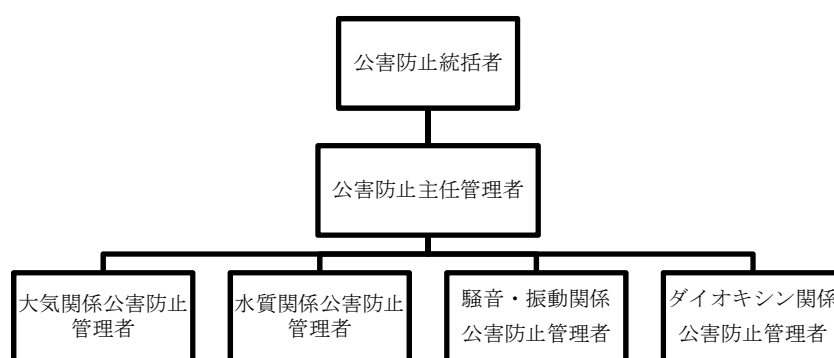


図 6-1 ばい煙及び汚水を排出する大規模工場における公害防止組織の例

ばい煙発生施設又は汚水排出施設を保有している特定工場は、排出ガス量又は排出水量の規模と大気汚染防止法及び水質汚濁防止法で規定されている有害物質を発生又は排出する施設の有無によって区分される。規模の区分は、表 6-1 のとおりである。有害物質を発生又は排出する施設を設置している工場は、規模の大小にかかわらず特定工場とされる。

表 6-1 特定工場の規模別区分

	排出ガス量	排出水量
大規模特定工場	40,000 m ³ /時以上	10,000 m ³ /日以上
小規模特定工場	40,000 m ³ /時未満	10,000 m ³ /日未満

(3) 公害防止管理者等の区分

公害防止管理者は、対象とする排出物等の種類によって、大気関係、一般粉じん関係、特定粉じん関係、水質関係、騒音・振動関係、ダイオキシン類関係、公害防止主任管理者に区分される。大気関係及び水質関係公害防止管理者は、さらに、表 6-2 に示したように、

工場の規模及び有害物質発生・排出施設の有無によって、それぞれ、4 種類に区分され、合計 13 の種類に区分されている。ここで、大気関係又は水質関係の第 4 種公害防止管理者は、排出ガス量が 10,000 m³/時以上又は排出水量が 1,000 m³/日以上の特定制場が必要とされる。また、特定粉じんは、アスベストに係るものである。

表 6-2 大気関係及び水質関係公害防止管理者の区分

	大規模特定制場	小規模特定制場
有害物質発生施設：有	第 1 種公害防止管理者	第 2 種公害防止管理者
有害物質発生施設：無	第 3 種公害防止管理者	第 4 種公害防止管理者

(4) 公害防止管理者等の職務

公害防止統括者、公害防止主任管理者及び公害防止管理者の職務は法によって定められている。ここでは、ばい煙発生施設設置工場における職務について紹介する。

- ・公害防止統括者の職務：公害防止に必要な業務が適切に実施されるように措置を講じ、その実施状況を監督する。すなわち、適切な処理施設を設置するための予算を確保したり、公害防止のための人員を確保したりしなければならない。実務面では、ばい煙発生施設の使用法の監視やばい煙処理施設等の維持・管理、排出ガスの測定・記録の管理、事故及び緊急時の措置の管理を行う。
- ・大気関係公害防止管理者の職務：使用する燃料又は原材料の検査、ばい煙発生施設の点検、ばい煙処理施設等の操作・点検及び補修、ばい煙量又はばい煙濃度の測定の実施及びその結果の記録、測定機器の点検及び補修、特定制場等の事故時の応急措置の実施、緊急時の、ばい煙量又はばい煙濃度の減少・ばい煙発生施設の使用制限その他の措置を実施する。
- ・公害防止主任管理者の職務：公害防止主任管理者は、前述したように排出ガス量及び排出水量がともに大規模の工場において、排出ガス及び排出水の両方の処理がバラバラに行われないように、大気及び水質の両方に係る公害防止管理者を指揮監督する。また、技術的専門家として公害防止統括者を補佐する。
- ・工場の従業員の義務：特定制場の従業員は、公害防止統括者、公害防止主任管理者、公害防止管理者がその職務を行う上で必要であると認めて行う指示に従わなければならない。

(5) 公害防止管理者等の資格

公害防止管理者及び公害防止主任管理者は、それぞれの区分ごとの国家試験に合格することによって資格を取得することができる。また、法で認められた他の技術資格、例えば技術士や計量士の特定の資格を有するもので、一定の学歴及び実務経験のあるものは、国の公認の資格認定講習を修了することにより、国家試験で取得する資格と同一の資格を取得することができる。公害防止統括者は、その工場の業務を統括管理する者、すなわち工場長等に該当する者であればよく、特に資格は要求されていない。

公害防止管理者の設置を義務付けられている工場の技術者は、資格取得のために法令や公害防止技術について学ぶとともに、工場は技術者に対し、資格の取得を促す。

(6) 試験科目

国家試験及び資格認定講習の科目・内容は同じであり、そのための標準的なテキストが準備されている。ここでは、大気関係のテキストの科目・内容を紹介する。科目は、公害総論、大気概論、大気特論、ばいじん・粉じん特論、大気有害物質特論、大規模大気特論の6科目で、第1種の公害防止管理者資格の受験のためには全6科目で合格又は修了しなければならない。第2種のためには大規模大気特論を除いた5科目、第3種のためには大気有害物質特論を除いた5科目、第4種のためには公害総論、大気概論、大気特論、ばいじん・粉じん特論の4科目で合格又は修了する必要がある。それぞれの科目の内容及び資格取得のために必要な科目は表 6-3 のとおりである。

表 6-3 国家試験等の内容と資格取得に必要な科目

試験/講習の内容		資格取得に必要な科目			
科目	内容	1 種	2 種	3 種	4 種
公害総論	環境基本法及び環境関連法規の概要、公害防止管理者法の法律体系、環境問題全般、環境管理手法等	○	○	○	○
大気概論	大気汚染防止対策の法規制、大気汚染の現状、大気汚染の発生機構、大気汚染の影響等	○	○	○	○
大気特論	燃料、燃焼計算、燃焼方法及び燃焼装置、排煙脱硫技術、窒素酸化物排出防止技術、測定技術等	○	○	○	○
ばいじん・粉じん特論	処理計画、集じん装置の原理・構造・特性・維持・管理、一般粉じん発生施設と対策、特定粉じん発生施設と対策・測定、ばいじん・粉じんの測定	○	○	○	○
大気有害物質特論	有害物質の発生過程、有害物質処理方式、特定物質の事故時の措置、有害物質の測定	○	○		
大規模大気特論	拡散現象一般、拡散濃度の計算法、大気関係環境影響評価のための拡散モデル、大気環境濃度の予測手法、大規模設備の大気汚染防止対策の事例	○		○	

6.5.2 海外における普及

この制度は、40 数年の歴史を有する日本特有の制度であり、これまでに、延べ 50 万人以上の技術者がこの資格を取得しており、現在でも、毎年約 3 万人が受験し、5000 人以上が新たに資格を取得している。このような実績はアジア各地で注目され、タイ国では環境スーパバイザ(EPCM)制度が、インドネシアでは地方分権が進んでいるために西ジャワ州が先行して環境公害防止管理者制度が、中国では企業環境監督員制度が日本の協力を得て、それぞれの国の特性を生かした資格制度が構築されている。タイ国ではこれまでに約 9,000 名が国家試験で資格を取得し、インドネシア西ジャワ州では約 500 名が資格を取得し、他の州にも普及中である。中国では約 7000 名が試行研修を修了している。また、ベトナムでもハノイ市域を対象とした水質関係の PCM 制度の試験的構築が進められてきた。

7 章 排ガスのインベントリ

7.1 インベントリ理論の概説

7.1.1 排出インベントリの概念、目的、意義

概念

排出インベントリとは、ある決められた期間の具体的な地域における汚染物質の排出量を推計し、発生源と汚染物質排出に関する十分な目録を構築することである。

目的と意義

排出インベントリは、大気汚染物質の排出源、排出を引き起こす活動の種類、環境に排出される汚染物質排出の程度及び規模を確認することを促進して、それにより、決められた範囲の空間及び時間における環境汚染問題の程度と規模を評価することを手助けする。排出インベントリは、排出量に関する規定を遵守しているか否かを評価することを手助けする。

排出インベントリは、環境質を評価、管理し、生産性を向上させる一つの重要なツールである。排出インベントリは、実際の排出状況を把握し、排出量を予測するための各計算ツールを通して、汚染源管理と排出制御の政策及び社会経済発展計画を実施することに資する。

公害防止政策の合理性及び効果は、排出インベントリの信頼性のあるデータにかかっている。

7.1.2 排出インベントリで使用される汚染物質量の計算方法

排出インベントリを実施する際に排出量を計算するために、通常以下のような方法が採用される。

(1) 発生源連続測定法 (CEMS)

実際の連続測定法は、排ガス流の中における汚染物質濃度と排ガス量を確定するために連続測定プログラムを確立することである。測定結果から、環境への汚染物質排出量は式(1)によって求められる。

$$E = C_0 \times Q_0 \times t \times 10^{-9} \quad (1)$$

ここで、

E: 環境に排出される汚染物質の排出量 (t/年)

C_0 : 標準状態 (25°C、760 mmHg) における汚染物質濃度(mg/Nm³)

Q_0 : 標準状態 (25°C、760 mmHg) における排ガス量(Nm³/h)

t: 発生源の活動時間 (h/年)

直接測定法は、発生源からの実際の排出量を確定するので、一般に他の方法よりも正確な排出量の結果を与える。しかし、以下の理由によりこの方法は適用が難しい場合がある。

- (i) 費用が高い。工業排ガスの連続測定のための費用は、一般に非常に高い。
- (ii) 短期間の測定結果では、限られた一時点の排出源の本質しか反映できない。したがって、時間的に不安定な活動システムに関して、短期観測の結果から排出量を類推するような場合、排出量計算結果に誤差が生じてしまうことが多い。
- (iii) 一部の汚染物質に対して、まだ信頼できる連続測定法がない。

