

## Ⅱ 報 文

### 1. 固定発生源におけるばいじん量及び粒度分布調査

Investigation of Dust Emissions and its Size  
Distribution from Stationary Sources.

井上俊明	Toshiaki INOUE
中村清治	Seiji NAKAMURA
柴田幸雄	Yukio SHIBATA
鈴木勲	Isao SUZUKI
永田正信	Masanobu NAGATA
市橋正之	Masayuki ICHIHASHI
木村芳郎	※ Yoshiro KIMURA
佐藤賢二	※ Kenji SATOH

#### 1. はじめに

近年固定発生源に対するばいじん排出量規制により各施設においては、燃料の良質化や集じん装置の設置等によりある程度の排出量低減対策が配慮されている。

しかし、浮遊粒子状物質の環境濃度の低減のためには、固定発生源から排出されるばいじんの環境濃度への影響等を考慮し、現在のばいじん排出量規制の見直しを行なうことが必要である。

その基礎資料を得るために、川崎市では、市内の主要ばい煙発生施設から排出されるばいじん量の実態調査を行なっている。

今回、昭和55年度と56年度に15施設におけるばいじん排出量及び粒度分布の測定を行なったので、その結果について報告する。

#### 2. 調査期間

昭和55年10月～昭和57年2月

#### 3. 調査対象施設

ボイラー	5基
ガラス熔融炉	2基
乾燥炉	1基
セメント焼成炉	1基
焼結炉	1基
コークス炉	1基
焼却炉	4基

※) 公害局大気課

#### 4. 測定方法

##### 4・1 ばいじん量

JIS Z 8808-1977, 「排ガス中のダスト濃度測定方法」による。

##### 4・2 粒度分布

粒度分布測定は、アンダーセンスタックサンプラーを用いて、JIS Z 8808-1977 に準拠して行なった。

##### 4・3 その他

排ガス温度、排ガス中の水分量、排ガス流量の測定は、JIS Z 8808-1977, 及び JIS B 8222-1957 「陸用ボイラの熱勘定方式」に準拠して行なった。

また、排ガス組成は、オルザット分析により測定した。

#### 5. 測定装置

ばいじん捕集装置としてI形ダストチューブ法、粒度分布測定器としてアンダーセンスタックサンプラーを用いて測定した。

##### 5・1 アンダーセンスタックサンプラーの概要

アンダーセンスタックサンプラーは、図1に示すとおり、多段、多孔式ジェットノズルによる慣性衝突分離方式を利用した分級機構を備えている。

ノズルは一枚のプレートごとに同一の径を持ち下段になるほど小さなノズルになる。

従って、試料ガスが一定流量でサンプラーに吸引されると下段になるほど流速は増大し、粒子に与えられる速度が大きくなり、粒子の慣性が気流の屈曲点の空気動学的吸引力を超えるると粒子は、捕集板に衝突し捕集される。(図2)

