— 論 文 —

煙道内排ガス中の煤塵濃度測定用ダストチューブの検討†

(昭和 39 年 7 月 27 日 受理)

氷 見 康 二・田 中 日出男・村 松 富美雄*

JIS Z 8808「煙道排ガス中のバイジン量の測定方法」に規定されたダストチューブを用いて、空気流中にフライアッシュを混合して作った既知含塵濃度の気流中の含塵量を測定し、この性能を実験的に検討した。

いま既知含塵濃度に対するダストチューブによる測定濃度の百分率を R とし、等速吸引速度に対する測定の際の吸引速度のそれを U とすれば、両者の間には $R=A/U^n$ なる関係が成立する。

そして n はダストチューブ吸引口の径、ノズルの長さ、形、気流々速等により相違することがみとめられ、更に JIS 例示のダストチューブには改良の余地のあることが明らかになった。

1 緒 言

工業都市の大気汚染が深刻な社会問題となり、その防止対策の樹立の必要性がさげばれている。そしてこのために各種工場等の汚染源の煙突から大気中に排出される煤塵濃度測定はきわめて重要なことと考えられ「煤煙の排出の規制等に関する法律」にもこの測定は煤煙排出者に義務づけられている。

しかるにこの測定には煙道内排ガスの流れの乱れによる煤塵濃度の不均一化による誤差、等速吸引、煤塵捕集器等多くの問題があるように考えられるので、著者は実験的にこれらについての検討を開始した。

さて昭和 38 年 6 月、JIS Z 8808「煙道内排ガス中のバイジン量の測定方法」が規定され、これにダストチューブ法が採用されたため現在広く実施されようとしている。

このため著者らはダストチューブについて前報¹⁾同様実験的に検討し、二、三の知見をえたので報告する。

なおダストチューブには T_1 型と T_2 型がある²⁾が、広く用いられているのは T_1 型で T_2 型は煤塵捕集装置にすぎないので T_1 型のみとりあげた。

2 実 験

2.1 ダストチューブ^{2,3,4)}

ダストチューブは硬質ガラス製の管で前述のように T_1 型と T_2 型とがあるが、本報で検討した T_1 型は図 1 に示すようなものである。

図中 A は煤塵捕集部でガラスウールを適当に充填し煤塵を捕集するようになっており、B は煤塵を吸引する吸引ノズルである。そして使用する場合は、これをダストチューブホルダー^{2,3,4)}に連結して図 2 のようにガス測定装置、ファン等のガス吸引装置を配管し、吸引ノズルを排ガスの流れに向け、

これに平行になるよう煙道内に挿入固定して排ガスを等速吸引し煤塵を A に捕集するのである。なお T_2 型は吸引ノズルをもたず別にこれをつけて煙道外部で煤塵を捕集するもので、一般には余り用いられていない。

図 1 中 JIS 例示のものは (A) のごとく吸引ノズル先端角を 30° にしあげ、吸引ノズル長さ $l=40$ mm, ノズル口径 $d=4, 6, 8, 10$ mm になっている。

本研究では、種々の形のダストチューブを検討するためまず (A) のように JIS 例示どおりノズル先端角を 30° にしたものについて $l=25, 40, 65$ mm としそのそれぞれの場合に $d=3.0, 5.6, 7.2, 9.5$ mm のものを用意したほか、製作上取り扱い上の便利さを考慮して (B) のようにノズル先端をブレンザーで溶融してまくなめらかにしたものを用意した。この場合 $l=$

図 1 ダストチューブ (単位 mm)

図 2 ダストチューブによる煤塵濃度測定装置

† 本報を「煙道または排気ダクト内の煤塵濃度測定の基礎的研究 (第 2 報)」とする。

* Yasuji HIMI, Hideo TANAKA, Fumio MURAMATSU
神奈川県工業試験所：横浜市中区金沢区富岡町。

1) 氷見, 安全工学 2, 185 (1963).

2) JIS Z 8808「煙道内排ガス中のバイジン量の測定方法」-1963.