信頼できる結果を得るためには、発生源の活動のすべての過程において連続測定プログラムを確立する必要があるが、技術的、費用的な条件が満たせないために実現できない場合が多い。実際には、発生源の代表的なデータを得るための一定期間の観測プログラムを設計することになる。

この方法は正確度が高いため、調査プログラムの総排出量のうちに占める割合が大きい重要な発生源に適用されることが多い。

(2) 排出係数の使用方法

排出係数とは、排出源の、ある単位活動量に対する汚染物質の排出量を表す数値である。活動量とは、一般的に生産プロセスで使用される原料の量または燃焼過程で消費される燃料の量もしくは具体的な業種の製品生産量のように、確認又は容易に測ることができる数量である。

排出係数は、業種や生産技術ごとに求められる実験的数値である。業種ごとの排出係数はそれぞれの専門的な資料で公開されている。

排出係数を使用する方法の中で、排出量は以下の3つの基本的なパラメータにより計算される。

(i) 排出係数

- (ii) 活動量に関する情報：環境に汚染物質を排出する生産活動の規模を知るための活動量データ
- (iii) 生産施設の排ガス処理装置の処理効率についての情報

一つの発生源からの排出量を、排出係数を使用して計算する際の基本的な式は以下のとおりである。

$$E = EF \times A \times [(100-ER)/100] \times 10^{-3} \quad (2)$$

ここで、

E: 発生源からの汚染物質の排出量（トン／年）

EF: 活動量に対する排出係数（kg／年）

A 発生源の活動レベル。例えばボイラーの石炭使用量（トン／年）又は各工場の製品生産量（トン／年）

ER: 排ガス処理装置の処理効果（％）

(3) 物質収支法と燃料分析

物質収支による方法では、排出量は、生産プロセスにおける原料の出入りの流れ及び製品に変わる原料の量によって計算される。排出量は、物質及びエネルギーの保存則を適用して確認できる。燃料分析は物質収支法の一つの例である。燃料中のある元素の存在が、排ガス中にその元素が存在すること予測できる。

例：石炭の硫黄含有率から、石炭燃焼過程からの SO₂ 排出量を計算することができる。

物質収支法による排出量の計算式は以下のとおりである。

$$E = Q_{in} \times C_{in} - Q_{out} \times C_{out} \quad (3)$$

ここで、

E: 汚染物質の排出量

Q_{in}: 汚染を引き起こす元素を含む物質の、生産プロセスに入る流れ

Q_{out}: 循環の流れ又は製品として、汚染物質を含む物質の、生産プロセスから出る流れ

C_{in}: マテリアルフロー中の生産プロセスに入る際の汚染物質の濃度

C_{out}: マテリアルフロー中の生産プロセスから出る際の汚染物質の濃度

7.2 各工業施設における排出インベントリの実施に関する規程

一般的に、すべての排出源の調査プログラムには、以下の 2 つの主要な内容をそのプログラム中に含まなければならない：

1) 工業施設における排ガスを発生する各活動の点検

生産プロセスにおける排ガスを発生する生産工程の十分な列挙及び生産プロセスから発生する汚染物質の特定を目的として、生産工程の点検を実行する。その他にも排ガスを発生する各工程の特徴を調査する必要がある。したがって、この過程において留意しなければならない情報は以下のとおりである。

- 調査する必要がある汚染物質の確認
- 生産施設における、煙突からの排出、設備や倉庫からの発散、蒸発などの発生源の確認
- 生産施設の生産技術、各設備の能力、総合的な能力を精査すること
- 原料、燃料、水などの需要の確認
- 既存の環境保護対策などの排ガス処理システムの特徴の確認

2) 排ガス流の中の汚染物質の排出量の分析及び計算

生産プロセスの点検ステップから汚染物質と汚染源を特定した結果を基に、排出量の計算方法のように、排出インベントリを実施する方法を選択し、分析を進める。このことにより、計算に必要不可欠な情報データの収集を実施する。

7.2.1 インベントリを実施する汚染物質の確認

工業活動において、業種、生産技術、使用する原燃料によって、環境大気に排出する汚染物質は変わってくる。それぞれの排出インベントリプログラムの中で、調査が実施される汚染物質は、生産プロセスから発生する汚染物質のすべてであるか、又は排出インベントリの目的に沿った限定された一部の汚染物質に限ることができる。

排出インベントリ登録通達に従って行われる排出量登録をするための調査においては、工業排ガス及び汚染物質のインベントリ調査は、それぞれの業種ごとに以下の表 1 に定められている方法に従って実施されなければならない。

表 1 業種、排ガス発生源、通知に従って登録が必要な工業排ガス中の汚染物質

No	分類	総生産量	工業排ガス発生源	調査・登録すべき項目
1	鉄鋼	200,000 トン／ 年以上	焼結機	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、 CO
			高炉	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5}
			転炉	粉じん、CO
			アーク炉	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、 CO、NO _x
			中間周波数炉	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5}
			コークス炉	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、 SO ₂ 、CO、PAH、 NH ₃ 、VOCs
2	火力発電	すべて。ただし天 然ガス火力発電 所を除く	ボイラー	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、 SO ₂ 、NO _x
3	セメント	すべて	クリンカーキルン	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、 SO ₂ 、NO _x
			クリンカー冷却設備	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5}
			クリンカーミル	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5}
4	化学物質及び 化学 肥料	10,000 トン／年 以上		
4.1	カ性ソーダ、 塩素製造		Cl ₂ 液化装置	Cl ₂
4.2	HNO ₃ の生産		酸吸収塔	NO _x
4.3	H ₂ SO ₄ の生産		吸収塔	SO ₂
4.4	H ₃ PO ₄ の生産		分解反応槽、蒸発装 置、ろ過装置	F ₂
			水和化塔、ベンチュ リ、静電フィルター、	粉じん

No	分類	総生産量	工業排ガス発生源	調査・登録すべき項目
			酸ミスト除去装置	
4.5	NH ₄ OH の生産		中和槽、濃縮槽、冷却装置	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、NH ₃
4.6	尿素の生産		NH ₃ 回収吸収塔、尿素造粒塔	粉じん、NH ₃
4.7	DAP ^(*) の生産		反応造粒塔	粉じん、HF
			冷却装置	粉じん、HF
			製品製造設備	粉じん、HF
4.8	焼成リン肥の生産		焼成炉	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、HF
4.9	化学物質及びその他の化学肥料の生産		排ガス量 5,000 (m ³ /h) 以上の工業排ガス源	生産の特徴及び管理機関の要求に従うこと
5	石油製造業	10,000 トン／年以上	加熱炉	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、SO ₂ 、NO _x
			CO ガス燃焼炉	粉じん、SO ₂ 、NO _x 、CO、C _x H _y 、NH ₃
			排ガス燃焼炉	SO ₂
6	工業ボイラー	ボイラー1 基当たり 20 トン／時以上。ただし、天然ガスのみを使用するボイラーを除く	ボイラー	粉じん、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、SO ₂ 、NO _x

DAP : Diammonium phosphate リン酸二アンモニウム

7.2.2 調査実施範囲の確認

各工業施設において、汚染物質の環境への排出形態は一般的に以下の二つがある。点源とは、煙突からの排気であり、例えば石炭火力発電におけるボイラーの煙突やセメント業

における焼成炉の煙突からの排出などがある。分散排出形態とは、各生産工程から汚染物質が発散することであり、例えば硫酸製造技術における酸吸収塔から発散する SO_2 、原燃料貯蔵庫から揮発する汚染物質、塗料製造業の溶剤貯蔵庫から蒸発する VOCs などである。汚染物質を発生する活動すべてを調査するか、あるいは具体的な生産工程の一部の範囲に絞って行うかは、調査の必要がある汚染物質と調査の目的次第で決められる。工業排ガス排出インベントリ登録通達にしたがい、前出の表 1 において、その工業が属する業種ごとに調査の範囲が詳細に定められている。

7.2.3 排出量の計算方法の選択

一部の調査プログラムを除いて、調査プログラムの確認の目的を満たすために、汚染物質排出量の計算方法が具体的に定められている。大半の調査プログラムにおいて、汚染物質排出量の適切な計算方法を選択する必要がある。汚染物質排出量の計算方法はそれぞれの具体的な状況に合わせて選択しなければならない。とはいえ重要な問題は、実施費用と計算結果に不可欠な正確性の間で合理的に検討するために一定の分析を行う必要があるということである。分析する際に考慮しておかなければならない問題は、以下のようなことを含めた費用と結果の正確性のバランスについてである。

- 計算に必要不可欠な既存の数量
- 各計算方法の適用可能性
- 作業実施に要する時間
- 排出源の様態
- 人手及び物資などを含めたリソース

各方法が要求する十分なデータがある時に、各方法の信頼度及び優先順位が選択される。

発生源連続測定法は、実際の排出量に最も近い結果を与える方法であり、測定機が定期的に校正され、インベントリ期間に対して十分な測定結果があるなど、信頼できる連続測定データが得られるときに優先的に適用される方法である。一定の決められた期間に連続して排出量が測定されるが、一般的にその期間は短い。その施設にインベントリ実施期間中に十分な連続測定データ（一般的には 1 年分）がなかった場合には、短期間（1 日又は 1 か月）の測定データを参考にして、インベントリ実施期間における排出量を推定することになるが、測定データセットの代表性も考慮する必要がある。システムが正常に作動しているという前提条件で発生源測定データを収集することができる場合にのみ、排出イン

ベントリに資する排出量の計算に利用することができる。短期観測データは、火力発電やセメント業など安定稼働している、かつ、使用する原燃料も品質の安定が求められる業種においては、信頼性の高いデータとして利用することができる。

観測方法を利用する際に留意しておくべき重要事項は、排ガス中の汚染物質濃度及び対応する排ガス量に関する測定データを処理することである。

排出係数を利用する方法は、連続測定データが得られない又は一部の汚染物質のように連続測定ができないなどの理由で、連続測定法が適用できない場合に次善策として選択される方法である。生産プロセスからの排出、又は貯蔵庫からの排出は、観測または測定をすることができないので、これは分散排出源について効果のある方法である。排出係数は、各業種、各技術類型、各燃料（ボイラー、焼成炉などで燃焼させる場合）に対する平均値であることを留意しておく必要がある。このため、この方法による計算結果は概算にすぎない。