今回使用した機種の種類等、仕様は次のとおりである。

型式     ダイレック(株) MODEL AS-500

分級範囲             0.08 ~ 3.0 μm

粒径分類             8段階

吸引流量             2.8 ~ 28.3 ℓ/min

煙道内の噴流範囲     0.6 ~ 3.7 m/sec

使用温度             815℃

BuF 用紙     パイレックス 2500 QAST

捕集板     ステンレス製、厚さ0.1mm

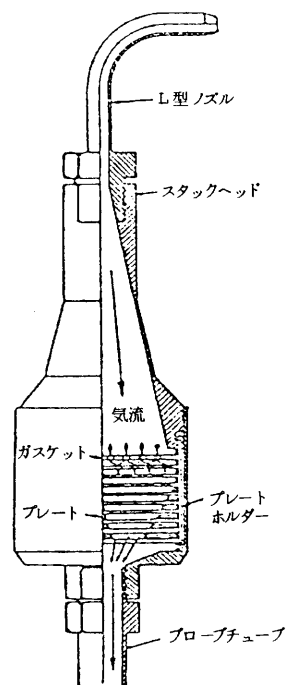


図1 アンダーセンスタックサンプリングヘッドの構造

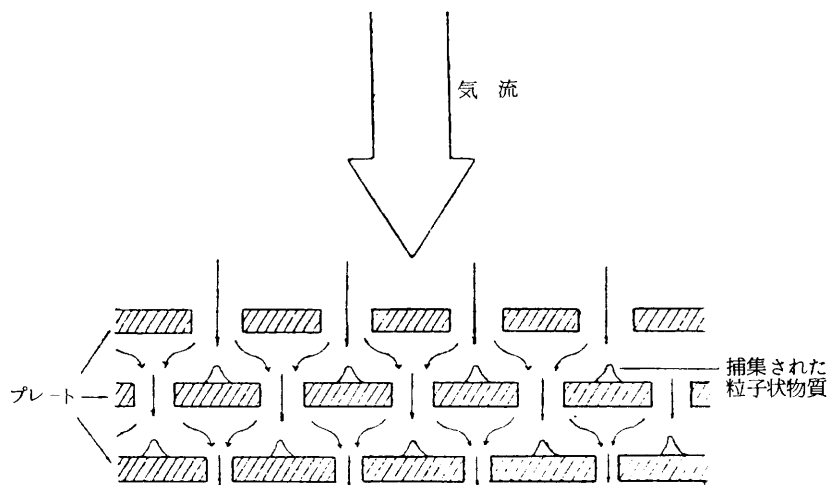


図 2

### 5・2 粒子径の計算方法<sup>1)</sup>

アンダーセンスタックサンプラーの捕集粒子径は、慣性理論に基づく動力的粒子径として、次式により求められる。

$$D_p^2 = \frac{18 \mu \phi N \pi \times 60 D_c^3}{4 C Q \rho} \times 10^2 \dots\dots\dots ①$$

- $D_p$  : 動力的粒子径  $\mu\text{m}$
- $\phi$  : 慣性パラメータ
- $N$  : ジェットノズル数
- $\rho$  : 粒子密度  $\text{g}/\text{cm}^3$
- $Q$  : サンプラー内吸引流量  $\ell/\text{min}$
- $C$  : カミングラム補正係数
- $\mu$  : 流体の粘度  $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{sec}$
- $D_c$  : ジェットノズルの径  $\text{mm}$

$$C = 1 + \frac{0.163}{D_p \cdot \rho} \dots\dots\dots ②$$

$$\phi = 0.14 \text{ (50\%捕集粒径の場合)} \dots\dots ③$$

以上から、①式に②、③式を代入し  $D_p$  についての2次式を解く、ただし、 $\rho = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ として計算した。

なお、粒子の最大径とバックアップフィルターに捕集される粒子の最小径は、角脇ら<sup>2)</sup>の例にならない最大径(ステージ0)を  $30 \mu\text{m}$ 、最小径(BuF)を  $0.08 \mu\text{m}$  とした。

## 6. 粒度分布の求め方<sup>3)4)</sup>

ばいじんの粒度分布の表示は、一般に用いられている累積重量百分率による粒度分布（以下累積粒度分布とする）と頻度による粒度分布（以下粒度分布とする）の2つの方法による。

### 6・1 累積粒度分布

対数正規確立紙を用いて、縦軸に累積重量百分率 $\phi$ を、横軸に粒子径 $(\log D_p)$ をとって、各段で捕集されたダスト量の粒径別累積重量百分率 $\phi$ をプロットして求める。

### 6・2 粒度分布

ここでは、施設別に比較がしやすいように重量百分率 $(\Delta F(D))$ を用いて計算した。

縦軸に頻度 $\Delta F(D)/\log(D_p)$ を、横軸に粒子径 $\log(D_p)$ をとって、各点は次式により求める。

$$\bar{D}_p = 10^{\frac{\log(D_i) + \log(D_{i+1}))}{2}} \quad (\mu\text{m})$$

$$\frac{\Delta F(D)}{\Delta \log(D_p)} = \frac{\Delta F(D)}{\log(D_i) - \log(D_{i+1}))} \quad (\%)$$

$\bar{D}_p$  : 幾何平均粒子径 ( $\mu\text{m}$ )

$i$  : 分級段(ステージ)の番号

$D_i$  : 分級効率50%粒子径 ( $\mu\text{m}$ )

## 7. 結果と考察

測定対象施設の稼動状況を表1に、測定結果を表2にそれぞれ示した。

ばいじん量については、各施設共、燃料の良質化や除じん装置の設置等、ばいじん排出量の低減対策が配慮され、ばいじん濃度も低く、表3に示すとおり規制値を満足していた。

表2の粒度分布は、累積粒度分布図より求めたものである。ここで示すように、灯油焚きボイラにおいては $1\mu\text{m}$ 以下の微小粒子が多く2施設を除いて中央径(MMD)は求められなかった。洗剤乾燥炉及びコークス炉においても微小粒径にかたよっており、同様に中央径(MMD)は求められなかった。

なお、施設別の粒度分布についてまとめると次のようになる。

### 7・1 灯油焚きボイラー

灯油焚きボイラーの測定結果の累積粒度分布を図3～4に、粒度分布を図5～6に示した。

ここで示したものは、排ガス量 $1\text{千m}^3\text{N/h}$ 以下から $1\text{万m}^3\text{N/h}$ 程度の小規模施設に関するもので、図5～6に見られるように施設ごとに分布が異なり、燃料種類による傾向は見られなかった。これは粒度分布が、炉の形状や燃焼状態等に起因するところが大きいと思われる。

### 7・2 ガラス熔融炉

ガラス熔融炉の測定結果の累積粒度分布と粒度分布を図7、8にそれぞれ示した。

図8のB-1では $2\mu\text{m}$ あたりを境にして2山形の傾向が若干見られるが、B-2では $0.6\mu\text{m}$ 前後のピークに粒子濃度割合が極端に集中している為、粗大側のピークは見られない。