3) 氷見, 分析化学 12, 1110 (1963).

4) 大気汚染研究全国協議会第二小委員会, “大気汚染の測定”
コロナ社 (1962) p. 65.

25 mm とし, $d=5.6, 7.2$ mm の2種類を製作した。

2.2 実験方法

前報¹⁾で示した試験用模擬煙道に含塵濃度のわかった気流をとおし, これをダストチューブで測定して模擬煙道内気流を標準とし測定濃度を検討した。

図3は, この概略図でホッパー A 内に後述するフライアッシュを秤量しておき, 排風機によって一辺の長さ 270 mm の正方形断面をもつ模擬煙道 B に吸入口 C より空気を導入する。

図3 実験装置 (単位 mm)

なおこの流量 Q はバタフライバルブで調節し, オリフィス差圧を電子管式記録計に記録しよみとれるようになっている。

そして電磁フィーダー D により一定速度でホッパー内のフライアッシュを模擬煙道内におくり込み含塵気流を作るのである。

一方 E にダストチューブを挿入し, 吸引口がこの模擬煙道の中心にくるよう固定して図2のような測定装置をあらかじめ組立てておく。この場合吸引ガス量測定装置には温度計, マノメーターつき乾式ガスメーターを, ガス吸引装置には小型排風機を用いた。

そして D によりフライアッシュをおくり込み, B 内に含塵気流を作ると同時にこの小型排風機により吸引を開始し, ダストチューブによる測定をはじめ, フライアッシュを全部おくり込んだら測定を中止した。この場合吸引流速は時間的に変らぬようにした。

なお含塵気流中のフライアッシュは, サイクロンおよび電気集塵器で回収できるよう模擬煙道は建設されている。

そして (1), (2) 式で模擬煙道に与えた含塵濃度, ダストチューブを用いて測定したそれを計算し, (3) 式で後者の前者に対する百分率 R を求めてこれと測定条件, 測定に用いたダストチューブの形等の関係を考察し, ダストチューブにつき検討した。

$$C_0 = \frac{\Delta W_0}{Q_0 t} \quad (1)$$

$$C = \frac{\Delta W \times 10^8}{q \times \frac{273}{273+T} \times \frac{P_a + P_m}{760}} \quad (2)$$

$$R = \frac{C}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

ここに C_0 : 試験用模擬煙道に与えた既知含塵濃度 [g/Nm³]

ΔW_0 : 試験用模擬煙道内に供給したフライアッシュ量 [g]

Q_0 : 試験用模擬煙道内空気流量 [Nm³/min]

t : 実験時間 [min]

C : ダストチューブ法で測定した含塵濃度 [g/Nm³]

ΔW : ダストチューブで捕集したフライアッシュ量 [g]

q : 測定装置のガスメーターではかった吸引ガス量 [l]

T : ガスメーターにおける吸引ガス温度 [°C]

P_a : 大気圧 [mmHg]

P_m : ガスメーターにおける吸引ガス差圧 [mmHg]

R : 濃度百分率 [%]

なお実験条件は一般に $C_0 \approx 5$ g/Nm³, $t=2\sim 3$ min とした。

2.3 ガス流速測定法

JIS B 8330「送風機試験方法」-1957 に規定する L 形ピトー管と斜管マノメーターにより動圧を測定し計算した。

この場合, 標準状態における空気の密度は 1.293 kg/m³ とした。

2.4 試料粉体フライアッシュ

前報¹⁾同様の理由でフライアッシュを試料粉体として, これを含む気流を標準にしてダストチューブを検討したのであるが, フライアッシュは, 東電フライアッシュ (株) より入手したものを図4に示す粒度分布をもつよう分級して用いた。

なお粒度分布は, 光電式粒度分布測定装置⁵⁾で測定した。

図4 フライアッシュの累積粒度分布

表1 フライアッシュの真比重と粒径

- i) 真比重 2.21
ii) 平均粒径 (μ)