物質収支による方法は、一般的に物理的变化又は単純な化学的变化の工程だけを持つ業種においてのみ、又は燃焼過程において普遍的に用いることができる。この方法を使用するためには、生産プロセスに出入りする原料及び燃料の各流れの成分に関する詳細なデータ情報が必要である。

7.2.4 データ及び情報の収集

データの収集過程は、排出量の計算をするために必要な情報を収集するために、もっとも効果的な方法で行われる必要がある。排出量の計算過程におけるデータの収集方法は以下の3つの方法がある。

(i) 直接測定データ：一般的には観測または測定したデータであり、排ガス量や排ガス中の汚染物質濃度などである。観測データの収集の際は、計算するのに信頼性の高いデータをを得るために、各規定で具体的に定められた手順を遵守する必要がある。

(ii) 専門分野の資料を通じてのデータ収集：一般的には、汚染物質を排出する各活動の排出係数である。一般的に、排出係数は専門書などから入手することができる。使用する排出係数と、排出係数を適用する施設で実際に使われている技術類型及び原燃料が適合するかについて留意しておかなければならない。

(iii) 生産施設における情報とデータ収集：一般的には生産施設における技術的情報である。例えば、製品の種類と量、生産プロセスにおける原燃料の種類と量、生産技術、各制御設備、排ガス処理施設、これらの設備の活動度などである。

収集データは、選択する排出量計算法に依存する。

(1) 排出源における連続観測方法 (CEMS)

-汚染物質濃度：観測期間中、汚染物質濃度の値を調査する必要がある。排出インベントリ登録通達の規定によると、連続測定データは年間 20%以上の欠測時間があってはならない。

- 排ガス量の数値：排ガス量は、発生源からの排ガスの直接測定結果からの数値を使うことができる。排出インベントリ登録通達の規定によると、排ガスを測定した数値がない場合には、下記の各方法により排ガスを計算することができる。

- ・ 工業施設の建設計画に関する完了報告書
- ・ 排ガス処理系統の排風機的设计能力
- ・ 下式による排ガス流速に基づく計算

$$Q=3600 \times V \times A$$

ここで、

Q：煙突の排ガス量 (m³/h)

A：煙突の断面積 (m²)

V：煙突中の気流の平均速度 (m/s)

しかし、完了報告書や排風機能力による排ガス量計算は、施設的设计値であり、しかも通常、計算値は一定の誤差があるので、稼働施設は设计値には達しない。上の方法以外に、ボイラーに関しては、次式による燃烧過程の排ガス量計算を通して近似的な排ガス量を計算できる。

$$G=m \times A_0+5.6 \times H+0.7 \times O+0.8 \times N+1.244 \times W$$

ここで、

G : 燃料 1kg 燃焼した場合の排ガス量 (m³/h)

A₀ : 燃料 1kg を燃焼させるための理論空気量 (m³/h)

m : 空気比

H : 燃料 1kg 中に含まれる水素の量 (kg/kg)

O : 燃料 1kg 中に含まれる酸素の量 (kg/kg)

N : 燃料 1kg 中に含まれる窒素の量 (kg/kg)

W : 燃料 1kg 中に含まれる水分の量 (kg/kg)

A₀ は次式で計算できる。

$$A_0 = 8.89 \times C + 26.7 \times (H - O/8) + 3.33 \times S$$

ここで、

C : 燃料 1kg 中に含まれる炭素の量 (kg/kg)

S : 燃料 1kg 中に含まれる硫黄の量 (kg/kg)

m は次式で計算できる。

$$m = 21 / (21 - O\%)$$

ここで、

O% : 排ガス中の酸素含有率 (%)

- 排出源の活動時間に関する情報とデータ : 排出時間は一般的に時間／年で計算される。このデータはシステムの運転日誌により収集することができる。断続的に稼働する施設については、数値の信頼性に注意しなければならない。

(2) 排出係数による方法

- 排出係数に関するデータの収集 : 施設の業種や生産技術に特有の排出係数は、専門資料から収集することができる。要求されるある特定の工業の排出係数に関するデータは、表 2 に規定されている通達にしたがい、排出インベントリを実施しなければならない。燃料の硫黄含有率や灰分に依存する、SO₂ やダスト (付録) などの汚染物質の排出係数を見つける

ことができる。したがって、排出係数の計算に資する燃料の特性を収集しなければならない。

- 活動量に関する数値： インベントリ実施期間中に、施設において生産の際に使用される原料及び燃料の種類と量、生産される製品の種類と量の数値を収集する。消費された原燃料類は、産業施設の経済技術目標報告や運転日誌から収集できる。施設の稼働能力に関する数値を参考にすることができる。計算結果の信頼性を高めるためには、活動量の数値は通常十分な期間収集する必要がある（1月又は1年単位で）。

- 汚染処理設備に関する情報について：施設に使用されている排ガス処理装置の種類及び活動度、処理システムの処理効率についての詳細な情報が必要である。

(3) 物質収支による方法

- 各生産工程における発生過程に関する具体的な情報
- 各生産工程の詳細な入出力データ
- 燃料の詳細な成分、例えば石炭の硫黄含有量や灰分など

7.2.5 調査結果の計算

(1) 排ガスの連続測定法と排出源の検査方法

- 数量の処理:

(i) 排ガス濃度の変換

ppm 濃度から標準状態の mg/m³ への変換

連続測定システムで測定された汚染物質濃度は、一般的に ppm(v/v)の単位で求められるため、排出量を求めるために、式(3)にしたがい、標準状態（25℃、760mmHg）における mg/m³ に単位を変換する必要がある。表2は一般的な汚染物質の、ppm から 25℃における mg/m³ への単位換算係数を表している。

$$C\left(\frac{mg}{m^3}\right) = C(ppm) \times \frac{MW}{24.45} = K \times C(ppm) \quad (3)$$

C (mg/m³)：汚染物質の質量濃度

C(ppm)：汚染物質の濃度

MW：汚染物質の分子量

K：換算係数

表 2 体積濃度 (ppm) から標準状態 (25℃) における質量濃度への換算係数

No	汚染物質	分子量	ppm から mg/m ³ への換算係数
1	CO	28.01	1.14
2	NO	30.01	1.22
3	NO ₂	46.01	1.88
4	SO ₂	64.07	2.62
5	Cl ₂	70.91	2.89
6	F ₂	38	1.55
7	NH ₃	17.04	0.70

測定条件 (t⁰、P) における mg/m³ 濃度から標準状態 (25℃、760mmHg) への変換

排ガス濃度の測定単位が、標準状態 (25℃、760mmHg) でなく、測定条件の mg/m³ で表される場合、次式により標準状態に換算しなければならない。

$$C(298K, 760mmHg) = C(t^0, P) \times \frac{760 \times (t^0 + 273)}{P \times 298}$$

ここで、

C(298K、760mmHg)：標準状態における汚染パラメータの濃度 (mg/m³)

C(t⁰、P)：実測の汚染パラメータの濃度 (mg/m³)

t⁰：煙突の実測温度 (℃)

P：実測圧力 (mmHg)

留意

発生源直接測定法について、排ガス中の汚染物質濃度の連続測定結果はリアルタイムの濃度値である。したがって、測定実施期間中における測定が必要で、各汚染物質の濃度の

平均値を計算する必要がある。

(ii) 排ガス量の変換

排ガス量の測定単位は標準状態（25℃、760mmHg）で表す必要がある。測定単位が標準状態と異なる条件で表されている場合は、次式により換算する必要がある。

$$Q(298K, 760mmHg) = Q(t_0, P) \times \frac{P \times 298}{760 \times (t_0 + 273)}$$

ここで、

$Q(298K, 760mmHg)$: 標準状態における排ガス量(Nm^3/h)

$Q(t^0, P)$: 実測の排ガス量(Nm^3/h)

t^0 : 煙突の実測温度 (℃)

P : 実測圧力 (mmHg)

- 排出量の計算:

汚染物質の排出量は次式にしたがい算定される必要がある

$$E = C \times Q \times t \times 10^{-9}$$

E : 汚染物質の排出量 (トン/年)

C : ある期間における汚染物質の平均濃度 (mg/m^3)

Q : 排ガス量 (m^3/h)

t : 排出源の活動時間 (h/年)

発生源の排ガス量が年間のある時点時点で変化する場合には、排ガス量が安定する期間の排出量を計算して、それから1年間の総排出量を計算する。

例： 表の測定値の石炭火力発電所から排出する SO₂ 排出量の計算

測定期間	濃度(ppm)				排ガス量 (25°C) (m ³ /h)	活動時間 (h)
	SO ₂	NO _x	CO	TVOCs		
1	150.9	142.9	42.9	554.2	11,735	1500
2	144.0	145.7	41.8	582.9	15,265	2000
3	123.0	112.7	128.4	515.1	19,530	1800

始めに表 2.2 の係数を使って SO₂ の濃度を ppm から mg/m³ に変換して、次を得る。

No	濃度 (ppm)	ppm から mg/m ³ への 換算係数	濃度 (mg/m ³)
1	150.9	2.62	395.4
2	144.0		377.3
3	123.0		322.3

SO₂ 排出量を求める際の次式を適用する

$$E = C \times Q \times t \times 10^{-9}$$

始めに測定期間 1 について計算する。

$$C_1 = 395.4 \text{ mg/m}^3$$

$$Q_1 = 11,735 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t_1 = 1500$$

結論が出る $E_1 = 395.4 \times 11,735 \times 1,500 \times 10^{-9} = 6.96$ トン

同様に、引き続く 2 測定期間について結論が出る

$$E_2 = 11.52 \text{ トン}$$

$$E_3 = 11.33 \text{ トン}$$

このようにして 1 年間のインベントリにおける排出量は

$$E=E_1+E_2+E_3=29.81 \text{ トン／年となる。}$$

(2) 排出係数による方法

排出係数を使用する方法によって汚染物質の排出量を求める場合は次式にしたがって行うこと。

$$E = EF \times A \times [(100-ER)/100] \times 10^{-3}$$

ここで、

E: 排出源からの汚染物質排出量（トン／年）

EF: 活動量に対応する排出係数（kg／トン）

A: 排出源の活動レベル（トン／年）

ER: 排ガス制御システムの排ガス処理効率（%）

一部の業種の排出係数は、付録の中に詳細に記載されている。上記の公式の中で、活動量とは一般的に、火力発電所における 1 年間の燃料消費量もしくはその他の業種における 1 年間の製品生産量のことである。

