

環境対策、環境負荷の無害化処理、発生源処理

4.1.1 集塵機の種類と性能

大気中に浮遊するダスト（固形微粒子）は太陽光を妨げ、呼吸器に入れば健康に障害を与えます。このため浮遊粒子状物質には環境基準が設定されており、煤塵の排出源には排出基準の順守義務があります。集塵機は排出者が設置する大気汚染防止装置で、多様な形式があります。本稿ではボイラー排ガスの排出基準と、主要な集塵機の種類および性能について概説します。

気体中の固体粒子を分離する操作が集塵で、対象には燃焼にともなって発生する「煤塵」と、破碎や粉砕など機械的な操作にともなって発生する「粉塵」があります。煤塵と粉塵は発生源と物質が異なり温度も違いますが、集塵機の機能としては共通性が高いので、本稿では区別せず煤塵とします。

1. 煤塵（ばいじん）の排出基準

集塵機は工程の最後部に設置されることが多く、その場合は排ガスが直接大気に放出されるので、大気汚染防止法の定める排出基準を順守する必要があります。排出基準が設定されている設備は、ボイラー、ガス発生炉、加熱炉、焙焼炉、焼結炉、金属溶解炉など約 25 種類です。表 1 に示すように、ボイラーには燃料と排ガスの容量別に基準値が設定されています。最も厳しい基準値は大規模なガス専焼ボイラーで、 1 N m^3 あたり 50 mg です。ボイラーで最も緩い基準は石炭灰が煤塵に変わる石炭ボイラーで、小容量の場合は 1 N m^3 あたり 300 mg です。これより緩い基準値はセメントの焼成炉で、 1 N m^3 あたり 400 mg です。

2. 集塵機の種類

集塵機を微粒子の捕集原理で分類すると下記の 6 種類があり、種類ごとに特性や集塵性能の異なる複数の形式があります。

- (1) 重力式集塵機
- (2) 慣性力集塵機
- (3) 遠心力集塵機
- (4) 洗浄式集塵機
- (5) ろ過式集塵機
- (6) 電気式集塵機

2.1 重力式集塵機

重力式は固体粒子の自然沈降を利用した集塵機で、含塵ガスの流れに沿って図 1 に示すような沈降室を設置します。

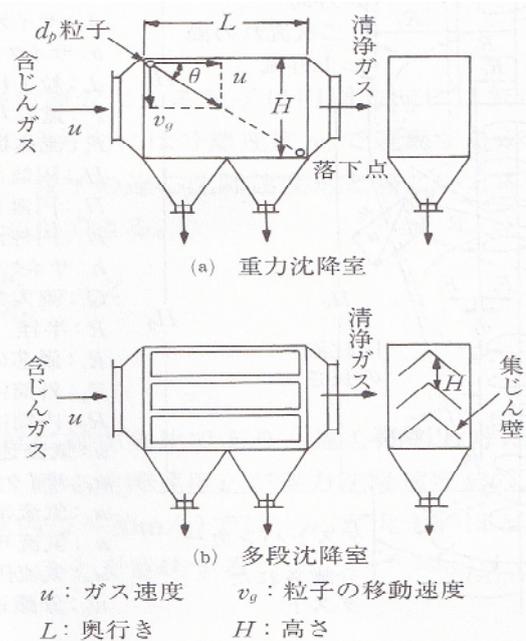


図 1. 重力沈降室（出典：末尾記載）

粒子の沈降速度は粒子径のほぼ二乗に比例するので、大きな粒子は容易に落下しますが、小さい粒子はガスに同伴したまま排出してしまいます。このため、煤塵よりも粒子径の大きい無機系の粉

表 1. ボイラーの煤塵に関する排出基準値

種類	排ガス容量	On	g/N m ³
ガス専焼	4 万 N m ³ 以上	5	0.05
	4 万 N m ³ 未満	5	0.1
重油専焼 とガス液 体混焼	20 万 N m ³ 以上	4	0.05
	4~20 万 N m ³	4	0.15
	1~4 万 N m ³	4	0.25
	1 万 N m ³ 未満	4 (注)	0.3
石炭燃焼	20 万 N m ³ 以上	6	0.1
	4~20 万 N m ³	6	0.2
	4 万 N m ³ 未満	6	0.3
黒液燃焼 ボイラー	20 万 N m ³ 以上		0.15
	4~20 万 N m ³		0.25
	4 万 N m ³ 未満		0.3
その他の ボイラー	4 万 N m ³ 以上	6 (注)	0.3
	4 万 N m ³ 未満	6 (注)	0.3

