

## 生産と技術

中で液状アマルガムで還元して滴定するか、常法の $\text{NH}_3$ で $\text{FeOH}_3$ としては沈澱させ灼熱して $\text{Fe}_2\text{O}_3$ としては秤量してもよい。

### 21. 銅

試料 5~10ccを蒸発皿にとり $\text{KNO}_3$ 約10mg加え湯浴上で蒸発乾固した後弱く赤熱し、冷後残渣に $\text{HCl}$ 少量加えてしめらせ再び湯浴上で乾固した後これを蒸溜水でとかして比色管に移し蒸溜水を加えてクエン酸アンモン溶液(10g/l) 5cc及びエチルキサントゲン酸カリ水溶液(1g/l) 10cc加えて蒸溜水で全量100ccとし黄色を比色する。

### 22. フェノール

ジブromキノクロロイミド法、フェノールを含む水にジブromキノクロロイミドを加えると約4時間後に青色を呈する。

試薬 ジブromキノクロロイミド溶液：2,6ジブromキノクロロイミド0.1gをアルコール2.5ccにとかしその5ccを蒸溜水で100ccにうすめる。

アルカリ性硼酸ソーダ溶液：無水四硼酸ソーダ、( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) 粉末15gを水900cc中にガラス棒で烈しくかきまぜながら少量づつとかし、これに苛性ソーダ溶液(30%) 11ccを加え冷後蒸溜水で1lにする。本溶液5ccを蒸溜水100ccに加えた時そのpHは9.6とならなければいけない。もし0.1以上の開きを示す場合はpH9.6とするのに必要な使用量を検定してをく。

硫酸銅溶液： $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の0.05gを蒸溜水にとかし1lとする。

操作 検水1~2lをビーカーにとり $\text{NaOH}$ 溶液を加

えてアルカリ性とし蒸発して約750ccとする。次に磷酸を加えてpH6.0~6.5とし蒸溜し正確に400cc溜取しその100ccるとり、それに硫酸銅1cc次にアルカリ性硼酸ソーダ溶液を加えてpH9.6としジブromキノクロロイミド溶液1.5cc加え、4時間以上放置後比色する。

### 23. カルシウム

カルシウムを微アルカリ性にて蓆酸アンモンにて沈澱せしめ、濾過し蓆酸カルシウムを $\text{HCl}$ にとかし過マンガン酸カリで滴定してカルシウムを沈澱せしめるに要する蓆酸量を求めて測定する。

エチレンジアミンテトラ鉛酸(E. T. A.)による方法 塩化アンモアンモニヤ緩衝液( $\text{NH}_4\text{Cl}$  67.5g 28%  $\text{NH}_3$  570ccを水にとかし1lとする)

指示薬 エリオクロムブラックT 0.5g 塩酸ヒドロキシルアミン4.5gをメチルアルコール100ccにとかしE. T. A. 約4gを水1lにとかし。(HgClにて標定)

試料に緩衝液を加え指示薬数滴を加えて、E. T. A.にて滴定する。 $\text{Mg}^{++}$ は同様の反応をする。 $\text{Co}$   $\text{Cn}$ は1 P. P. M.でも妨害する。

又上記指示薬を使わないでビーカーにE. T. A.及び蓆酸アンモン溶液を入れ試料にて滴定。終点は蓆酸カルシウムの白濁を生じた所。

以上1部項目に就て簡単に述べたが記載のもの全部が必要なわけではなく水の種類により使用目的により試験項目を選ばなければならない。要は始めに述べた如く工場側では常に検査して廃水の有害成分を出きりだけ取除き各種の障害の起らない様にし、河川等の利用者と共に汚濁防止につとめなければならない。

## サイクロンスクラッパーの微粒子捕集機構とその設計

大阪市立大学\*教授

吉田哲夫

### A 緒言

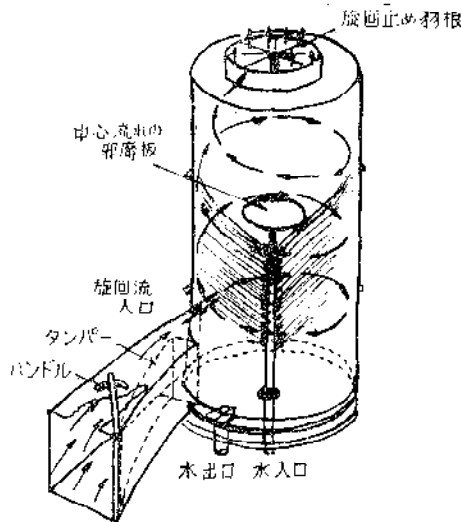
従来微粒子の捕集のためには乾式サイクロンが一般によく使用されているが、この種のサイクロンは大概 $10\mu$ 以上の粒子に対しては有位の性能を持つものであるがこれ以下の粒子を持つ微粒子に対しては適当な設備とはな

\* 大阪府北区野崎町

らない。そこでこの様な微粒子の捕集装置としては電気収塵器、超音波収塵器がその優秀な性能を発揮する事になるが、これらは設備費や運転費として大きな出資が必要となるので小中企業体には容易に推奨出来ないものである。ここに述べようとする湿式サイクロンはこの分野において相当の性能を発揮するものであるが、ことに2~ $10\mu$ の間の粒子や $0.1\mu$ 以下の微粒子に対して95%以上の

除塵効果を期待する事が出来る。現在のところ湿式サイクロンとしてはベンチユリースクラツパーとサイクロンスクラツパーの2つの形式を考えることが出来、両者共いづれも特徴があり、その性能の優劣を軽々しく判断出来ない。殊に後者は前者に比して設置に場所をとらない事、送風機の容量が小ですむ事なその諸点ですぐれてい。前者についての研究は比較的よく行われ、その研究報告も種々みうけられるが、後者についての研究は極めて数すくなく、従つて設計の基礎になる確な資料を見つける事は困難である。筆者はここに2、3の文献(4)を参考に自分の経験を入れてその微粒子捕集理論と設計について大要を述べようとするものである。