例：下記の条件のときに、排出係数を使用する方法でクリンカの生産プロセスからの NOx 排出量を計算する。

- 対象設備：ロータリーキルン
- 製品の生産量：100 万トン／年
- NOx の処理設備：なし

始めにセメント生産ラインで NOx を発生する各工程を確認すると、キルンからである。セメント生産工場のキルンからの NOx の排出係数は 2.15kg／トン クリンカである。次式を適用して、以下のとおり NOx 排出量を計算できる。

$$E = EF \times A \times [(100- ER)/100] \times 10^{-3}$$

$$EF = 2.15 \text{ kg/トン}$$

$$A = 10^6 \text{ トン/年}$$

$$ER = 0$$

したがって $E = 2.15 \times 10^6 \times [(100-0)/100] \times 10^{-3} = 2,150$ トン／年

(3) 物質収支による方法について

排出インベントリ登録通達の規定によると、物質収支による方法は、各火力発電施設から排出される SO_2 の排出量を計算する際に適用される。石炭火力発電施設において、石炭や石油などの燃料中に含まれる硫黄の燃焼過程により、 SO_2 が排出される。燃料中に含まれるすべての硫黄は熱化学反応を起こして SO_2 に変化し、大気中に排出される。

この施設における SO_2 の排出量は次式で計算される。

$$E = 2 \times A \times (S/100) \times (100 - ER)/100$$

ここで、

- E : SO_2 の排出量 (トン／年)
- A : 1 年間の燃料使用量 (トン)
- S : 燃料中の硫黄含有率 (%)
- ER : SO_2 の処理効率(%)。施設が排ガス処理システムを有しない場合は、 $ER = 0$ とする。

7.2.6 報告

排出者事業主の登録のためのインベントリ結果は、汚染物質排出量の結果を明確にして、報告しなければならない。報告書は生産施設における基本情報を十分に含んでいなければならない。例えば業種、生産技術、調査対象の汚染物質、調査実施期間などである。データ収集源と排出量の計算方法は、インベントリ活動の最新のプロセスに資するように詳細に記述されなければならない。

7.3 排出事業主の登録

7.3.1 排出事業主の概念、排出事業主登録の目的と意義

工業排ガス排出事業主とは、工業排ガスの発生源である施設の法律上の代表者である組織又は個人をいう。

排出事業主の登録とは、組織もしくは個人が所有または管理する大気汚染物質発生施設について、自身の工業排ガス排出源に関する情報の一覧表を作成し、政府の管理機関に報

告することをいう。

排出事業主の登録は、各環境管理者が、汚染制御活動の基礎として、環境への汚染物質排出量を測り、統計を作成することに資する。

7.3.2 排出事業主登録の実施の対象

現在、排出事業主の登録活動は、汚染物質を大気環境に排出している各生産施設について、登録義務化の促進及び研究をして、それによって汚染源を良好に管理することを目指している。

7.3.3 排出事業主登録の手続き

排出事業主登録の手順について：

手順 1. 排出インベントリの実施

排出事業主の登録を実施するためには、最初に工業排ガス排出事業主は、工業排ガス中の各汚染物質の排出量を確認するために、排出インベントリを実施しなければならない。

手順 2. 規程にしたがって、工業排ガス排出に関する申請書を完成させること。

手順 3. 工業排ガス排出事業主は、規定にしたがい環境総局に直接又は郵送で、工業排ガス発生源登録申請書を一部提出しなければならない。

参考文献

1 章

1. Kenneth Wark, Cevil F. Warner and Wayne T. Davis (1998) Air pollution - Its origin and control. Addison Wesley Longman, Inc.
2. Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, NOAA, 2016 Truy cập 22/02/2016. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
3. Barbara J. Finlayson-Pitts & James N. Pitts, Jr (2000) Upper and lower atmosphere, Academic Press, California
4. Trần Ngọc Chân (2000/2004) Ô nhiễm không khí và xử lý khí thải (Tập 1). Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
5. Truc and Kim Oanh, 2007, Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission sources, Atmospheric Environment, 41, 7685-7697
6. Chau Thuy Pham, Takayuki Kameda, Akira Toriba, Kazuichi Hayakawa (2013) Polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons in particulates emitted by motorcycles, Environmental Pollution, 183, 175-183
7. Daniel D. Chiras. Environmental Science - Action for a Sustainable Future. The Benjamin/Cummings Company, Inc., USA, 1994.
8. WHO (2014) Thông cáo báo chí
9. WHO (2005) WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005- Summary of risk assessment
10. Kim Oanh N. T. , Upadhyay N. , Zhuang Y.-H., Hao Z.-P., Murthy D.V.S., Lestari P., Villarin J.T., Chengchua K., Co H.X., Dung N.T., Lindgren E.S., Particulate air pollution in six Asian cities: Spatial and temporal distributions, and associated sources, Atmospheric Environment 40 (2006) 3367-3380
11. Cohen D. D, Crawford J, Stelcer E., Bac V. T., Long range transport of fine particle windblown soils and coal fired power station emissions into Hanoi between 2001 to 2008, Atmospheric Environment 44 (2010) 3761-3769

12. Noel de Nevers (2000) *Air pollution control engineering*. 2nd Edition, McGraw-Hill Inc., New York.

4 章

- 1 エネルギー管理入門 山本 亨・加藤友美 オーム社。
- 2 工場又は事業場におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断基準
- 3 永久磁石モータ・ドライブシステム 東芝産業機器システム株式会社
- 4 Optimum Combustion Control by TDLS200 Tunable Diode Laser Gas Analyzer Yoshitaka Yuki, Akihiro Murata Yokogawa Technical Report English Edition Vol.53 No.1 (2010)
- 5 ボイラー便覧 日本ボイラー協会編 丸善出版株式会社

5 章

- 1 第5回石炭基礎講座（石炭発電技術） 電力中央研究所
- 2 株式会社日立製作所
- 3 一般財団石炭エネルギーセンター
- 4 新日鉄住金株式会社
- 5 JFE スチール株式会社
- 6 スチールプラントック株式会社
- 7 「環境にやさしいセメント産業」一般社団法人セメント協会
- 8 一般社団法人セメント協会
- 9 石油便覧 J Xエネルギー株式会社
- 10 今日の石油産業 2015 日本石油連盟

付録 1
産業排ガス登録インベントリ通達に係る主要産業の排出係数表

表 1 発電用ボイラーの排出係数

No.	燃料	排出係数			
		ばいじん	PM ₁₀	SO ₂	NO _x
1	重油	単位: kg/m ³			
1.1	ボイラー>1 億 Btu/時 (蒸発量 46.7 t/時に相当)				
1.1.1	第 6 種燃料通常燃焼方式	1.1×S + 0.39		18.84×S	5.64
1.1.2	第 6 種燃料接線燃焼方式	1.1×S + 0.39		18.84×S	3.84
1.1.3	第 5 種燃料通常燃焼方式	1.2		18.84×S	5.64
1.1.4	第 5 種燃料接線燃焼方式	1.2		18.84×S	3.84
1.1.5	第 4 種燃料通常燃焼方式	0.84		18×S	5.64
1.1.6	第 4 種燃料接線燃焼方式	0.84		18×S	3.84
1.1.7	第 2 種燃料	0.24		17.04×S	2.88
1.2	ボイラー<1 億 Btu/時				
1.2.1	第 6 種燃料	1.1 ×S + 0.39		18.84×S	6.6
1.2.2	第 5 種燃料	1.2		18.84×S	6.6
1.2.3	第 4 種燃料	0.84		18×S	2.4
1.2.4	蒸留油	0.24		17.04×S	2.4
2	無煙炭	単位: kg/トン			
2.1	微粉炭炉	5×A	1.15×A	19.5×S	9.0
2.2	流動層炉			1.45	0.9
3	瀝青炭及び亜瀝青炭	単位: kg/トン			
3.1	Lò than phun đáy khô lửa tường	5×A	1.15×A		
3.2	Lò than phun đáy khô lửa tiếp tuyến	5×A	1.15×A		
3.3	Lò than phun đáy ướt	3.5×A	1.3×A		

No.	燃料	排出係数			
		ばいじん	PM ₁₀	SO ₂	NO _x
3.4	Lò phun than đáy khô. lửa tường Pre-NSPS dùng than bitum.			19×S	11
3.5	Lò phun than đáy khô lửa tường Pre-NSPS dùng than á bitum.			17.5×S	6
3.7	Lò phun than đáy khô. lửa tường NSPS dùng than bitum.			19×S	6
3.8	Lò phun than đáy khô lửa tường NSPS dùng than á bitum.			17.5×S	3.7
3.9	Lò phun than đáy khô. lửa ghi di động dùng than bitum.			19×S	15.5
3.10	Lò phun than đáy khô. lửa ghi di động dùng than á bitum.			19×S	7
3.11	Lò phun than đáy khô. lửa tiếp tuyến. Pre-NSPS dùng than bitum			19×S	7.5
3.12	Lò phun than đáy khô. lửa tiếp tuyến. Pre-NSPS dùng than á bitum.			17.5×S	4.2
3.13	Lò phun than đáy khô. lửa tiếp tuyến. NSPS dùng than bitum			19×S	5
3.14	Lò phun than đáy khô. lửa tiếp tuyến. NSPS dùng than á bitum.			17.5×S	3.6
3.15	Lò phun than đáy ướt. lửa tường Pre-NSPS dùng than bitum.			19×S	15.5
3.16	Lò phun than đáy ướt. lửa tiếp tuyến NSPS dùng than bitum.			19×S	7
3.17	Lò phun than đáy ướt. lửa tường dùng than á bitum.			17.5×S	12
3.18	循環式流動層炉				2.5
3.19	Lò tầng sôi dạng bọt (bubbling bed)				7.6

注: A 燃料中の灰分含有率 (%);

S 燃料中の硫黄分含有率 (%).