On：基準酸素濃度 (%)

注：当分の間、酸素濃度補正を行わない。

塵を対象とした集塵に適しています。圧力損失が小さいので動力費が少なく、設備は構造が簡単なので安価です。適用粒子のサイズ 100 μ m から、小さくて 50 μ m 程度が限界です。含塵ガスの速度は 1~2m/秒で、集塵効率は 40%~60% です。

2.2 慣性力集塵機

慣性力集塵機は含塵ガスを物理的な障害物に衝突させるか、またはガス流の方向を大きく変えて、慣性力が大きく方向転換が困難な粒子をガスから分離する装置です。図 2 はガス流の方向を変える集塵機で、簡単な構造のために設備費は安価ですが、分離できる粒子径は 10 μ m 以上です。含塵ガスの流速は概ね 15m/秒以下で、集塵効率は 50%~70% です。重力式集塵機と同様に粒子径の大き

い煤塵の集塵に適しており、煤塵の量が多い場合の一次処理に広く利用されています。

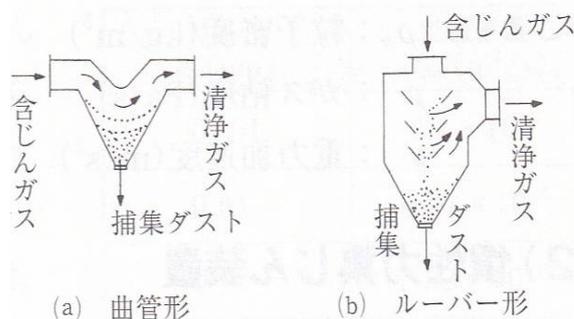


図 2. 慣性力集塵機 (出典：末尾記載)

2.3 遠心力集塵機

遠心力集塵機は図 3 に示すように、全体が円筒形で下部が漏斗状の独特の形状で、サイクロンとも呼ばれています。含塵ガスは円筒上部から接線方向で入り、回旋しながら下部に移動します。煤塵は遠心力でサイクロンの外周に押しつけられ、漏斗状の下部に落下します。煤塵を分離したガスはサイクロンの下部から反転上昇し、中央のダクトから排出されます。単純な構造ですが集塵能力に優れていることから、大規模な粉体設備だけでなく小規模な製粉工場にまで広く採用されています。

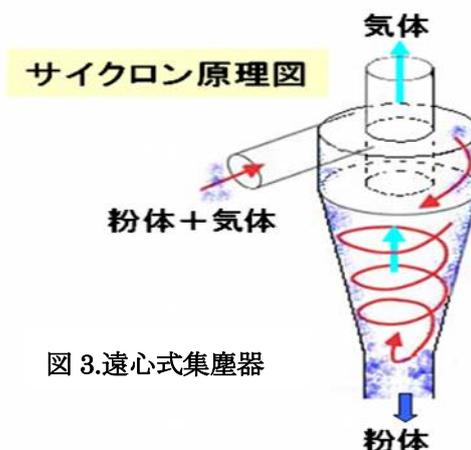


図 3. 遠心式集塵器

す。サイクロンの歴史は長く、実績は非常に豊富

です。サイクロンの適用粒子径は概ね $100\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ で、重力式集塵機や慣性力集塵機より小さい粒子まで捕集できます。しかし含塵ガスの流速が $7\text{m}/\text{秒}\sim 20\text{m}/\text{秒}$ と早いため、圧力損失が大きくなります。集塵効率は $85\%\sim 95\%$ です。設備費は高くはありませんが、送風機の動力費を考慮する必要があります。サイクロンは、原理的に含塵ガス量が多いと集塵効率が低下します。このためガス量が多い場合は、一つの集塵機の中に多数のサイクロンを設置するマルチサイクロンが採用されます(図4)。サイクロンは高温操作も可能で適用範囲が広いですが、捕集可能な粒子径は $3\mu\text{m}$ までです。このため、このままでは排出基準を順守することが困難な場合が多く、より厳密な最終集塵機の前処理に使われる利用形態が多いです。