サイクロンスクラツパーは水滴と塵埃塵粒とが行路において接触或は衝突することによつて塵埃粒が捕集されると云うのがその原理である。第1図はこの説明図であ



第1図 サイクロンスクラツパーの説明

り、即ち円筒状の中にガスを円周方向に入れ旋回運動をおこし、それに洗滌水の噴霧をあて塵埃粒子を捕集しようとするものである。ガスの旋回運動と水の半径方向の運動とが塵埃粒子と水溶の衝突をおこさしめる。粒子を捕集した水滴は壁面に附着し洗い流され、スクラツパーの外へ排出される。衝突や接触の機会をなるべく多くするため出来るだけ噴霧の量を大ならしめる事が必要であるが、あまりにその量が過大であると無数水滴量が多くなり、圧力損失の点においても損である。又旋回室の直径が小になると衝突の機会が少くなるので噴霧量を多くせねばならぬ事も考え得る事である。

旋回室内の軸方向のガス速度の流入速度に比例し、遠心力は流入ガスの速度の2乗に比例するからガスの流入速度があまり低いと、噴霧の水滴がガスに同伴されて衝突に逃げ去る恐がある。このためにガスの入口にダンパーを取りつけガスを絞り、流れを加速する様にしてあ

る。

## B 水滴によつて塵埃粒子が捕集される理論

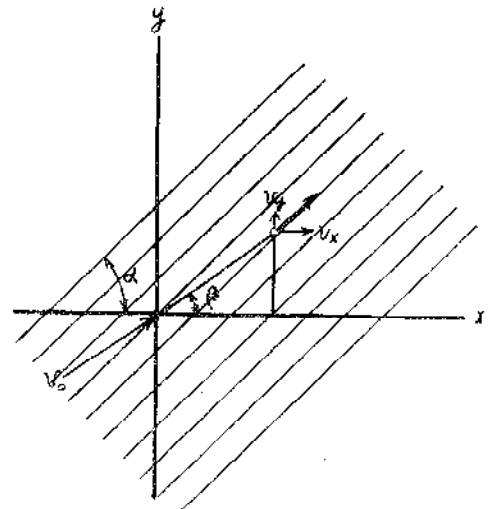
### 1. 衝突による捕集

ガス体に浮遊して流れる微粒子の通路内に或障害物(例えば水滴)を置いてその表面に衝突の作用によつて微粒子を沈積せしめる場合については解析的に一般に次の様に考えられる。

まづ障害物のまわりに空気の如き粘性流体が互に平行な流線をなして流れていると考える。そうするとこの流線を横ぎる微粒子の運動は第2図に示す如く、任意の点での力の場の成分として、次の方程式であらわされる。

$$-m \frac{dv_z}{dt} = K(V_x - u \cos \alpha) \quad (1)$$

$$-m \frac{dv_y}{dt} = K(V_y - u \sin \alpha) \quad (2)$$



第2図 ガス流れ中における微粒子の運動

これらの方程式の中で Kは Stokes' Law の抵抗係数と呼ばれるものである。(1)(2)式を積分すると、任意の時間における移動距離は次の式であらわされる。

$$X = \frac{mu}{K} \left[ \cos \alpha \left\{ \frac{Kt}{m} - (1 - e^{-kt/m}) \right\} + \frac{V_0}{u} \cos \beta (1 - e^{-kt/m}) \right] \quad (3)$$

$$Y = \frac{mu}{K} \left[ \sin \alpha \left\{ \frac{Kt}{m} - (1 - e^{-kt/m}) \right\} + \frac{V_0}{u} \sin \beta (1 - e^{-kt/m}) \right] \quad (4)$$

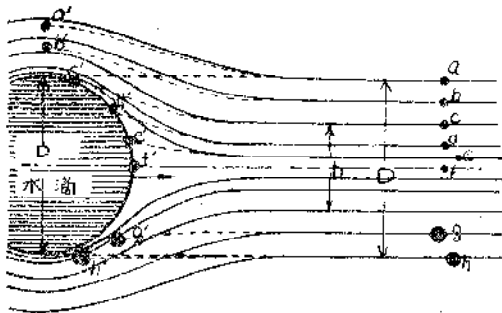
(3), (4)式に於て流線の速度と方向、及び微粒子の  $X=0$  における速度  $V_0$ 、並にその流線とのなす角がわかつておれば、微粒子の通路を次々と追跡する事が出来る。

(3), (4) は夫々

$$\frac{X}{D} = \frac{\mu u}{KD} \epsilon \quad \text{--- (3)'}$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{\mu u}{KD} \epsilon \quad \text{--- (4)'}$$

なる簡単な無次元の形であらわす事が出来る。式中Dは障害物を円形とみなしての直径である。Sell<sup>(2)</sup>は障害物を直径Dなる球として(3)', (4)'によつて理想的な流れについて微粒子の運動を追跡したのであるが、其概念は第3図に示めされている如く、流線と同速四方



第3図 微粒子の水滴球への衝突

向に運動していた粒子 a, b, c, ……は球の近傍において流線が彎曲するにつれてその通路を異にして夫々 a', b', c' ……に到達する。直径Dなる球と同じ直径を持つ流線束の円筒内にある粒子が總て球と衝突するのではなく、C粒子より内側の粒子だけが衝突することがわかる。C粒子以内總ての粒子が衝突にあつかる流線の幅をbとすれば、その流線の横断面積と障害物の流線に直而な断面積との比を衝突の効率 $\eta$ と呼ぶならば、障害物が球なるときは  $\eta = b^2/D^2$ 、又円筒なる場合は  $\eta = b/D$  となる。又(3)', (4)' 式中の  $\mu u/(KD)$  の無次元項は Stokes の法則に従う小さな球状粒子の衝突による沈積効率 $\eta$ を決定するものとして微粒子の Impactibility と呼ばれる性質のものである。第4図は  $D = 100\mu$  の円筒と流線に直面上にいた板金(円筒と同直径)並に同直径の球についての sell の計算結果を示したものである。