NSPS là lò hơi xây dựng sau 17/8/1971 với công suất lớn hơn 250 triệu BTU/giờ hoặc

lò hơi xây dựng sau 18/9/1978 với công suất sinh hơi lớn hơn 250MMBTU/giờ

Pre-NSPS là lò hơi không thuộc nhóm NSPS

表 3 セメント工場の排出係数 (kg/tấn clinker)

No.	活動量	排出係数				
		ばいじん	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x
1	湿式法クリンカーキルン	65	16	23.04	4.1	3.7
2	乾式法クリンカーキルン	-	-		4.9	3.0
3	部分加熱キルン	130	-		0.27	2.4

注: (-): 設定なし

付録 2 排ガス測定方法

I. ベトナムで規定されている排ガス測定方法

表 1 工場における排ガス測定方法¹

No.	対象パラメータ	測定方法
1	煙道（ダクト、煙突）における測定点の決定	US EPA Method 1
2	流速	US EPA Method 2 ISO 10780
3	乾燥空気のもル体積	US EPA Method 3
4	水分量	US EPA Method 4
5	O ₂ 、温度、圧力	measurement device Using online
6	粒子状物質	US EPA Method 5 US EPA Method 17 ISO 10155 AS 4323.2: 1995 JIS Z 8808: 2013 ISO 5977: 2005
7	二酸化硫黄 (SO ₂)	US EPA Method 6 US EPA Method 8 US EPA Method 8A TCVN 6750 : 2005 TCVN 7246: 2003 JIS K 0103: 2011 Using direct measurement equipment
8	窒素酸化物 (NO _x)	US EPA Method 7 ISO 7172: 2002

¹通達 40/2015/TT-BTNMT

No.	対象パラメータ	測定方法
		ISO 7245: 2003 JIS K 0104: 2011 Using direct measurement device
9	硫酸 (H ₂ SO ₄)	US EPA Method 8 US EPA Method 8A
10	不透明度 (Opacity)	US EPA Method 9
11	一酸化炭素(CO)	US EPA Method 10 TCVN 7242: 2003 Using direct measurement device
12	硫化水素 (H ₂ S)、硫化カルボニル (COS)、二硫化炭素 (CS ₂)	US EPA Method 15 US EPA Method 15A
13	鉛 (Pb)	US EPA Method 12 US EPA Method 29 ISO 7557-1: 2005 ISO 7557-3: 2005
14	全フッ素 (F ⁻),	US EPA13Amethod US EPA Method13B
15	有機物	US EPA 18 US EPA 0030
16	ダイオキシン類 (PCDD / PCDF)	US EPA Method 23 ISO 7556-1: 2005 ISO 7556-2: 2005 ISO 7556-3: 2005
17	非メタン炭化水素 (NMHC)	US EPA Method 25 US EPA Method 0031
18	臭化水素 (HBr)、塩素 (Cl ₂)、臭素 (Br ₂)	US EPA Method 26 US EPA method 26A
19	フッ化水素 (HF)	US EPA Method 26 US EPA Method 26A TCVN 7243: 2003

No.	対象パラメータ	測定方法
20	塩化水素 (HCl)	US EPA Method 26 US EPA Method 26A TCVN 7244: 2003 JIS K 0107: 2012
21	アンチモン (Sb), ヒ素 (As), バリウム (Ba), ベリリウム (Be), カドミウム (Cd), クロム (Cr), コバルト (Co), 銅 (Cu), マンガン (Mn), ニッケル (Ni), リン (P), セリウム (Se), 銀 (Ag), チタニウム (Ti), 亜鉛 (Zn)	US EPA Method 29 TCVN 7557: 2005
22	水銀 (Hg)	US EPA Method 29 US EPA Method 30B US EPA Method 101A
23	PM ₁₀	US EPA Method 201 US EPA Method 201A
24	多環芳香族 (PAHs)	US EPA Method 23 US EPA Method 0010

II. ベトナムにおける自動計測器測定の規定

通達 40/2015/TT-BTNMT「工場排ガスのモニタリング」で規定されている自動計測器を使用した工場排ガス測定の要求事項は以下のとおりである。

① 計測器の性能

据え置き型の自動計測器に加え、以下の仕様を満たすものであれば可搬型（ポータブル型）計測器の使用が正式に認められている。

表 2 自動計測器に要求される仕様

	測定項目	精度	分解能	応答時間
1.	NO	± 5% （読取り値）	1 ppm	<30 秒
2.	NO ₂	± 5%	0.1 ppm	<40 秒

3	SO ₂	± 5%	1 ppm	<30 秒
4.	CO	± 5%	1 ppm	<40 秒
5.	O ₂	± 0.3 % (測定レンジ)	0.1%	<60 秒

通達 40/2015/TT-BTNMT

この場合でも、測定値の範囲が自動計測器の測定下限値以上であることが重要である。

② 測定作業日に最低 1 回のスパンガスチェックを行う

高圧容器詰め標準ガスとの比較試験を測定現場で実施することが義務付けられている。スパンガスチェックの結果、表示された測定値との差が 20%以上ある場合には自動計測器は使用できない。

③ スパンガスの精度

スパンガス（測定スパンの 70%~80%の濃度のガス）の精度は表示値の± 5 %以内。（日本は±2%以内）

④ 記録の保管

フィールド測定記録、スパンチェック記録、自動計測器の維持管理記録、部品交換記録などの保管。当局の要請があれば提出すること。

工場に対する、今後の立入検査は、上記の要求事項を満足する計測器、中でも最も普及しているポータブル型の計測器を中心に行われることになるようである。従来の測定からの主な変更点は、測定現場での高圧容器詰め標準ガス（スパンガス）を用いたチェックが義務付けられ、許容されるスパンとの差が明記された点である。

III. SO₂ 自動計測器が満足すべき性能

表 3 SO₂ 自動計測器が満足すべき性能

項目	性能
繰り返し性	最大目盛値の±2%
ゼロドリフト	最大目盛値の±2%
スパンドリフト	最大目盛値の±2%
指示誤差	最大目盛値の±2%
応答時間	15 分以下（溶液導電率法）
	4 分以下（赤外線吸収方式）

	4 分以下（紫外線吸収方式）
	4 分以下（紫外線蛍光方式）
干渉成分の影響	最大目盛値の±5%
試料ガスの流量変化に対する安定性	最大目盛値の±2%

IV. NO_x 自動計測器が満足すべき性能

表 4 NO_x 自動計測器が満足すべき性能

項目	性能
繰り返し性	最大目盛値の±2%
ゼロドリフト	最大目盛値の±2%
スパンドリフト	最大目盛値の±2%
指示誤差	最大目盛値の±2%
応答時間	2 分以下
コンバータの NO ₂ －NO 変換効率	95%以上
コンバータのアンモニア変換効率	アンモニア濃度の 5%以下
干渉成分の影響	5%以下（化学発光方式）
	最大目盛の±5%
試料ガスの流量変化に対する安定性	最大目盛の±2%

天然資源環境省

ベトナム社会主義共和国

独立・自由・幸福

No:...../2016./TT-BTNMT

ハノイ、日付 2016 年

**2016 年 7 月 14 日
のドラフト**

省令

産業排ガスの登録及びインベントリについて

天然資源環境省大臣

2014 年の環境保護法に基づき、

政府が 2013 年 3 月 4 日に公布し、天然資源環境省の機能、任務、権限及び組織について規定した政令第 21/2013/ND-CP 号に基づき、

政府が 2015 年 4 月 24 日に公布し、廃棄物及び廃材について規定した政令第 38/2015/ND-CP 号に基づき、

環境総局長及び法制局長の建言に基づき、

産業排ガスの登録及びインベントリについて以下に規定する。

第 1 条 適用範囲

本省令は、政府が 2015 年 4 月 24 日に公布し、廃棄物及び廃材について規定した政令第 38/2015/ND-CP 号の第 45 条及び第 48 条(以下「政令第 38/2015/ND-CP 号」と略す)を下記のことに
関して詳細に規定する。

1. 産業排ガス源の登録及びインベントリを必要とする業種、排出源、ダストと排ガスに関する情報の一覧。
2. 産業排ガスの測定、排出源に関するインベントリ報告書の作成。

第 2 条 適用対象

本省令は、附則1に記載された国家の管理機関、排ガスの排出に関わる組織、或いは個人に適用されるものである。

第 3 条 用語解説

本政令に使用する用語は以下のように解釈される。

1. 「産業排ガス」とは生産過程における煙突や排出口から大気に排出する物質成分から成る混合物である。
2. 「排ガス排出源の登録」とは、国家の管理機関に産業排ガス排出源に関する情報のインベントリと報告である。
3. 産業排ガスに含まれる汚染物質の「排出量」とは、その物質が一定の時間に環境に排出する量のことである。
4. 「産業排ガス源の所有者」とは、本省令の附則1に記載された規定で定められた、法律上その産業排ガス源の法人資格を有する組織、或いは個人のことである。

第4条 産業排ガス排出源の登録

1. 産業排ガス源の所有者は下記のことを実施すべきである。

ア) 本省令の附則1の規定に基づき産業排ガスに含まれる汚染物の排出量を算定する。産業排ガスに含まれる汚染物の排出量の算定方法は本省令の附則2で定められる。

イ) 産業排ガス源を登録する。本省令の附則1に記載されるリストで記述される排出源が複数ある場合、すべて登録すべきである。

2. 事業所はすべての産業排ガス源の排出量(産業排ガス総量の 20%以上)或いは排出源を増やす予定がある場合、その所有者が変更事前に変更内容を登録すべきである。

第5条 産業排ガス排出源登録の手順

1. 産業排ガス源の所有者は、本省令の第6条に基づき、産業排ガスの登録書類を1部作成し、環境総局に直接、または郵送で提出する。

2. 登録書類が規定に合わない場合或いは揃っていない場合、環境総局は受理してから10営業日以内に所有者に書類を整えるように通知する。

3. 産業排ガス源の所有者は、本省令の附則1に従った登録書類の送付後、環境総局の受理承認書或いは宅配機関の送付証書(郵送の場合)を貰えば登録責任を果たしたと言える。但し、本条の第2項で定められた環境総局からの書類整理に関する通知を送付される場合が除かれる。

第6条 産業排ガス排出源の登録書類

産業排ガス排出源の登録書類は下記のものを含む。

1. 本省令の附則3の様式に従った産業排ガス排出源登録書。

2. 本省令の附則4の様式に従った排出源情報表。

3. 次の書類のいずれかの写し一部:環境影響評価報告書(EIA)承認書、環境影響評価報告書(EIA)の追加承認書、環境基準達成登録書の証書、環境保護計画承認書、環境保護計画の登録済みの証明書、環境保護詳細計画の承認書、環境保護政策。