試料番号	(1)	(2)	(3)
平均粒径	13.4	9.2	4.2

また実験はとくにことわらない限り (1) のものを用いて行なった。表1はこのフライアッシュの真比重と図4からえられる平均粒径を示したものである。

3 結果と考察

3.1 測定結果と吸引速度

前報¹⁾でも述べたように, 測定結果におよぼす吸引速度の影響は大きいもので一般に等速吸引の必要性がみとめられている^{2,3,4)}。

しかるに実際の測定にあたっては等速吸引するのによつてピトー管で測定点における排ガス流速 v を測定し, v とダストチューブのノズル口径とから煙道内にある吸引ノズル口における等速吸引

5) 応用理化学工業(株), 粉末冶金技術協会超微粉体分科会資料「光電式粒度分布測定器」(1961)。

図5 吸引速度とRの関係例

速度を求め、これを煙道内排ガスの温度、圧力、水分量と測定装置のガスメーター内の吸引ガスのそれらの相違からガスメーターにおける吸引速度に換算しながら等速吸引を行なうのであり、速度、温度、圧力、水分量が実際の排ガスの場合変化することがあるのでこれはきわめて困難をとまなうのである。

このため本報では吸引速度の問題を主に検討した。

図5は吸引速度とRとの関係を求めた実験結果の一例で、実験条件はガス流量 $Q=50 \text{ m}^3/\text{min}$ すなわち $v=9.9\sim 10.9 \text{ m/sec}$ で使用ダストチューブは $d=9.5 \text{ mm}$, $l=40 \text{ mm}$, ノズル先端形状はJIS 例示どおりである。

なお、この場合横軸にはビーター管で測定したダストチューブ吸引ノズル口におけるガス流速 v と d とから計算した等速吸引速度 $u_0 [\text{Nl/min}]$ に対する吸引速度 $u [\text{Nl/min}]$ の百分率をタテ軸には R をそれぞれ対数目盛上にとった※1。いま $U=u/u_0 \times 100$ とすれば図5からわかるように、また前報¹⁾でも述べたように R と U は等速吸引速度付近で(4)式に示す関係にあることが明らかであろう。そしてこの関係は、他の条件で実験しても成立した。

$$R = \frac{A}{U^n} \quad (4)$$

このように測定結果が吸引速度で変わるのには次のような理由のもとづくものと考えられる。すなわち吸引ノズル先端における気流は $u > u_0$ においては吸引ノズル内にしぼり込まれるように入ってくるであろう。しかるにこの気流中に含まれている粉塵はその慣性のためそのまま直進してノズル内には入らぬものと考えられる。このためノズル内に入る含塵濃度は実際より小となる。

更に $u < u_0$ の場合は気流はノズル先端において反対にこれを中心として拡がっているであろうが、粉塵は慣性のためこの拡がりに従わず、ノズル内に直進して入り含塵濃度は大きく測定されるであろう。

そして等速吸引した場合ノズル口における気流のいちじるしい方向変化するが乱れはないので粉塵はそのままの濃度で、ノズル内に入るので正しい測定値がえられるものと考えられる。

このため非等速吸引による測定結果への影響はかなり測定条件によってことなるし、図5から考えても大きいものなので等速吸引は必要なことであるし検討すべきものと思われる。

そこで吸引速度の測定値への影響を示す値として(4)式に示す n を前報¹⁾同様とりあげ、各測定条件、ダストチューブ形別に

このようにして n を実験的に求め、 n が小さい程測定条件として都合のよい場合と考え以下考察してみた。

また R, U の関係式から等速吸引したときの濃度百分率 R_0 も計算して合わせて考察した。

なお図5の結果の場合 $n=0.830$, $R_0=83.0$ であった。そして $R_0=100$ とならなかったのは前報¹⁾でも述べたが、 C_0 は試験用模擬煙道全断面の平均濃度であるが、 C は中心部の濃度であるから粉塵がやや下に片より分布しているからであろう。