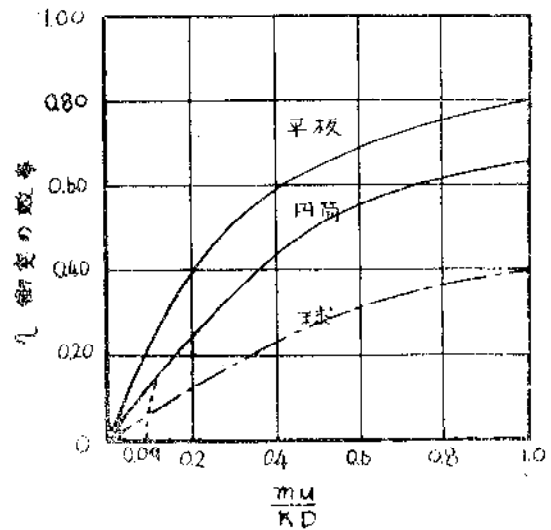
今微粒子の直径をaとし、流体の粘性を $\mu$ とすると、Stokes の抵抗係数は

$$K = 3\pi\mu a$$

故に 
$$\frac{\mu u}{KD} = \frac{1}{18} \frac{d^2 u \rho}{\mu D} \quad \text{--- (5)}$$

(5) 式によると密度の異なる球状粒子の衝突の効率は微粒子の直径の二乗と障害物の大きさとの相互の函数であること分る。

Sell のこの様な計算は境界層の存在を考えていないもので Albrecht<sup>(3)</sup> の実験によると円筒に対する沈積は  $\mu u/(KD) = 0.09$  の時 0 であると言われるが境界層の存在を考えるならば十分このことは予斯されることである。



第4図 微粒子の衝突効率

第4図には Albrecht の曲線は  $\mu u/(KD)$  の低い部分について点線でしめされているが更に大きい部分については Sell の曲線に一致している。それ故に塵埃の微粒子が非常に小なる時や障害物の直径が非常に大きいときには境界層の存在のため衝突による沈積が生じないことは Albrecht の曲線によつても十分説明出来る。

以上衝突による捕集効果について考えたのであるが、微粒子の粒径が極度に小なる時には他の沈積の機構を考えねばならぬ事になる。

## 2. 拡散による捕集

微粒子が非常に小になると Brown 運動による微粒子拡散が大きな役割を持つ様になる。つまりたとえ障害物よぎるガスの流速が非常に大であつても沈積効率は微粒子の大きさが  $0.5\mu$  以下であるときには衝突によるよりも拡散によるものの方が大となつてくる。この拡散の考え方は混合ガス体から溶質ガスが水に吸収される場合と同じで、微粒子が静止した層を固体表面へ拡散するものと考えてさしつかえない。それ故に静止層の外側の微粒子の濃度は一様であり、一方固体表面自身においては濃度は0である。つまりこの際の表面と粒子との衝突は完全に非弾性であるとみなされるから、直径Dなる球体の表面への拡散によつての微粒子の捕集割合は厚Xの膜を横切る濃度勾配に比例し、一般の吸収方程式であらわされる。

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\pi D^2 D_v (C_0 - 0)}{X} \quad \text{--- (6)}$$

ここに  $D_v$  は微粒子の拡散率であり、tは時間である。ガスが単位距離を移動する時間に拡散によつて集められる微粒子の数は  $\pi D^2 D_v D_0 / (ux)$  であり、これに対して直径bなる単位長さの流線束の中に最初に含まれている微

粒子の数は  $\pi b^2 C_0 / 4$  であるから、これらを等しく置き  $b^2 / D^2$  についてとくと、拡散による沈積の効率 は次の様になる。

$$\eta = (b/D)^2 = 4 \frac{D_v}{uX} \quad (7)$$

(7) 式中の有効膜の厚さ  $X$  は Reynold's Number と Schmidt Number の函数であり Eads<sup>(4)</sup> によると次の様にあらわされる。

$$\frac{D}{X} = 2 + 0.557 (R_0)^{0.5} (S_0)^{0.375} = 2 + 0.557 \left( \frac{Du \rho_g}{\mu} \right)^{0.5} \left( \frac{\mu}{\rho_g D_v} \right) \quad (8)$$

Brown 運動による拡散率  $D_v$  は一般に Stokes-Einstein の方程式をかりて計算出来る。即ち

$$D_v = \frac{KT(1 + 1.72\lambda/a)}{3\pi\eta a} \quad (9)$$

$\mu$ 以下の粒子に対して Cunningham の修正係数があるが、第1表にはこれらを含めて種々の粒径の極微粒子に対して 25°C における  $D_v$  及び  $S_0$  数をあてている。

第1表 25°C の空気における微粒子の拡散率 ( $10^{-5}$ cm の分子の平均自由径路に基いての計算)

微粒子の直径 ( $\mu$ )	$D_v$ cm <sup>2</sup> /sec	Schmidt No. $\mu/(\rho_g D_v)$
0.5	$6.4 \times 10^{-7}$	$2.4 \times 10^6$
0.1	$6.5 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^4$
0.01	$4.4 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^2$
0.001	$4.1 \times 10^{-2}$	3.7
SO <sub>2</sub> 分子	$11.8 \times 10^{-2}$	1.28