4. 次の書類のいずれかの写し一部(任意):環境保護に関する整備や措置の終了証明書、環境保護詳細計画の実施終了証明書、またはそれに当たる書類や証書。

5. 燃料品質承認書或いは登録日まで一番新しい燃料品質分析結果表の写し一部(灰、硫黄の成分など掲載)。

6. 登録日より6カ月以内の産業排ガス源の最新観測結果。

第7条 産業はガス源の所有者の責任

1. 本省令の附則1に記載される規定に従い、すべての産業排ガス源のインベントリにむけての登録及び情報申告を正確かつ完全に実施する。

2. 本省令の附則5に記載される様式を用い、産業排ガスのインベントリにむけての申告書を作成し、翌年の1月30日までに環境総局に一部を直接に届けるか、郵送する。

4. 産業排ガス源登録及びインベントリ用のすべての情報、資料、書類を3年間保管する。

5. 環境総局に既に登録した産業排ガス源に関する情報や所有者の変更、生産力の減少や中止を 15 営業日以内に申告する。

第 9 条 環境総局の責任

1. 3 年に一回産業排ガスインベントリ報告書を作成し、天然資源環境省大臣宛に翌年の 3 月 30 にまでに送付する。
2. 事業所の産業排ガス源の登録・インベントリに関する情報、データを管理・保管し、常に国家の産業排ガスのデータベースを更新する。
3. 産業排ガス源の所有者に対し登録及びインベントリ実施に関してガイダンスを行いながら監視する。
4. 産業排ガスのデータシステムやデータベースを構築し、ホームページで産業排ガス源に関する情報を公開する。
5. 産業排ガス源に関して、紙の文書によるやりとりの代わりにオンラインで登録や申告できるようにガイダンスする。
6. ベトナムの条件に適する産業排ガス係数一覧を構築・更新する。

第 10 条 各省の天然資源環境局の責任

1. 登録及びインベントリを必要とする管轄範囲内にある事業所、産業はガス源に関する情報を環境総局に提出する。
2. ホームページがある場合、所管する産業排ガス源の所有者の排ガス源に関する情報を開示する。

第 11 条 実行

1. 環境総局は、本省令適用に関して指導・監視・評価する責任をもつ。
2. 大臣、省級の長官、政府直轄機関の長官、各級の人民委員会長、天然資源環境局長及び各組織・個人はこの省令を実施する責任がある。

第 12 条 実行効力

1. 本省令は 2010 年○月○日から有効となる。
2. 本省令を実行する際に、もし困難があれば、省令を修正、補足するために、各機関、組織、個人は(環境総局を通じて)天然資源環境省にフィードバックする。

省令の送付先:

- 首相及び各副首相
- 国会事務所
- 国家主席事務所
- 政府事務所
- 中央党及び党の各班の事務所
- 最高裁判所
- 最高検察院
- 各省庁や政府直轄機関
- 国家監査機関
- ベトナム祖国前線中央委員会
- 各団体の中央機関
- 各省及び中央直轄市の人民委員会、人民協議会
- 司法省法規審査局
- 天然資源環境省の各副大臣
- 天然資源環境省直轄機関、ウェブサイト
- 各省及び中央直轄市の天然資源環境局
- 公報、政府電子情報ポータル
- 保管: VT, PC, TCMT (KSON).300

大臣
チャン・ホン・ハー

附則 1

登録及びインベントリを必要とする業種、排ガス排出源及び排ガス一覧

(天然資源環境省大臣の 201○年○月○日付第○号省令とともに公布)

<i>Stt</i>	産業	設計能力	産業排ガス排出源	産業排ガス成分
1	鉄鋼の鋼片 (billet) 製造	年間 20 万トン 以上	焼結炉	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、CO、NO _x
			高炉	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、CO、NO _x
			BOF	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5}
			電気炉製鉄	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、CO、NO _x
			アーク炉	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、CO、NO _x
			コークス炉	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、SO ₂ 、CO
2	火力発電所	すべて (天然ガス使用の火力発電 所を除く)	ボイラー	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、SO ₂ 、NO _x
3	セメント製造施設	すべて	クリンカー焼成炉	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5} 、SO ₂ 、NO _x
			クリンカーの冷却システム、	ばいじん、PM ₁₀ , PM _{2,5}
4	化学物質と化学肥料製造	年間 1 万トン 以上		
4.1	NaOH、Cl 製造		Cl ₂ 液化設備	Cl ₂
4.2	HNO ₃ 製造		酸吸収塔	NO _x

4.3	H ₂ SO ₄ 製造		酸化塔	SO ₂
4.4	H ₃ PO ₄ 製造		分解反応器、蒸発器、ろ過装置	F ₂
			水和塔、ベンチュリ装置、電気フィルタ、酸ミスト除去装置	ばいじん
4.5	NH ₄ OH 製造		中和器、濃縮器、冷却設備	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NH ₃
4.6	尿素製造		尿素粒製造塔	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NH ₃
4.7	DAP ^(*) 製造		ドラム乾燥機	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NH ₃
			造粒装置	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NH ₃
			全中和反応設備	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NH ₃
4.8	磷酸肥料(溶解)		リン鉱石の焼成炉	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , HF
6	製油施設	すべて	加熱炉	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x
			CO 燃焼炉	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x
			触媒再生設備	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x
			硫黄回収設備	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x
			排ガス焼却炉	ばいじん, PM ₁₀ ,

				PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x
7	産業ボイラー	1時間20トン以上。但し天然ガス使用のボイラーを除く	ボイラー	ばいじん, PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO _x

*注:DAPは *Diammonium phosphate* である。

附則 2

産業排ガス排出量算定

(天然資源環境省大臣の 2010 年 0 月 0 日付第 0 号省令とともに公布)

I. 算定単位の確定・換算

1. 排ガス排出流量の算定単位は、標準状態である Nm^3/h で表現すべき。測定単位が m^3/h の場合、産業排ガス源の排出者は次の数式をもって換算しなければならない。

$$Q_0 = 298 * P * Q / (760 * (t^0 + 273))$$

そのうち

- Q_0 : 標準状態における排出量 (Nm^3/h);
 P : 測定した実際の気圧 (mmHg);
 Q : 測定した実際の排ガス流量 (m^3/h);
 t^0 : 測定した実際の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

2. 標準状態における排ガス濃度の単位は mg/Nm^3 である。

a. 測定単位が mg/m^3 の場合、産業排ガス源の所有者は次の数式をもって換算しなければならない。

$$C_{i0} = 760 * C_i * (t^0 + 273) / (P * 298)$$

そのうち

- C_{i0} : 標準状態における排ガス濃度 (mg/Nm^3);
 C_i : 煙突で測定した実際の排ガス濃度 (mg/m^3);
 t^0 : 煙突で測定した実際の温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 P : 測定した実際の圧力 (mmHg).

b. 測定単位が ppm の場合、産業排ガス源の所有者は次の数式をもって換算しなければならない。

$$C_{i0} = 10^{-3} * MW * C_i / (22.4 * (t^0 + 273) / 273)$$

$$C_{i0} = MW * C_i / (22.4 * 298 / 273)$$

そのうち

- C_{i0} : 標準状態における排ガス濃度 (mg/Nm^3);
 C_i : 煙突で測定した実際の排ガス濃度 (ppm);
 t^0 : 測定した実際の温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 MW : i という係数の分子量 (g)

II. 排ガス流量の確定

産業排ガス源の所有者は既存のいくつかの書類やデータを基に排ガス流量 Q を算定する。たとえば：

- a. 自動連続測定機で測定した結果
- b. 製造施設の建設竣工の書類
- c. 排気系ファンに記載された仕様数値
- d. 排気速度から次の数式で算定する。

$$Q = 3,600 * V * A$$

そのうち

- Q : 煙突における排ガス流量 (m^3/h);
- A : 煙突の断面 (m^2);
- V : 煙突における排気の平均的な速度 (m/s).

III. 産業排ガスの各パラメータによる排ガス量の算定

産業排ガスの排出量は下記のいずれかの方法で算定する。

1. 排ガス排出源が自動連続測定機により測定され、測定機の中断や故障時間が 1 年間の 20% を超えない場合は、所有者は排ガス量の係数 i を次の数式で算定する。

$$E_i = 24 * Q_0 * C_{i0} * N / 10^9$$

そのうち

- E_i : i 成分の汚染排出量 (トン/年)
- Q_0 : 排出源の排ガス流量 (Nm^3/h)
- C_{i0} : i 成分の年間平均排ガス濃度 (mg/Nm^3)
- N : 排出源の実際稼働日 (日数)

2. 排ガスが自動連続測定機で測定されない場合、或いは自動測定機による測定結果が本附則の III I 項 1 目の規定を満たさない場合は、所有者は排ガス量の係数 i を次の 2 数式のいずれかで算定する。

2.1. 排出係数による算定

i の排ガス排出量は次のように算定される。

$$E_i = (A * EF_i / 1,000) * (100 - ER) / 100$$

そのうち

- E_i : i 成分の汚染源からの排出量 (トン/年)
- A : 施設の稼働度 (火力発電所の場合は燃料のトン/年で、その他の施設は製品のトン/年)
- EF_i : 本附則に記載された排出係数
- ER : i 成分の排ガス処理効率(%). 排ガスが処理されない場合は、 $ER = 0$.