また実験中フライアッシュが模擬煙道下面に沈着することはない。

3.2 n と l

ダストチューブのノズル長さ l と前述の n との関係を検討するため、ダストチューブのノズル先端を 30° にしあげたものについて $l=25, 40, 65 \text{ mm}$ のものを用い前項同様実験し l と n との関係を図6の結果をえた。

図6 n と l

図6の結果から $d=9.5 \text{ mm}$ のように l の変化によっても n が変らぬ場合もあるが、 n は l が大きくなると小となる傾向にあって、非等速吸引誤差はノズル長さの長い程小さくなることがみとめられた。この原因は明らかでないが、前述のように n の大小は吸引口付近の気流の乱れと粉塵の慣性に起因すると思われる。

このことは実際の測定にあたり、非等速吸引に起因する誤差を少なくするため l を大きくすると大きな測定

定孔を煙道に設ける必要が生じるので、不便となることも示している。このためノズル先端の改良により n の小となるダストチューブを作る必要があろう。

3.3 n と d と Q

$l=65 \text{ mm}$ のダストチューブを用いて d を変えて同様実験し n と d の関係を $Q=30, 50, 70, 90 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合について求めた結果が図7である。一般に Q, d が大きい場合前述のノズル先端

図7 n と d と Q

$Q (\text{m}^3/\text{min})$ ○: 30, ●: 50, ◐: 70, ●: 90

※1 u, u_0 はすべて標準状態に換算して百分率を求めた。

における気流の変化や粒子の慣性が大きくなるためか、 n は大きくなっている。また後述するように粉塵粒径が小さいと n も小となるが、 Q が大となると粒子は余り沈降せずノズルを挿入した煙道中心付近にもかなり大きい粉塵が存在するようになるのも一因と思われる。

そして前報¹⁾でも述べたように d が大きい場合、 n も大きくなるのは問題で、煙道内の煤塵濃度がうすいため d を大きくし、 u_0 を大きくとって測定しようとする場合吸引速度の調節に十分注意する必要があるわけである。

3.4 n とノズル先端形状

n の大小はノズル先端付近のガス流れの変化によるものと考えられるので、以上用いた JIS 例示どおり先端を 30° にしあげた図 1 の (A) に示すダストチューブと先端のまるい (B) に示したものをを用い同様実験して n を比較してみた。

図 8 n とノズル先端形状
●: (A), $l=25$, ○: (A), $l=65$; (B), $l=25$

図 8 からわかるように、 n は JIS 例示どおり先端を 30° にしあげた (A) のものより、まるく溶融した (B) の方がノズル長さが同一または短かいにもかかわらず、小さくなっており、非等速吸引誤差は少ないと考えられる。

このことは 30° にしあげたものは、そのしあげ面が摺りになっ

ていかならずしもなめらかでないうえ、工作上先端を完全に鋭角にすることができず、摺り残しがあるためノズル先端において流れの乱れができるが、溶融してまるくしたものは先端を完全に球面にはできないが、これに近く、先端面はなめらかであるため前者よりノズル先端による気流の乱れが小さいので、このような結果になったものと考えられる。

そして JIS 例示のものは、製作上も手間がかかり、取り扱いのうえからも、しばしば先端が破損することがあるので不便であるし、先端のまるいものはこのようなことはなく、図 8 の結果のように l が小であっても、 n は前者に比し小さくて非等速吸引による誤差が少なく、JIS 例示のものよりすぐれているものと考えられる。

このようなことから、JIS 例示のものは改良する必要があるものと思われる。

3.5 n と粉塵粒度

以上の実験はすべて図 4、表 1 に示した平均粒径 13.4μ のフライアッシュ (1) を用いて行なったが、 n と粉塵の関係を検討するため $v=10\text{ m/sec}$ ($Q=50\text{ m}^3/\text{min}$), $l=25\text{ mm}$, $d=5.6, 7.2\text{ mm}$ の場合について平均粒径 9.2μ , 4.2μ のフライアッシュ (2), (3) も用いて同様実験して n を求めた。