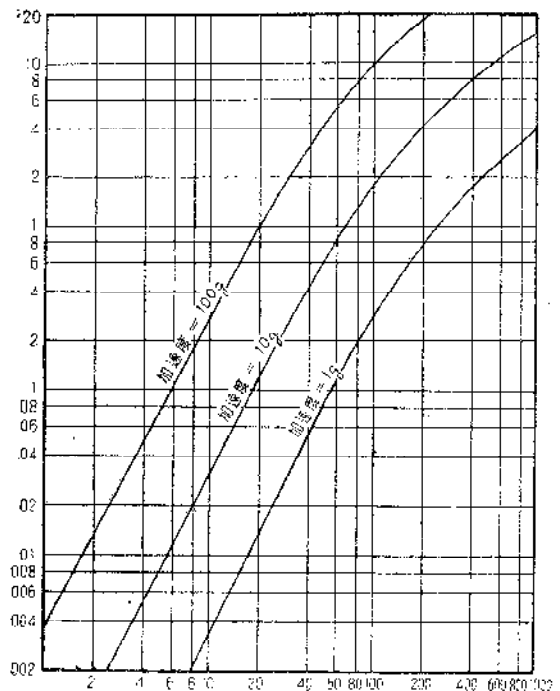
以上の式を使うと、拡散による沈積効率が任意の速度でながれている球状粒子について計算出来る。

### 3. 捕集効率

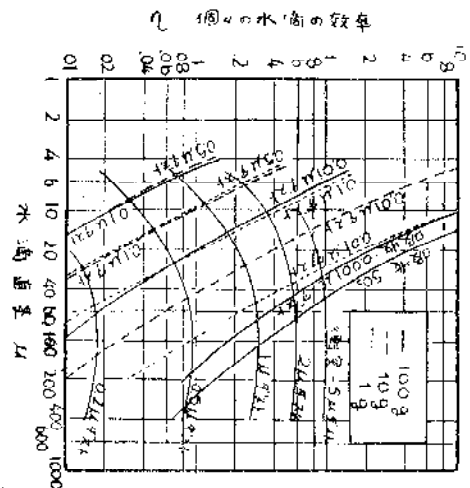
既述の如く、サイクロンスクラツパーは塵埃を含んだガス流にノズルより水滴を噴射して塵埃を捕集しようとするのであるが、簡単な噴霧では役立たず、大きな表面積をもつた相当数の水滴をあたえる必要がある。そのためには出来るだけ小さい水滴を数多く飛ばさねばならぬが、水滴が小になると速かにその運動エネルギーを失い、気流と同じ速度でながれ衝突による沈積はなくなってくる。塵埃の微粒子が  $0.5\mu$  より大きい場合には衝突による効果が大であり、それ以下であれば吸収による効果が大であることは前節にのべたことであるが、このことを更に式の上で考えると、衝突については(5)式に於て水滴の直径  $D$  が小になると確に衝突効率は上昇するが(第4図参照)、同時にその効率を維持せしめようとするれば流速をあげねばならぬことが分る。又拡散については(8)、(9)式でわかる様に矢張り水滴の径を小にす

れば吸収効率をあげ得るが、7式で見るとこの場合に流速  $u$  が小なる程よい。この様に速度  $u$  の効率への影響は衝突と吸収と相反するのであるが、いずれの場合においても径の小なる水滴が気流を横切り貫通する必要がある。サイクロンスクラツパーでは能率のよい水圧ノズルによつて出来るだけ微粒の水滴を作り、それを旋回気流の遠心力をかりてガス流になげつけてその目的を達しようとしている。

水滴の速度は抵抗係数を使つて遠心力の場における球状体の終末速度の方程式から計算出来る。抵抗係数は  $R_0$  数の小なる間は  $R_0$  数の函数であるが、大になると球状体の直径  $D$  の二乗に比例する様になる。第5図は水



第5図 遠心力下における空気中の水滴の速度



第6図 衝突及吸収作用による微粒子の個々の水滴球への沈積効率

生産と技術

滴の各大きさに対して半径方向の加速度を 100g、10g、1g に取つた場合についての水滴の速度をあらわしている。これらの値から衝突による沈積効率を計算出来るのであり、第6図は各塵埃微粒子の大きさ及び水滴の大きさについて 100g の場合にたいしてこれをあらわしている。これによると水滴が約 100 $\mu$  の時に衝突による最大効率を得られることが分る。尚お同図における左側の曲線は塵埃粒子の大きさ及各法線加速度について拡散による捕集効率をあらわしている。即ち拡散による効率は衝突による場合の効率と異なり水滴径が小なる程、且つ加速度が小なる程良いことが分る。又この図から知られる様に 0.5~0.1 $\mu$  の大きさの微粒子が最も捕集困難であり微粒子が更にこの範囲より小になると拡散作用によつて吸着され易くなり、この範囲より大になると衝突によつて捕集され易くなる。

以上考えて来た捕集効率 ( $\eta$ ) とは個々の水滴について衝突並に吸収の効率を考えたのであるが、次にサイクロンスクラツパー内の全体の微粒子に就いての捕集効率 (E) を考えて見よう。

直径 D の 1 個の水滴がうごくことによつて掃除されるガスの体積は水滴の断面積にそれがガスに対して相対的にうごく距離 R をかけた積即ち  $\pi D^2 R / 4$  であらわされるものとすれば、水の全量によつて掃除されるガスの体積は各々の水滴によつて掃除されるものの和である。一般の円筒形のスクラツパーに於てはスクラツパーの直径を  $D_s$  として  $R \approx D_s / 2$  とみなすことが出来る。直径 D の水滴の体積は  $\pi D^3 / 6$  であるから、若し D が水滴の平均直径をあらわしているものとすれば、水滴の全部の数は水の全量(体積) W から  $6W / \pi D^3$  と計算出来る。故に全水滴によつて掃除されるガス量(体積)は

$$S = \left\{ \frac{\pi D^2 D_s}{4 \times 2} \right\} \left\{ \frac{6W}{\pi D^3} \right\} = \frac{3 D_s W}{4 D} \quad (10)$$