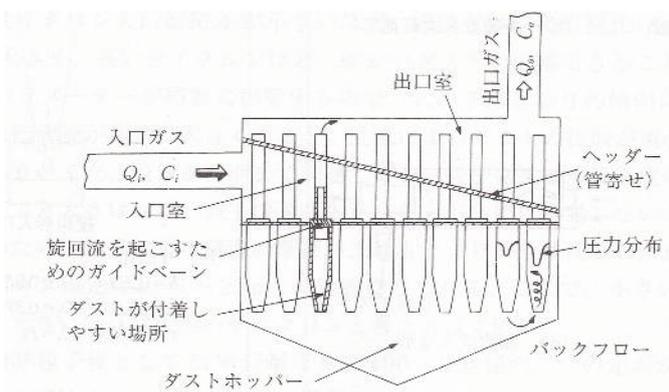


図4. マルチサイクロン (出典：末尾記載)

2.4 洗浄式集塵機

洗浄式集塵機は、液滴か液膜を煤塵の捕集に利用する湿式集塵機で、捕集水を貯留する「ため水式」、含塵ガスに加圧水を噴射する「加圧水式」、および円筒形の「充填塔式」があります。典型的な「ため水式」を図5に示しますが、含塵ガスが貯留水を通る間に煤塵が捕集されます。貯留水は循環使用できるので、他の方式より水の消費量

が少ないのが特徴です。「加圧水式」の代表的な形式は、図6に示すベンチュリースクラバーです。含塵ガスは収縮管で加速され、煤塵はスロート部でノズルから噴射された液滴に捕集されます。ディフューザーでガスは減速されますが、液滴の速度は大きく変わらないので、ディフューザーでも煤塵の捕集が続きます。径が $0.1\mu\text{m}$ 程度の粒子を約5割まで捕集できるので、洗浄

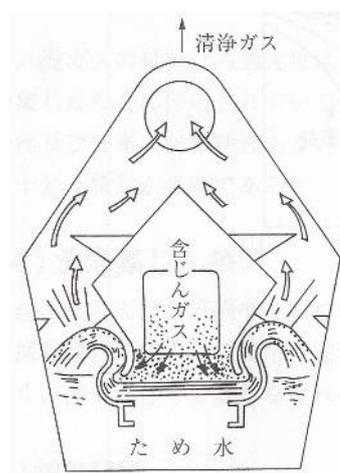


図5. 「ため水式」集塵機 (出典：末尾記載)

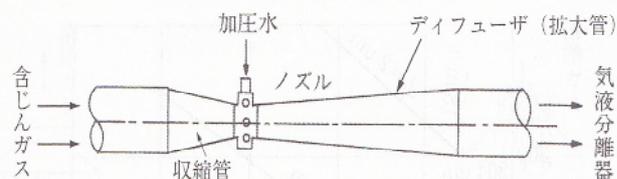


図6. 「加圧水式」集塵機のベンチュリースクラバー (出典：末尾記載)

式の中では高性能です。一方、スロート部の含塵ガスの速度が速いので、他の湿式集塵機より圧力損失が大きいのが特徴です。図7に示すのが「充填塔式」の集塵機です。含塵ガスは塔の下部から入り、充填物表面の水膜に接触して煤塵が捕集されます。塔内の流速は秒速 1m 程度で、径が $1\mu\text{m}$ 程度の粒子を約5割まで捕集できます。充填物にはプラスチックの成形品が使用されます。水膜は集塵と同時にガス中の有害物質も吸収するので、ガス洗浄装置としても使用されます。

2.5 ろ過式集塵機 (バグフィルター)

ろ過式集塵機は、含塵ガスの煤塵を「ろ布」で捕集する集塵装置で、主に化学繊維やガラス繊維の袋 (バグ) を使います。集塵用のバグは円筒形の袋状で、径は概ね 10 cm ~ 50 cm が採用されています。長さは集塵機全体の大きさから決まりますが、3m ~ 8m 程度が多いです。一般的なバグフィルター