2.2. 火力発電所の場合の物質収支による算定

$$ESO_2 = 2 \cdot A \cdot S$$

そのうち

ESO_2 : 排出源からの SO_2 排出量(トン/年)

A : 年間の使用燃料(トン)

S : 燃料における硫黄含量(%/100)

IV. 産業排ガス排出係数一覧

表 1. 鉄鋼ピレット製造工場の排出係数(kg/トン製品)

	技術	排出係数					
		ばいじん	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO
1	高炉	0,3			-		
2	焼結炉	4,35			-		22
3	転炉	14,25			-	-	-
4	電気アーク炉	5,65	2,43	0,136	-		69
5	中間周波数炉(誘導炉)	0,05					
6	コークス炉		0,12		0,01	-	0,3

注: - は規定されないことである。

表 2. 火力発電の排出係数(kg/トン燃料)

	燃料	排出係数				
		ばいじん	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	NO _x
1	FO 油	(1,125S+0,394) /0,85	1,125S+0,394	(1,125S+0,394) /1,42	19,22S	5,75
2	廃油	7,834A	2,977A	2,037A	18,0S	2,33
3	無煙炭					
3.1.	微粉炭ボイラー	5A	1,85A	0,7A	19,5S	9,0
3.2.	流動床ボイラー	5A	1,85A	0,7A	2,9	1,8
4	瀝青炭と亜瀝青炭					
4.1.	ドライ底の注炭炉	5A	1,85A	0,7A	19S	11
4.2.	ウェット底の注炭炉	3,7A	1,369A	0,518A	19S	12

注: A とは燃料における灰の含量である(%)。

S とは燃料における硫黄の含量である(%)。

表 3. セメント工場の排出係数 (kg/トンクリンカー)

	技術	排出係数				
		ばいじん	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	NO _x
1	クリンカー焼成炉	128	23,04	23,04	1,02	2,15
2	クリンカー冷却システム	10,6	1,908	1,908	-	-

表 4. 化学物質製造工場の排出係数 (kg/トン製品)

	技術	排出係数								
		ばいじん	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	Cl ₂	NH ₃	F ₂
1	塩化ナトリウム製造									
	Cl ₂ の液化設備	-	-	-	-	-	-	35	-	
2	HNO ₃ 酸製造									
	酸吸収塔	-	-	-	-	25,7	-	-	-	
3	H ₂ SO ₄ 酸製造									
	変換効率=93%	-	-	-	-	48	-	-	-	
	変換効率=94%	-	-	-	-	41	-	-	-	
	変換効率=95%	-	-	-	-	35	-	-	-	
	変換効率=96%	-	-	-	-	27,5	-	-	-	
	変換効率=97%	-	-	-	-	20	-	-	-	
	変換効率=98%	-	-	-	-	13	-	-	-	
	変換効率=99%	-	-	-	-	7	-	-	-	
	変換効率=99,5%	-	-	-	-	3,5	-	-	-	
	変換効率=99,7%	-	-	-	-	2	-	-	-	
4	H ₃ PO ₄ 酸製造									
	反応設備	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19
	蒸発設備	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002
	ろ過設備	-	-	-	-	-	-	-	-	0,032
	水和塔	23,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	ベンチュリ装置	50,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	電気フィルタ	83	-	-	-	-	-	-	-	-

	酸除去装置	54,6	-	-	-	-	-	-	-	-
5	NH ₄ OH 製造									
	中和池	2,17	-	-	-	-	-	-	9,21	-
	濃縮池	0,26	-	-	-	-	-	-	8,49	-
	固体化設備	37,35	15,87	10,47	-	-	-	-	14,63	-
	冷却設備	22,04	0,23	0,02	-	-	-	-	0,32	-

注: - は規定されないことである。

表 5. 化学肥料製造工場の排出係数 (kg/トン製品)

1	尿素製造									
	冷却塔	1,85			-	-	-	0,43	-	-
2	DAP 製造									
	変換塔	0,03				-	-	-	-	-
	分解・反応区	0,75			-	-	-	-		-
	造粒・反応区	0,76			-	-	-		-	-
3	燐酸肥料(溶解)									
	焼却炉				-	-	-	-	-	

表 6. 石油製造業の排出係数 (kg/トン製品)

	汚染物質	係数
1	ばいじん	0,695
2	PM ₁₀	
3	PM _{2,5}	
4	SO ₂	1,413
5	NO _x	0,204
6	CO	39,2
7	CxHy (VOCs)	0,63

注: - は規定されないことである。

表 7. 産業用ボイラー排出係数 (kg/トン燃料)

	成分	燃焼排出係数			
		DO	FO	無煙炭	薪
1	ばいじん	0,28	0,4 + 1,32S	5A	4,4
2	PM ₁₀	0,14	(0,4+1,32S)x0,85	0%	3,916
3	PM _{2,5}	0,034	(0,4+1,32S)x0,6	0%	3,388
4	SO ₂	20S	20S	19,5S	0,015
5	NO _x	2,84	8,5	9	0,34

注:

A とは燃料における灰の含量である(%)。

S とは燃料における硫黄の含量である(%)。

附則 3

産業排ガス排出源登録書

(天然資源環境省大臣の 201○年○月○日付第○号省令とともに公布)

(1)

No.:

(1)の産業排ガス排出源登録の件

ベトナム社会主義共和国

独立・自由・幸福

地名、日付.

宛先:環境総局

1.登録事業所:

経営登録許可書 No.:.....

発行日:..... 発行所:

2. 本店住所:

産業排ガス源がある施設の住所(任意):.....

.....

3. 事業所の代表者の氏名:.....

電話番号.....Fax.....Email.....

4. 環境総局に産業排ガス登録を検討・承認するように本登録書とともに産業排ガス源の情報表を添付する。

5. 本登録諸に記載された申告情報が事実であることを誓い、操業中に産業排ガスの管理規定を遵守することを約束する。.

環境総局に産業排ガス排出源の登録を検討・ご承認いただくよう、お願い申し上げます。

(1)の代表者

<署名、押印>

送付先:

- 上述

-

注:

(1) 排ガスの排出施設

附則 4

産業排ガス情報表

(天然資源環境省大臣の 201○年○月○日付第○号省令とともに公布)

登録事業所名

ベトナム社会主義共和国
独立・自由・幸福

地名、日付

産業排ガス排出情報表

A - 一般情報

- 産業排ガス源登録年:
- 業種:
- 登録年度の生産量:
- 登録担当責任者: 電話番号: Email:

B - 産業排ガス排出源の情報

順	排出 源名	生産量(製品ト ン/年;ボイラー と波力発電は 燃料量)	排ガス発生設備		使用燃料				排ガス処理効率(%)						排出量(トン/年) ⁽³⁾				備			
			設備名 ⁽¹⁾	生産技術	燃料名 ⁽²⁾	使用料 (トン/年)	灰成分 A (%)	S (%)	ばいじん	PM10	PM25	SO ₂	NOx	Co	ばいじん	PM10	PM25	NOx				
1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)				(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
...	総計 (*)																					

注:

- 事業所は本省令の附則 1 に従い各排出源に関する情報を詳細に申告する。同じ排出源が多数ある場合、排出源ごとに詳細に申告するべき。

-(*)は(2),(6),(15),(16),(17),(18),(19)のコラムに記入すべき。

- (1) 例えばセメントの排出源ロータリ炉、火力発電所はボイラーである。

- (2) 燃料名(炭、油、薪、天然ガス)を明確記入すること。

- (3) 本領例の附則 2 で定められる。

Cー 変更事項(本省令の 4 条 C 項の規定を実施する事業所のみに適用)

産業はガス源の変更に関して下記の内容を詳細に説明すること。(複数の排出源がある場合は、排出源ごとに詳細に説明する):

- 1.規模・能力の変更:.....
.....
- 2.燃料の変更 (種類、重量):.....
.....
- 3.排ガスの排出設備(修理、または更新する内容を詳細に説明):
.....
- 4.排ガス処理設備(修理、または更新する内容を詳細に説明):.....
.....
5. 排ガス測定設備(修理、または更新する内容を詳細に説明):.....
.....
6. 排ガスの排出量(増加するか低減するか、またその量を説明):.....
.....

Dー その他の情報

1. 排ガス源の稼働時間

順	排ガス源 (*)	年間稼働月数 (月)	月間稼働週 数(週)	習慣稼働日数 (日)	一日の稼働時数 (時)
1					
2					
3					
4					
...					

注:

- (*): B 項で申告した排出源の順番を記入する。

2. 排ガス処理

順	排ガスの種類	排ガス源 (*)	処理対策	操業年数 (年間)	処理効率(%)
1	ばいじん		☐ 除去処置なし		

			☐ 静電フィルター ☐ サイクロン(遠心式) ☐ バグフィルター用ろ布 (Fabric Filter) ☐ マルチサイクロン(遠心式) ☐ 洗浄式 ☐ その他 _____		
2	PM ₁₀		☐ 除去処置なし ☐ 静電フィルター ☐ サイクロン(遠心式) ☐ バグフィルター用ろ布 (Fabric Filter) ☐ マルチサイクロン(遠心式) ☐ 洗浄式 ☐ その他 _____		
3	PM _{2.5}		☐ 除去処置なし ☐ 静電フィルター ☐ サイクロン(遠心式) ☐ バグフィルター用ろ布 (Fabric Filter) ☐ マルチサイクロン(遠心式) ☐ 洗浄式 ☐ その他 _____		
2	SO ₂		☐ FDG ☐ その他 _____		
	NO _x		☐ 触媒による SRC ☐ その他 _____		
	...				

注:

- (*): B 項で申告した排出源の順番を記入する。

3. 煙突の情報

No.	煙突・ 採集管	座標 (VN2000)		地表から 排出口 までの 高さ (m)	煙突の 排出口の 直径 (m)	排ガスの 平均温度 (°C)	平均圧力 (mmHg)	排ガス の流量 (Nm³/h)
		X	Y					
1								
2								

注:

- (*): B 項で申告した排出源の順番を記入する。

4. 最寄りの住宅団地までの距離:.....(m)

5. 主な風向き.....

6. 今後の排ガス防止計画書(導入設備の種類、据え付けの時間、燃料の変更、煙突、排ガスの処理など).....

.....
.....
.....

施設の代表者

(署名、押印)

附則 5

産業排ガス源情報の報告(様式)

(天然資源環境省大臣の 201○年○月○日付第○号省令とともに公布)

(1)
番号:
産業は五月現状報告の件

ベトナム社会主義共和国
独立・自由・幸福

地名, 日付

宛先: 環境総局

1. 事業所:

2. 本店住所:

産業排ガス源がある施設の住所:.....

.....

3. 事業所の代表者の氏名:.....

電話番号.....Fax.....Email.....

4. 情報報告の責任者の氏名:.....

電話番号.....Fax.....Email.....

5. 環境総局に産業排ガス登録を検討・承認するように本登録書とともに産業排ガス源の情報表を添付する。

6. 本登録諸に記載された申告情報が事実であることを誓い、操業中に産業排ガスの管理規定を遵守することを約束する。.