実験にはガス中の塵埃微粒子の掃除を対照とするものであるから衝突又は吸収の効率  $\eta$  を(10)式に乗じて

$$S' = \frac{3 \eta D_s W}{4 D} \quad (11)$$

とすべきである。ここに  $S'$  は当然取扱う全ガス量 G に関係を持たせて考えるべきで即ち  $(D_s / D)(W / G)$  なる無次元項を考えると、この項がスクラツパーの掃除効率 (E) に大きな影響をあたえることになる。ガス中に残留する塵埃の量は噴霧の量が増加するにつれて指數的に減ずるものとして、

$$E = 1 - e^{-\frac{3 \eta D_s W}{4 DG}} \quad (12)$$

の如くあらわされる。

(12)式によると、 $\eta = 1$  とする時水滴によつて掃除されるガス量 S が全ガス量 G に等しい場合における E は 63.2% にすぎず、E をこれより大にしようとするれば、S を G より増加せねばならぬ。例えば  $S = 2G$  とすれば  $E = 86.4\%$ 、 $S = 3G$  になれば、 $E = 95.0\%$  となる。

**C サイクロンスクラツパーの設計**

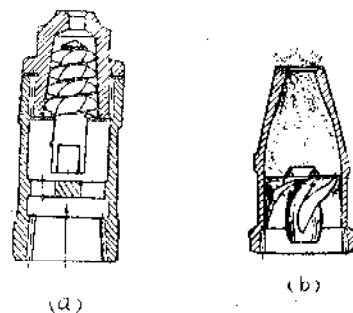
**1. 設計方針**

設計にあつて一般にあたえられるデータは次の様なものである。即ち取扱うガス量(G); 捕集すべき塵埃の粒径 (d); 塵埃の許容残留量 (即ち E) であり、これに附随してガスの温度並にその化学的物性的性質があたえられている。

これらのデータをもとにしてきめなければならぬものは、サイクロン直径( $D_s$ ); サイクロンの高さ ( $L_s$ ); サイクロンのガス入口並に 出口の形状及びそれらの大きさ; 水量(W); 水圧; ノズルの種類及び数; ポンプ及び送風機の容量; 總ての構成材の材質等であろう。

扱て設計にあつての諸計算は主として前節に示されている線図や式を使用して行うのであるが次の様に順序だてて考えることが出来る。

(I) 捕集すべき塵埃の粒径 (a) が与えられているのであるから第6図を使用して噴霧の水滴の径(D)をきめる。前述の如くこの種のスクラツパーは 0.1~0.5 $\mu$  の範囲にある微粒子に対しては非常に捕集が困難になるが、2 $\mu$  以上の粒子に対しては十分衝突による効率を発揮出来、又 0.1 $\mu$  以下に対しては拡散による吸収効率が大きい。それ故衝突による効率を狙わなければならぬ微粒子についてはガスの入口流速を速め旋回運動の遠心加速度を 100g 位にとり、水滴の径は 100 $\mu$  位に取る。若し吸収による効果を期待せねばならぬ時は旋回運動を緩速にし、水滴の径を 10 $\mu$  位にとる様に。Kleinschmide<sup>(1)</sup> はこの様な衝突、吸収の効果を区別しないで全体として水滴径は塵埃粒子径の 200 倍以下にとればよいと主張している。



第7図 (a) Hollow-cone 型ノズル (b) Solid-cone 型ノズル

(I) 水滴の直径(D)がきまると、これに必要なノズルやその噴射圧力をきめなければならない。噴霧ノズルには色々の種類があり、目的に応じて適当なものを選ばねばならぬ。サイクロンスクラツパーに対しては主として圧力噴射ノズルが用いられるが、その内で適当と思われるのは第7図にしめされている様な

第2表 三つの同型の Hollow-cone ノズルによる水滴の分布

水滴の見掛の直径(μ)	水 滴 の 数					
	オリフィス直径 1.6mm			オリフィス直径 2.28mm		オリフィス直径 3.26mm
	3.5kg/cm <sup>2</sup>	7kg/cm <sup>2</sup>	14kg/cm <sup>2</sup>	7kg/cm <sup>2</sup>	14kg/cm <sup>2</sup>	
10	375	800	1700	100	300	100
25	200	280	580	60	150	50
50	160	180	260	41	100	45
100	50	60	70	26	34	27
150	27	31	35	14	18	15
200	19	23	27	9	12	11
300	8	9	11	5	8	6
400	2	4	4	4	7	3
500	1	1		2	1	2
600	1			1		1

Hollow-cone 型(a)と Solid-cone 型(b)である。第2表には Hollow-cone 型ノズルについて噴出口の直径及噴出圧力を加えた場合に対しての水滴粒度をあらわしている。一般に噴霧ノズルによつて形成される水滴の大きさは広い範囲に変化して平均粒径をきめるのは困難であるが、これには図式計算法<sup>(9)</sup>なぞが用いられる。しかし第2表から一見してわかる様に Hollow-cone 型ノズルは大体50μ以下の粒子を作るに適している。従つておもに吸収による脱塵効果を狙わねばならぬ場合にはこの種のノズルが適当と思われる。Solid-cone 型ノズルはこれより少し大きい径の粒子を作る事が出来、且つその噴射はガス層に対して相当大きい貫通力をもつと云われる故、衝突による脱塵効果を望む場合には、この型のもので噴霧の開き角度がすくないノズルが適当であろう。又ノズルが小型である程且つ噴射圧力が大なるほど、噴霧粘子が小になると共にその分布も均一になる故、サイクロンスクラツパーには小型のノズルを沢山使用して、なるべく噴射圧力の高い状態で使用するのが得策である。