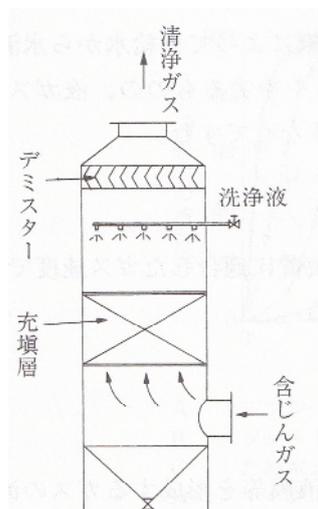


図 7. 充填塔式集塵機
(出典：末尾記載)

を図 8 に示しますが、通常は数十本のバグを上部から吊るし、下部には落下した煤塵を排出するロータリバルブを設置します。図 8 は含塵ガスがバグの外側から内側に流入する方式で、バグの外側に付着した煤塵は、高圧空気をバグの上部から間欠的に吹き込んで払い落とします。パルスジェット方式といわれ、脱塵効果が高いので広く普及しています。煤塵の払落し方法では、図 9 に示す逆洗方法も採用されています。含塵ガスはバグの内側から外側に通過し、一定量の煤塵が付着したら含塵ガスを逆流させて払い落とします。セメントや鉄鋼の分野で古くから採用されており、非鉄金属精錬やカーボンブラックなど高温操作が必要な場合は、ガラス繊維のバグが使用されています。

バグの種類には織布と不織布があり、材質には木綿、ナイロン、ポリエステル、アクリル、ガラス

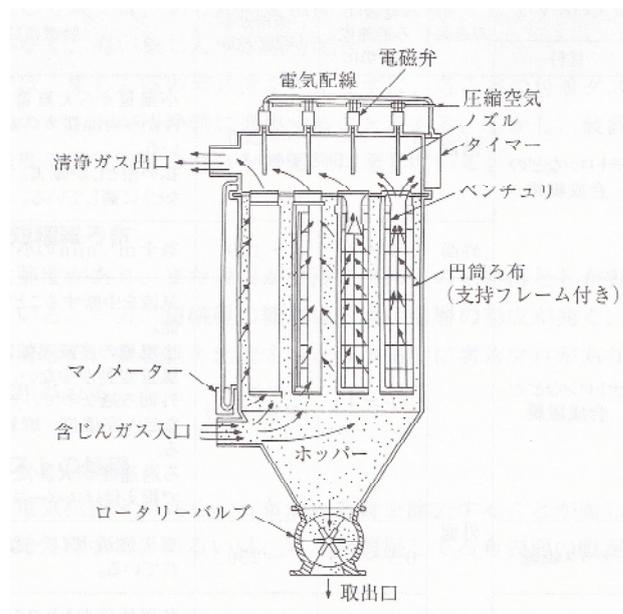


図 8. バグフィルター集塵機 (パルスジェット払落し)

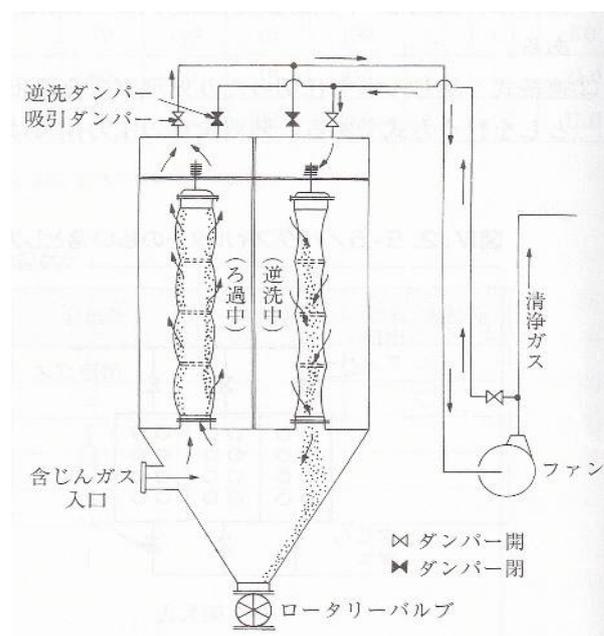


図 9. バグフィルター集塵機 (逆洗払落し)
(出典：末尾記載)