図 9 はこの実験結果を示したもので、どの場合においても試料粉塵粒径が小さくなると、 n も小となる傾向にあって、非等速吸

図 9 n と粉塵粒度
●: $d=7.2$, ○: $d=5.6$

図 10 R_0 とノズル先端形状
●: (A), ○: (B)

一般にダストチューブ法のみでなく、煙道内排ガス中の煤塵濃度測定の場合、煙道内に挿入する試料採取管^{2,3,4)}は、その吸引ノズルを図 2 に示したように排ガスの流れに向けこれと平行になるよう設置することが必要といわれている。

そして JIS Z 8808 では排ガスの流れとノズルの角度を 10° 以下にするよう規定している。

しかるにガス流れの方向は、変化する場合が多いし測定現場においてはダストチューブのノズルを正確に固定することが困難な

図 11 R_0 と θ

引誤差の原因が、粉塵粒子の慣性によるものであることを示している。

3.6 R_0 とノズル先端形状

前述の実験結果より R_0 を求め、 R_0 とノズル先端形状について考察するため図 10 をえた。

R_0 は、 Q が大きくなると大となっているが、これは Q が大きいと粒径の大きい粉塵も模擬煙道中心以下に沈降することなく、中心付近に存在するようになるためと考えられる。

また R_0 は、ノズル先端のまるい方が、JIS 例示のように 30° に先端をしあげた場合より大となっている。

これは後者では前述のようにしあげ面が粗で、ここに粉塵が堆積する傾向にあるが、先端のまるいものはこの傾向が少ないことが原因していると思われる。

このように前述の n の場合と同様 30° に先端をしあげたものは、まるく溶融した図 1 (B) のものよりも障害が多いように思われる。

3.7 R_0 と吸引ノズルとガス流れの角度

場合が多いのでガス流れとノズルとの角度 θ と R_0 の関係を実験的に求めた。

なお、この場合ノズル先端は常に模擬煙道中心にあるようにして水平方向に θ をとって実験した。

また R_0 の計算に必要な v の測定にはピトー管を中心部において $\theta=0$ として動圧を

測定した。

図 11 は、 $v=10$ m/sec ($Q=50$ m³/min), $l=25$ mm, $d=7.2$ mm で先端形状は (B) のダストチューブを用いてえた結果で、測定結果 R_0 はノズル挿入角が大きくなると急激に減少して来ることがみとめられる。

この結果よりダストチューブによる煙道内排ガス中の煤塵濃度測定にあたっては、ノズルの方向をガス流れと一致させることがのぞましいことがわかったが、このことは煙道内排ガスの流れが

乱れている場合測定結果が、かなり小さくなることを示しており、乱れによる煤塵濃度の不均一化とともに測定にはできるかぎり、排ガスの流れが整流されている測定位置をえらばねばならないことを物語っている。

そして測定位置の選定がきわめて重要なことを示しているわけで、このことは今後更に検討すべきであると考えている。

(昭和 39 年 4 月 3 日、日本化学会第 17 年会で講演)

チタニア酸化ニッケルおよびチタニア酸化鉄均密共沈触媒の化合形態と触媒活性

(昭和 39 年 7 月 20 日 受理)

白崎 高保*・岡田 正秀**・森川 清***

耐熱性触媒担体の一つであるチタニアと酸化ニッケルまたは酸化鉄との均質な共沈物をつくり、それらの固体反応温度を示差熱分析法、生成複合酸化物の結晶化特性を X 線回折法で調べ、特有の触媒活性を流通反応法で検討した。上記の共沈物は 350~410°C で焼成すると無定形の複合酸化物を生成するようである。そのうちチタニア-ニッケル系はトルエンの核水素化能・水素化脱メチル能をもち、150°C 程度の低温反応でも経時劣化がいちじるしい。またチタニア-ニッケル系、チタニア-鉄系はともにイソプロパノールの脱水能が大きく、その接触能は市販の活性アルミナより優れていた。上の無定形物を 520~570°C で焼成すると結晶性複合酸化物に変化し、上記の触媒活性がいちじるしく低下した。この結晶性複合酸化物は通常法では 950°C 以上ではじめて生成する化合物であって、均質な共沈物では固体反応がはるかに低温でおこなうことが知られた。