第3表には上記の2種類のノズルに就いて噴出口の直径、噴射圧力、噴射水量及び噴霧の開き角度の相

第3表 圧力ノズルの噴射量及び噴霧の角度

ノズルの型	オリフィス直径(mm)	噴 射 量 (l/min) と 噴 霧 の 角 度							
		0.7kg/cm <sup>2</sup>		1.75kg/cm <sup>2</sup>		3.5kg/cm <sup>2</sup>		7 kg/cm <sup>2</sup>	
		噴 射 量	角 度	噴 射 量	角 度	噴 射 量	角 度	噴 射 量	角 度
Hollow cone	1.168			0.3785	65	0.511	68	0.692	75
	3.56	2.02	82	3.32	88	4.16	90	5.67	93
	5.54	4.74	83	7.11	86	9.65	89	13.05	92
	9.53	27.2	62	44.7	70	60.5	70		
Solid cone	1.193			0.632	65	0.89	70	1.288	70
	4.78	6.07	55	9.31	58	13.0	60	18.08	60
	6.35	12.68	65	20.41	70	27.38	70	39.4	75
	12.7	66.3	86	102.0	84	146.2	73		

互の関係をあらわしている。ノズルの材料としては一般に中軟鋼、真鍮、燐青銅が用いられるが、取扱うがガスや微粒子の性質を十分くらべてその材質の選定をあやまらない様にせねばならぬ。ことに腐蝕、浸蝕の作用に対しては十分留意し、場合に応じて不銹鋼、モネルメタル、硬鉛、陶器、硬質ゴム及びガラスなどが用いられる。

扱て前項より水滴の径が指摘される故、それに従つ

て第2表をつかつてノズルの型をきめ、第3表より、その大きさをきめれば、(12)式よりの使用全水量Wとから使用するべきノズルの数が分り、且つ噴射ポンプの容量をも算定する事が出来る。

(II) (12)式においてE, Gが与えられたデータであり、Dは前項よりわかり、又 η は第6図を使つて推定出来る故(11)式のS'が計算出来る。そうするとD<sub>0</sub>XWの値がわかり、ここに D<sub>0</sub>をきめればWを知ることが

出来る。

(IV) サイクロンの入口面積を  $A_1$  とすればその入口速度は  $V_1 = G/A_1$  となり、サイクロンの遠心効果は近似的に  $2V_1^2/(gD)$  と置く事が出来る。この値は遠心加速度と重力の加速  $g$  との比であり、設計の最初にあたって第 6 図等で 10~100 に見積られるのであるから、 $A_1$  が推算出来、従つて  $A_1$  を出す事が可能である。遠心効果の値がきまるとき  $D_0$  を大にすれば  $V_1$  が大となり、 $A_1$  が小となる。 $D_0$  を大にすれば  $W$  をへらすことが出来る。(III参照)。ここに  $A_1, D_0, W$  の間に相関聯性がみとめられる。

(V) 圧力損失

一般にサイクロンの圧力損失は流速の二乗に比例すると考えられる故、便宜上入口速度頭  $V_1^2/2g$  の倍数で表わす。今入口速度頭を水柱で表わすと(第 8 図参照)

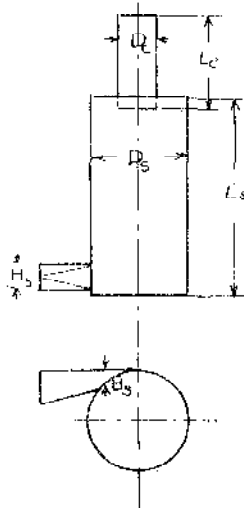
$$\text{入口速度頭} = 0.00051gV_1^2 \text{ (cm 水柱)} \text{--- (13)}$$

但しここにおける  $V_1$  は (cm/sec) であらわすサイクロン本体及び出口管を通じての圧損失を入口速度の倍数であらわすと

$$\Delta H_v = F_{ev} + F_{ev} - 1 + (A_1/A_0)^2 \text{--- (14)}$$

ここに  $F_{ev} = K \frac{B_s H_s}{D_e^3}$  ( $K \approx 16$ )

$$F_{ev} = \frac{4fL_e}{D_e} \text{ (} f \approx 0.006 \text{)}$$

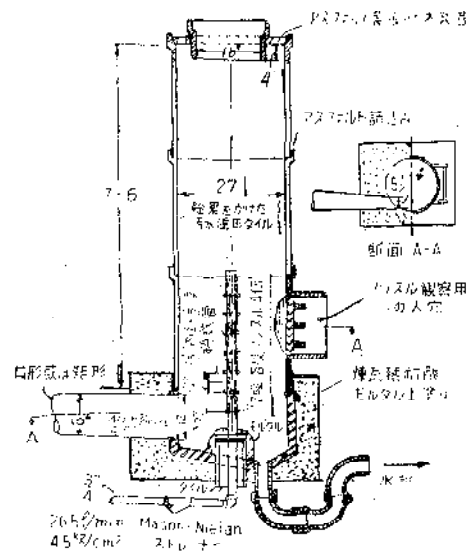


第 8 図

$F_{ev}$  の中には入口におけるガスの膨脹による損失、サイクロン内における旋回による運動エネルギーとしての損失、及びサイクロン内における壁面との摩擦による損失等が含まれており、 $F_{ev}$  は出口管における摩擦損失をあらわす。この外に噴霧層を通過するための抵抗を約水柱 25~30mm に見積つて全体の圧力損失を

計算する。

(VI) サイクロンの高さは水滴の同伴を防ぐだけの十分の余裕をもつた寸法でなければならない。そのためにはガスが最後のノズルから出口まで通過する間に水滴の最も小なる粒子が墜まで運ばれねばならぬ事になる。従つてサイクロンを通過するガスの軸方向の速度、ノズルの開き角度、最小の水滴径及びその運動等が高さを決定する要素となるがこれらの間における確実な方程式は未だない様であるが、今ここでは簡単に次の如く考える。即ち最後のノズルまでの高さは製図する事によつて構造上きめ得られるからそれから出口までの高さを上に述べた概念のもとにきめればよい。先づ使用ノズルに応じて最水径を第 2 表などを参考にして推定し、これに対して第 5 図でその水滴についての速度をきめ、その速度のもとに水滴が壁に到達するまでにガスのサイクロンの軸速度によつて出口まで持ち去られない様に高さを計算する。尚お最後にこの様にして算出した寸法を第 9 図及び第 4 表に示された既設サイクロンの寸法や性能と照合し、不釣合のない様にせねばならぬ。