繊維などが使用されています。耐熱温度はガラス繊維が約 250°C、化学繊維は 100°C ~ 150°C、木綿

は常温用で約 60℃です。除塵率はバグに煤塵が蓄積すると概ね 100%に達しますが、煤塵の払い落とし直後は一時的に低下します。除塵できる粒子の径が概ね 0.05 μm と高性能なので、排出基準を順守することができます。このため、圧力損失が大きく動力費も設備費も安くありませんが、大規模な工場の最終集塵機に広く採用されています。

2.6 電機式集塵機

図 10 に円筒形の電機式集塵機を示します。外周が集塵電極で、中央の重りで吊り下げられたワイヤーが放電電極です。放電電極には数万ボルトの直流電圧が加えられていて、電圧を上げると集塵電極との間で持続的な放電（コロナ放電）が発生し、集塵電極に向かって負のイオンが流れます。コロナ放電が発生している電極間に含塵ガスを通過させると、煤塵の微粒子が荷電して集塵電極に移動します。煤塵が電極に堆積して一定の厚さになると、電極に物理的な衝撃（つち打ち：ハンマリング）を与えて剥離し、下部に落下させます。図 10 は円筒形ですが、含塵量が多い場合は図 11 に示すように、全体を箱型にして板状の多数の集塵電極を吊り下げます。

電気式集塵機は、粒子径 20 μm ~ 0.05 μm の微細な煤塵を広い温度範囲と圧力の条件で捕集することができます。集塵効率はほぼ 100%に近く、排出基準も順守できるので発電所や大規模な工場の最終集塵機に採用されています。含塵ガスの流速が遅いので圧力損失が少なく、動力費はバグフィルターより少なくて済みます。一方、含塵ガス

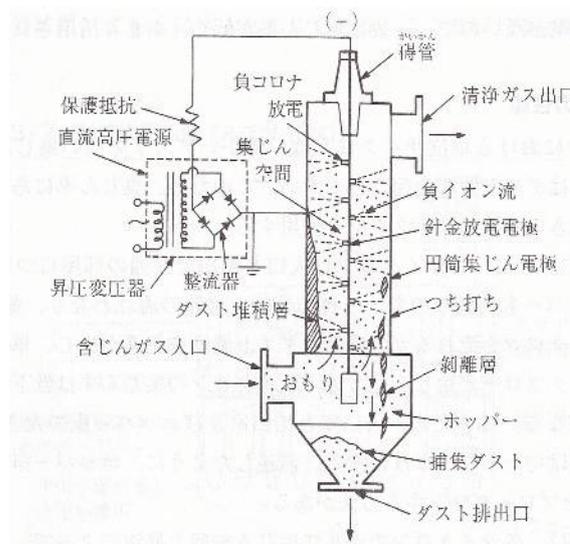


図 10. 円筒形電気集塵機（出典：末尾記載）

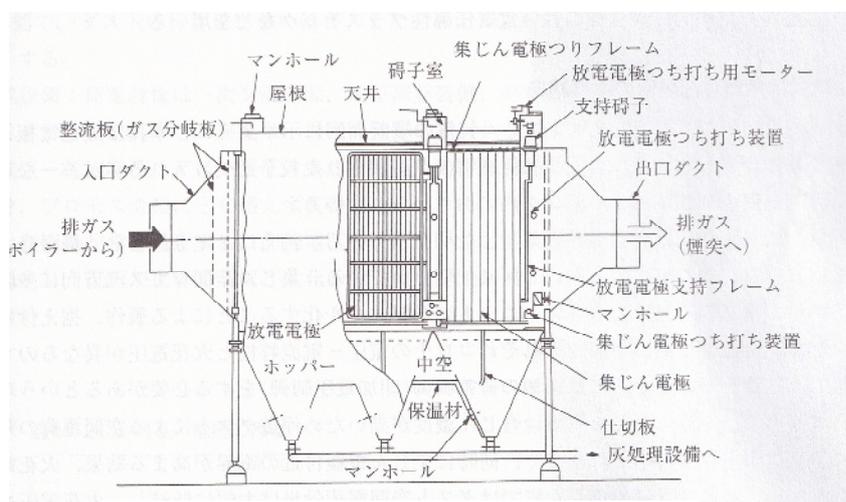


図 11. 平板形電気集塵機（出典：末尾記載）

の流速が遅い分、集塵機全体の容積が大きくなるので設備費が高くなります。構造が簡単で可動部分が少ないことから、保守と点検が容易な点が大きな長所です。煤塵が乾燥した固形物だけなら乾式集塵になりますが、集塵電極の表面に注水して水膜を作り、または集塵室に水を噴霧する湿式の集塵方式もあります。湿式の場合は捕集した煤塵を水とともに洗い流せるだけでなく、塩化水素な