1 緒 言

チタニアは耐熱性触媒担体の一つである。しかし触媒活性をもついくつかの遷移金属酸化物は、チタニア粉末と混ぜて加熱すると通常 950°C 程度で化合し、結晶性の複合酸化物を生成する。より低い温度でも、長時間加熱を続ければ徐々に化合がおこるかもしれない。したがって、チタニアに担持展開した遷移金属触媒を用いる場合には、化合がおこる温度と生成複合酸化物の結晶化特性および触媒特性について知見をえておく必要がある。遷移金属酸化物をチタニアに担持するかわりに、両者の均密共沈物¹⁾を用いれば複合酸化物の生成温度や上記諸特性を調べやすいと思われる。

本研究ではチタニアヒドロゲルと酸化ニッケルまたは酸化鉄(Ⅲ)のヒドロゲルとの均密共沈物(それぞれ hTN, hTF と略記)をつくり、それらの共沈物の焼成による化合形態変化と結晶化特性を調べ、えられた低結晶度複合酸化物の触媒活性を検討した。

2 実 験

2.1 共沈物製法

以下の方法により均密共沈物をつくった。すなわち 3N のアンモニア水をミキサーに入れ高速でかきまぜながら、これに四塩

化チタン・硝酸アンモニウム・遷移金属硝酸塩の 3 者の混合溶液を一挙に添加した。この場合、溶液濃度を小さくして沈殿生成速度をおそくし、大部分の沈殿物が過飽和溶液生成直後に析出するようにした。チタニアと酸化ニッケルまたは酸化鉄のモル比 (TiO_2/NiO または $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$) は調合時の組成で 0, 0.5, 1, 2, 4 になるように配合し、共沈物生成時の母液の pH はほぼ 7 になるようにした。生成した共沈物は約 20 時間熟成し、ろ過して母液をきり、なかば風乾したのち流通式水洗を 1 週間行ない、硝酸根がジフェニルアミンで検出されないことを確認したのち 110°C で 3 時間乾燥し粉碎した。

2.2 焼成による化合形態変化および結晶化特性

まず乾燥共沈物を粉碎し示差熱分析した。示差熱計は理学電機(株)製単能型(熱電対アルメルクロメル 0.3 mmφ)を用い、昇温速度 5°C/min, 感度 13.3 $\mu\text{V}/\text{cm}$ の条件で 25~650°C の範囲を測定した。つぎに昇温振動法 X 線回折計を用い焼成による結晶生成状況を調べた。また適当な温度で焼成したものについて通常粉末法 X 線回折を行なった。

2.3 触媒活性

示差熱分析と X 線回折の結果から化合形態が変化する温度を推定し、その温度(2 水準)で焼成したものについて触媒活性を試験した。通常の固定床常圧流通反応器(テレックス製 3 cm×50 cm)に焼成触媒 2 g (4 mm×4 mm に乾式成型)を充填し、水素還元したのち、つぎの二つの反応を行なった。

(a) トルエンの核水素化・水素化脱メチル反応 温度 150~400°C, $\text{H}_2/\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ のモル比 3, トルエンの WHSV 1.5 hr⁻¹。

(b) イソプロパノールの脱水素・脱水反応 温度 230°C (hTN) および 300°C (hTF), $\text{H}_2/i\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ のモル比 3, イソプロパノールの WHSV 1.5 hr⁻¹。

* Takayasu SHIRASAKI 東京工業大学資源化学研究所, 現在室蘭工業大学化学工学科: 室蘭市水元町。

** Masahide OKADA 千葉工業大学工業化学科: 千葉県習志野市。

*** Kiyoshi MORIKAWA 東京工業大学資源化学研究所: 東京都目黒区。

1) 白崎ほか, 触媒 6, 37 (1964)。