第 9 図 酸性ヒューム用スクラツパー

2. 設計例

課題 ;  $G$  (空気) =  $150m^3/min$  at  $15^\circ C$ ,  $d = 2 \mu$ ,  $E = 95\%$ なるサイクロンスクラツパーを設計せよ。但し空気は入口において  $40^\circ C$ 、出口において  $20^\circ C$  の温度を持つものとする。

塵埃の微粒子の平均直径が  $2 \mu$  であるから、先づ第 6 図を参考にして  $D = 100 \mu = 0.01cm$ ,  $\eta = 0.6$  と推定してこの程度の平均水滴を作るのには Solid-cone 型の噴霧ノズルが適当であると考え、第 3 表においてゲージ圧力

第 4 表 サイクロンスクラツパー試験結果

ガス[の種類	ガス量 m <sup>3</sup> /min at15°C	粒 子		サイクロン			噴霧		ノズル 材 質	捕集 効率 %			
		gr/l	大きさ μ	直径 cm	高さ cm	材質	mm水柱	l/m <sup>3</sup>					
化学ヒューム	5.66	0.6	0.5~3.5	31	183	銅	229	1.34	24	0.94	4.2~25.2	真 鍮	94
"	56.6	0.08	0.2~2.0	91	915	"	116.4	0.805	48	1.17	28	モーネル	65
ターフオグ	5.66	0.07~0.1	0.1~2.0	31	183	"	229	1.34~4.02	24	0.94	5~25.2	真 鍮	91
"	141	"	0.2~2.0	122	362	鉛 裏張	127~305	0.67~2.01	335	"	7~22.4	モーネル 真 鍮	50~ 75
ソープダスト	56.6	Var	Large	91	183	銅	25.4	0.134~0.67	rotary	—	—	真 鍮	99
"	425	"	"	213	362	"	63.5	0.0345~0.201	"	—	—	"	99
ターフオグ	710	0.00634~ 0.00955	0.1~2.0	244	610	"	76.2	0.377~0.616	164	2.44	3.5~8.25	"	65~ 80
ボイラー 排ガス	1275	0.00882~ 0.0882	2.0~5.0	321	610	耐酸 レン ガ	203~ 38.1	0.264~0.402	80	4.78	3.5~5.25	Lava	82~ 95
高 炉 ガ ス	1418	0.0882	—	366	1830	銅	229	2.28	534	3.56	5.6	"	99

100<sup>1b</sup>/l<sup>1b</sup>(=7<sup>kg</sup>/cm<sup>2</sup>); 吐出量 77.3 l/hr=1.288l/min;  
 角度70度の Solid-cone ノズルを採用する。又ノズル  
 の材料は磷青銅とする。

(12)式において、E=0.95なるためには

$$\frac{3 \eta D_s W}{4 DG} = 3$$

でなければならない。今空気は (40+20)/2=30°C の平  
 均温度をもつものとすれば、G=158m<sup>3</sup>/min と修正さ  
 れる。依つて

$$D_s W = 4 DG / \eta = \frac{4 \times 0.0001 \times 158}{0.6} = 0.1054 \text{ m}^4 / \text{min}$$

今 D<sub>s</sub>=1.5m とすれば、W=0.0703 m<sup>3</sup>/min=70.3 l/min  
 となる。従つてノズルの数は 703/1.288=55個となる。  
 従つて吐出量 70.3 l/min、圧力 9kg/cm<sup>2</sup> の水ポンプを  
 必要とするが実際のポンプ容量はこれに適宜余裕をもた  
 してきめねばならぬことは言うまでもないことである。

又 6 図に於て遠心加速度 100g のものを採用した 8 ので  
 あるから

$$100 = 2 V_1^2 / (g D_s)$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{100 \times 9.8 \times 1.5}{2}} = 27.1 \text{ m/sec} = 2710 \text{ cm/sec}$$

従つてサイクロン入口面積 A<sub>i</sub>=G/V<sub>1</sub>= $\frac{158}{60 \times 27.1}$   
 =0.0902 m<sup>2</sup>=972 cm<sup>2</sup> となるから B<sub>s</sub>=20cm, H<sub>s</sub>=48.6  
 cm (第 8 図参照)

次に圧力損失の計算を行う。

30°C における空気の比重 ρ<sub>g</sub>=1.127×10<sup>-3</sup>gr/cm<sup>3</sup> であ  
 るから、(13)式において

$$\text{入口速度頭} = 0.00051 \rho_g V_1^2 = 0.00051 \times 1.127 \times 10^{-3} \times 2.710^2 = 4.22 \text{ cm 水柱}$$

今サイクロン出口径を De=D<sub>s</sub>/2=150/2=75cm とすれ

ば、

$$F_{ev} = K \frac{B_s H_s}{D_e^2} = 16 \times \frac{972}{75^2} = 2.7 \text{ b5}$$

又サイクロン出口管の長さ L<sub>e</sub>=300cm とし、その面積  
 A<sub>e</sub>=4420cm<sup>2</sup> であるから、

$$F_{ev} = \frac{4 f L_e}{D_e} \left( \frac{A_i}{A_e} \right)^2 = \frac{4 \times 0.006 \times 300}{75}$$

$$\left( \frac{972}{4420} \right)^2 = 0.00464$$

故に(14)式において

$$\Delta H_v = F_{ev} + F_{ev} - 1 + (A_i/A_e)^2 = 2.765 + 0.00464 - 1 + 0.0484 = 1.81804$$