どの有害ガスも捕集できますが、下流に排水処理設備が必要になります。なお、含塵ガスに硫酸ミストなど腐食性のある粒子が含まれていると、電極を腐食させます。このため、露点以下の低温で運転するなら、放電電極と集塵電極の保護対策が必要です。

3. 各種集塵機の適用範囲

図 12 に示すのは遠心力集塵機、洗浄式集塵機、ろ過式集塵機、電気式集塵機の部分集塵率です。部分集塵率は粒子径ごとの集塵率で、例えば洗浄式集塵機は $3\mu\text{m}$ の粒子を 60~85% 捕集できるという意味です。図 12 からわかるように、遠心力集塵機より洗浄式集塵機が、それよりろ過式集塵機や電気式集塵機の方が集塵性能の高いことがわかります。各種集塵機の適用粒子径、

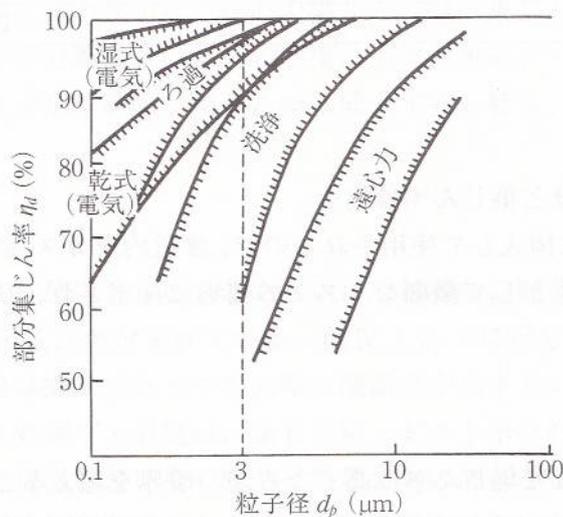


図 12. 各種集塵機の部分集塵率 (出典: 末尾記載)

圧力損失、集塵率と、設備費と運転費の概略を表 2 に示します。表 2 から読み取れるように、重力式と慣性力集塵機は設備費も運転費も安価ですが、

表 2. 各種集塵機の概略特性 (出典: 末尾記載)

種類	適用粒子径 (μm)	圧力損失 (kP)	集塵率 (%)	設備費	運転費
重力式	100~50	0.05~0.1	40~60	小	小
慣性力	100~10	0.3~0.7	50~70	小	小
遠心力	100~3	0.5~1.5	85~95	中	中
洗浄式	100~0.1	3.0~9.0	80~95	中	大
ろ過式	20~0.05	1.0~2.0	90~99	中以上	中以上
電気式	20~0.05	0.1~0.2	90~99	大	小~中

捕集できる粒子の径が大きく集塵率は高くありません。したがって鉱物の粉碎で発生する粒子径の大きい粉塵の捕集に適しているでしょう。遠心力集塵機は集塵率が高いですが、排出基準が厳しい設備の最終集塵機としては十分とはいえません。このため煤塵の量が多い場合に、径の大きい粒子を重点的に捕集して後続のろ過式や電気式集塵機の負荷を低減するのに適しています。洗浄式集塵機は捕集できる粒子径が小さく集塵率が高いのですが、排水処理設備が必要です。このため乾燥した粒子だけでなく、有害ガス成分やミストの同時捕集に適しています。とくに充填塔など塔形式の洗浄装置は、集塵機というより排ガス洗浄装置に適しています。ろ過式は捕集できる粒子径が十分に小さく、集塵率が高いので最終集塵機に適しています。ろ布の種類は豊富で、多様な煤塵に適応できます。設備費は電気式より低価格ですが、圧力損失が大きいため運転費が高くなります。一方、電気式は構造が単純なので保守や維持は容易ですが、容積が大きいため設備費が高いのが難点です。

(おわり)

参考資料および図 1~図 3. 図 5~図 12 の出典: 新・公害防止の技術と法規 2020 (産業環境管理協会)