環境総局に産業排ガス排出源の登録を検討・ご承認いただくよう、お願い申し上げます。

(1)の代表者

<署名、押印>

送付先:

- 上述
- 事業所管轄の天然資源環境局
-

注:

(1) 産業排ガス源情報を報告する事業所名

A. 産業排ガス源の情報(事業所は各排ガス源の情報を詳細に報告すること)

順	排出源名	生産量 (製品トン/年 ;ボイラー と波力発電 は燃料量)	排ガス 発生設備		使用燃料				排ガス処理効率(%)						付記
			設備名 (1)	生産 技術	燃料名 (2)	使用料 (トン/年)	灰成分 A (%)	S (%)	ばい じん	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	Co	
1	(1)	(2)	(2)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
2															
3															
4															
5															
6															
...	総計 (*)														

注:

(*): は(2), (6)のコラムのみ適用する。

(1): はセメントの場合はロータル炉、火力発電所の場合はボイラーなど。

(2): 燃料は炭、油、薪、天然ガスなど、明確に記入する。

B.その他の情報

1. 排ガス源の稼働時間

順	排ガス源(*)	年間稼働月数 (月)	月間稼働 週数(週)	習慣稼働 日数(日)	一日の 稼働時数(時)
1					
2					
3					
4					
...					

注:

- (*): B 項で申告した排出源の順番を記入する。

2. 排ガス処理

順	排ガスの種類	排ガス源 (*)	処理対策	操業年数 (年間)	処理効率(%)
1	ばいじん		☐ 除去処置なし ☐ 静電フィルター ☐ サイクロン(遠心式) ☐ バグフィルター用ろ布 (Fabric Filter) ☐ マルチサイクロン(遠心式) ☐ 洗浄式 ☐ その他 _____		
2	PM ₁₀		☐ 除去処置なし ☐ 静電フィルター ☐ サイクロン(遠心式) ☐ バグフィルター用ろ布 (Fabric Filter) ☐ マルチサイクロン(遠心式) ☐ 洗浄式 ☐ その他 _____		
3	PM ₂₅		☐ 除去処置なし ☐ 静電フィルター ☐ サイクロン(遠心式) ☐ バグフィルター用ろ布 (Fabric Filter) ☐ マルチサイクロン(遠心式) ☐ 洗浄式 ☐ その他 _____		
2	SO ₂		☐ FDG ☐ その他 _____		
	NO _x		☐ 触媒による SRC ☐ その他 _____		
	...				

注:

- (*): B 項で申告した排出源の順番を記入する。

3. 煙突の情報

No.	煙突・ 採集管	座標 (VN2000)		地表から 排出口までの 高さ (m)	煙突の 排出口 の直径 (m)	排ガスの 平均温度 (°C)	平均圧力 (mmHg)	排ガスの 流量 (Nm³/h)
		X	Y					
1								
2								

注:

- (*) : B 項で申告した排出源の順番を記入する。

4. 今後の排ガス管理計画書(導入設備の種類、据え付けの時間、燃料の変更、煙突、排ガスの処理など).....

.....
.....
.....

VN & JP expert meeting 2
2016/22th/ July

Japanese Idea of a Manual for Capacity Building of an Environmental Manager in a Plant

Japan environmental management
association for industry (JEMAI)

Expected Environmental Manager's role in a plant for Pollution Prevention

1. To supervise an operation of facilities from which emit air pollutions (Check of fuel and raw materials)
2. Maintenance of treatment equipment of emission gases (Check and repair)
3. Maintenance of continuous emission monitoring system (CEMS) (Periodical check and calibration)
4. Measurement of emission gases (Recording concentration of air pollutants and calculation of total amount of air pollutants)
5. Emergency countermeasures in case of accidents
6. Coordination with authorities and communication with local residents

Necessary Knowledge	Owner	Managers	1 Air Pollution and Environmental Problems	2 Industrial Emission Source Registration and Inventory	3 Technologies to Reduce Air Pollutants	4 Measurement Technology of Air Pollutants	5 Global Warming Countermeasure and Technology (Co-Benefit)	6 Air Pollution Control in Large Plants, and Recommendation on Advanced Technology	7 Role of Environmental Managers in plants
Necessity of Environmental Measures in own Plants	✓	✓	✓						
Significance of Compliance	✓	✓		✓					
Technical Matters in Laws and Regulations		✓		✓					
Calculating and Reporting Emission		✓		✓					
Significance of Emissions Management	✓	✓		✓					
Treatment Mechanism and Types of Environmental Equipment		✓			✓				
Maintenance of Environmental Equipment		✓			✓				
Necessity of Maintenance of CEMS		✓				✓			
Installation and Periodic Check of CEMS		✓				✓			
Profits of Energy Conservation	✓	✓					✓		
Optimized Operation for Energy Conservation		✓					✓		
Investment Decision on Energy Conservation and Pollution Prevention	✓	✓			✓		✓		
Environmental Aspect Features of the Industrial Sector	✓	✓						✓	
Suggesting Solutions to an Owner		✓							✓
Communication with local residents		✓							✓

* As for Owner, checked in especially important duties.

1. Air Pollution and Environmental Problems

Points of learning:

Learners should understand background of the need for air pollution control and significance of preventing air pollution through understanding Health Damage by air pollutants.

1.1 Air Pollutants and Health Damage

1.1.1 Sulphur Oxides and Health Damage

1.1.2 Nitrogen Oxides and Health Damage

1.1.3 Dust and Health Damage

1.2 Air Pollutants and Environmental Damage

1.3 Global Warming Problem Caused by green house gases(GHG) such as CO₂

1.4 Air Pollutant Sources

2. Industrial Emission Source Registration and Inventory

Points of learning:

Companies should understand the contents of circular and related regulations properly. Regarding the circular on Industrial Emission Source Registration and Inventory, they need to learn how to calculate an amount of pollutants in emission gas and report properly to authorities.

They understand that it is not only a tool to grasp current status but also for reducing emission further.

2.1 Purpose and Significance of Emission Source Registration

2.2 Methods of calculation ways of amount of emission gases according to the Circular

2.2.1 Calculation of amounts of emission gases by using data of CEMS

2.2.2 Calculation of amounts of emission gases by using emission coefficients

2.2.3 Calculation of amounts of emission gases based on mass balances

Reference:

55/2014/QH13, No.38/2015/ND-CP, QCVN for each gas

3. Air Pollution Control Technologies (1)

Points of learning:

Learners understand how to reduce pollutants in flue gas based on the mechanism of abatements and maintain them. Especially, the periodical maintenance is significant to maintain high performance and minimize troubles in equipment installed in own plants

3.1 Desulfurization Technology

3.1.1 Types and Mechanism of Flue-Gas Desulfurization Process

3.1.1.1 Lime Slurry Absorption

3.1.1.2 Magnesium Hydroxide Slurry Absorption

3.1.2 Function, Operation and Maintenance of Flue-Gas Desulfurization Equipment

3.1.2.1 Function of Flue-Gas Desulfurization Equipment

3.1.2.2 Scaling Prevention

3.1.2.3 Raising Temperature of Processing Gas

3.1.2.4 Maintenance

3. Air Pollution Control Technologies (2)

3.2 Denitrification Technology

3.2.1 Low-Level NO_x Combustion Technology

3.2.1.1 Methods of NO_x Suppression

(Fuel Improvement and Combustion Improvement)

3.2.1.2 Low-Level NO_x Combustion Technologies

3.2.2 Flue-Gas Denitrification Technology

3.2.2.1 Types and mechanisms of Flue-Gas Denitrification Technologies

3.2.2.2 Selective Catalytic Reduction (SCR)

3.2.2.3 Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)

3.2.3 Function, Operation and Maintenance of Flue-Gas Denitrification Equipment

3.2.3.1 Check and Maintenance of Denitrification Equipment

3.2.3.2 Long-Term Operation Plan

3. Air Pollution Control Technologies (3)

3.3 Dust Collection Technologies

3.3.1 Types of Dust Collectors

3.3.1.1 Electrostatic Precipitator (EP)

3.3.1.2 Bag Filter

3.3.1.3 Centrifugal Dust Collector

3.3.1.4 Scrubbing Dust Collector

3.3.2 Dust Collector Maintenance

3.3.2.1 Electrostatic Precipitator

3.3.2.2 Bag Filter

3.3.2.3 Centrifugal Dust Collector

3.3.2.4 Scrubbing Dust Collector

4. Measurement Technologies of Air Pollutants

Points of learning:

The Circular on Industrial Emission Source Registration and Inventory, provides the method of calculation of the amounts of pollutants in emission gas based on data from CEMS. Conducting a periodical maintenance and calibration is very important to collect accurate monitoring data.

4.1 The regulation of Continuous Emission Monitoring System (CEMS) (Performance requirements, record of data etc.)

4.2 Types of CEMS

4.2.1 Types and principals of CEMS for determination of SO₂, NO_x and Dust

4.2.2 Attention points for settlement of CEMS

4.2.3 Management of data (Treatment of unit; ppm → mg/m³)

4.2.4 Periodical maintenance and calibration

5. Global Warming Countermeasure and Technology

Points of learning:

Both saving fuel cost and reducing air pollutants can be achieved by burning at an appropriate air ratio in combustion facilities. Besides combustion control, learner can learn technologies for CO₂ reduction to apply to plants.

5.1 Global Warming Countermeasure in Each sector

5.2 Energy Conservation by Combustion Control

5.3 Examples of CO₂ Reduction Technology in each sector (Power plant, steel, cement and chemical plants)

6. Air Pollution Control in Large Plants, and Recommendation on Advanced Technology

Points of learning:

Explanation for applying knowledge of '3. Air Pollutants control technologies' through exemplifying typical production process and emission control system in each industry sector. Also the introduction of advanced technologies made in Japan.

6.1 Coal-Fired Power Plant

6.2 Cement Plant

6.3 Steel Plant

6.4 Chemical Plant

7. Role of Environmental Managers in plants

Points of learning:

Expected roles and actions for environmental managers in plants will be described. For reference of successful experience, the pollution control manager system in Japan is also introduced in this section.

7.1 Suggesting Solutions to an Owner

7.2 Instructing and Educating Operators

7.3 Role of Environmental Manager to Build Functional Organization
for Environmental Management

7.4 Communication with local residents

7.5 Pollution control manager system in Japan

We should discuss and determined at this meeting as follows

- Fixing Contents of Manual
- Assigning for Writing Chapters
- Time Schedule