よつて全損失=4.22×1.81804=7.67cm 水柱

これに噴霧層を通過するための抵抗を水柱 3cm と見積  
 れば、全体としての圧力損失は 7.67+3=10.67cm=10.67mm 水柱となる。

故に吐出風量 15m<sup>3</sup>/min at 15°C、圧力 107mm 水柱  
 の値に適宜余裕をもたせて所要送風機容量を決定する。

次に高さはガスのサイクロン軸方向の平均速度は

$$\frac{158}{60} \times \frac{1}{\pi \times 0.75^2} = 1.49 \text{ m/sec}$$

であり、これに第 5 図を利用して (100g について)

最小水滴の直径 (μ)	水滴の遠心速度 (m/sec)	最終ノズルの位置よりサイクロン出口までの高さ (m)
10	0.26	4.3
15	0.60	1.86
20	0.95	1.178

と計算出来るから第 9 図、第 4 表を照合して約合のとれ  
 た値にきめる。

記 號



生産と技術

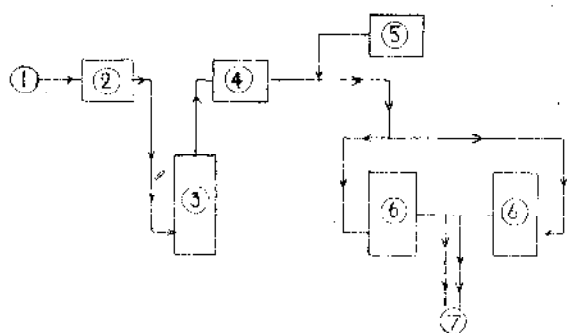
- A<sub>i</sub> …… サイクロンの入口面積 (cm<sup>2</sup>)
- A<sub>e</sub> …… “ の出口管面積 (cm<sup>2</sup>)
- b …… 流線束の幅又は直径 (cm)
- C …… ガス中における微粒子の濃度 (Number/cm<sup>3</sup> or mol/l)
- D …… 水滴の直径 (μ or cm)
- D<sub>s</sub> …… サイクロン本体の内径 (cm)
- D<sub>v</sub> …… 微粒子の拡散率 (cm<sup>2</sup>/sec)
- d …… 塵埃微粒子の直径 (μ or cm)
- E …… サイクロンスクラツパーの除塵効率
- G …… ガス量 (m<sup>3</sup>hr or m<sup>3</sup>/min)
- g …… 重力の加速度 (980cm/sec<sup>2</sup>)
- K …… Boltzmann 恒数 1.37×10<sup>-16</sup>erg/°k
- m …… 塵埃微粒子の質量 (gr)
- T …… 絶対温度 (°k)
- t …… 時間 (sec)
- V<sub>i</sub> …… サイクロンにおけるガスの入口速度 (m/sec or cm/sec)
- V<sub>x,y</sub> …… 微粒子の速度 (cm/sec)
- u …… ガスの流速 (m/sec or cm/sec)
- W …… 水量 (m<sup>3</sup>/min or l/min)
- B<sub>s</sub>, D<sub>e</sub>, H<sub>s</sub>, L<sub>e</sub>, L<sub>s</sub> は第8図参照、単位は (cm)
- η …… 衝突又は吸収作用による粒子の水滴表面への沈積効率

- κ …… Stokes の抵抗係数 (gr/sec)
- λ …… ガス分子の平均自由移動距離 (cm)
- ρ<sub>g</sub> …… ガスの密度 (gr/cm<sup>3</sup>)
- μ …… ガスの粘度 (gr/cm sec) or ミクロン ( = 1/1000 mm )

文 献

- 1) …… R. V. Kleinschmidt and A.W. Anthony ; Trans. A.S. M. E., vol. 63, No. 1 (1941)  
R. V. Kleinschmidt ' Chem. and Metall. Engg., Vol. 46 (1939)  
H. F. Johnstone and M.H. Roberts ; I.E.C., Vol. 41, No. 11 (1949)  
M. D. Engle ; Trans. A. S. M. E., vol. 59 (1937), P.358~360  
H. F. Johnstone and R. V. Kleinschmidt ; Trans. Am. Inst.chem. Engrs., Vol. 34 (1938)
- 2) …… W. Sell , Forschungsheft, (1931), 347
- 3) …… F. Albrecht ; Physik. Z., 32, Nr.48 (1931)
- 4) …… D. K. Eads ; M. S. thesis in chemical engineering, University of Illinois' (1947)
- 5) …… J. H. Perry ; Chem. Engrs, Handbook, 3rd Edition (Spraying)

(42頁の続き)



第 2 図

- ① 生ガス入口
- ③ ポンプ
- ② 分解変成炉
- ④ 炭化水素気化器
- ⑤ アンモニヤポンペ
- ⑥ 滲炭窒化炉
- ⑦ 放出廃棄ガス出口

は約 0.3mm である。尚おガス分解変成器、滲炭窒化炉等は 不銹鋼で作製すると 1ヶ月以上の寿命が保証出来る。本法で 8~10 時間操業を行つた場合の平均操業費の概算を示すと第 4 表の通りである。

第 4 表

名 称	使用量	1時間当り費用	
		円	円
電力(変成炉)	30kwh	63	0.157
電力(滲炭窒化炉)	40kwh	84	0.21
都市ガス(毎時)	3m <sup>3</sup>	48	0.12
アンモニヤ(毎時)	0.4m <sup>3</sup>	30	0.075
滲炭窒化炉 寿命 H <sub>2</sub>	720	41	0.102
変成炉 寿命 H <sub>2</sub>	2160	52	0.13
人 件 費	(2.)	128	0.32
共 他	—	—	0.50
計			1.61

但し、1時間当り400ヶ処理し得るとす。

自転車部品(フリーホキル用ギヤ) 1ヶ当りの費用が凡そ 1円60銭となり、従来の固体滲炭法に比較して凡そ半分の費用で足りることとなつた。一方製品は一層均等となり品質が著しく向上し、作業は清潔に行われるよれになつた。連続炉を用い全自動制御方式を採用すれば更に優れた成績が期待されるため目下その準備が進められている。