これは、B-1施設については電気集じん機(E.P.)があるが、B-2施設にはばいじん処理装置

表1 測定対象施設の稼動状況

施設名		測定年月	稼動状況				
			燃料	電力	燃料使用量	負荷	処理装置有無
灯油焚きボイラー	A-1	55.11	灯油	1,175 l/h	550 l/h	46%	無
	A-2	55.12	"	1,403 "	543 "	39 "	無
	A-3	55.12	"	118 "	70 "	59 "	無
	A-4	56.2	"	125 "	86 "	68 "	無
	A-5	56.2	"	1,458 "	1,028 "	70 "	無
硝子溶融炉	B-1	56.9	灯油+重油	1,470 "	910 "	62 "	EP*
	B-2	56.11	A重油+C重油	900 "	393 "	43 "	無
セメント焼成炉	C	56.12	石炭+重油	専焼 23,900 kg/h	10,200 kg/h	68 "	EP*
				13,800 l/h	4,000 l/h		
洗剤乾燥炉	D	56.12	特重油	500 l/h	430 l/h	86 "	サイクロン
焼結炉	E	57.1	原料焼結鉍	処理能力	処理量	92 "	EP*
				750 t/h	690 t/h		
コークス炉	F	57.2	Bガス	119,300 m <sup>3</sup> N/h	72,000 m <sup>3</sup> N/h	67 "	無
			Cガス		8,800 "		
焼却炉	G-1	56.9	都市ゴミ	200 t/d	9.3 t/h	112 "	EP*
	G-2	56.9	排水	単一処理 1,000 l/h	339 l/h	65 "	サイクロン
			ケーク	500 kg/h	150 kg/h		
			C重油	335 l/h	131 l/h		
G-3	56.11	産業廃棄物	200 kg/h	200 kg/h	100 "	湿式洗浄	
G-4	56.12	都市ゴミ	300 t/d	12.8 t/h	100 "	EP*	

※) 電気集じん機

表 2 測 定 結 果

施 設 名	乾き排ガス量 (実測値) (m <sup>3</sup> N/h)	排ガス 温 度 (°C)	水 分 (%)	平 均 流 速 (m/s)	O <sub>2</sub> 濃 度 (%)	CO <sub>2</sub> 濃 度 (%)	JIS Z 8808 によるダスト濃度 (g/m <sup>3</sup> N)	アンダーセンスタックサンプラー による粒度分布			
								< 1 μm 重量 %	< 5 μm 重量 %	粒子の重量中央径 M.M.D (μm)	
灯油焚きボイラー	A-1	6,570	148	9.7	2.9	7.6	8.7	0.003	53	66	—*
	A-2	7,800	248	7.8	3.0	8.4	8.9	0.002	34	61	2.7
	A-3	650	135	3.7	2.1	14.6	3.1	0.001	50	74	1.0
	A-4	760	250	8.2	2.4	7.6	9.0	0.003	87	95	—*
	A-5	14,500	265	10.0	9.2	8.3	8.7	0.0004	59	78	—*
硝子溶融炉	B-1	51,900	170	4.9	14.6	17.0	2.8	0.003	72	84	0.57
	B-2	25,400	230	5.8	4.6	14.2	5.6	0.074	95	99	0.64
セメント焼成炉	C	120,000	95	17.7	7.3	8.7	16.5	0.039	17	76	2.6
洗剤乾燥炉	D	6,340	13	13.6	7.1	18.8	1.0	0.007	90	99	—*
焼 結 炉	E	1,195,000	138	11.1	23.0	14.4	6.2	0.004	50	81	1.0
コークス炉	F	270,000	135	7.0	4.8	3.9	19.4	0.004	93	98	—*
焼 却 炉	G-1	38,700	244	16.4	8.8	12.8	7.3	0.009	測 定 せ ず		
	G-2	8,100	68	34.2	2.6	14.0	4.7	0.027	"		
	G-3	3,700	28	4.9	5.9	12.6	6.3	0.105	"		
	G-4	72,500	205	16.1	7.3	11.2	8.2	0.030	"		

※) M.M.Dは読みとり不能

注) M.M.D: 空気動力学の中央径で, 累積重量分布曲線における50%値がこれに相当する。

表3 大気汚染防止法における規制値の適否

施設名		大気汚染防止法 規制値 $g/m^3N$	実測値 $g/m^3N$	適否
灯油焚きボイラー	A-1	0.3	0.003	適
	A-2	〃	0.002	〃
	A-3	〃	0.001	〃
	A-4	〃	0.003	〃
	A-5	〃	0.0004	〃
硝子溶融炉	B-1	0.2	0.003	適
	B-2	0.4	0.074	〃
セメント焼成炉	C	0.2	0.039	適
洗剤乾燥炉	D	0.2	0.007	適
焼結炉	E	0.3	0.004	適
コークス炉	F	0.6	0.004	適
焼却炉	G-1	0.2	0.009	適
	G-2	0.7	0.027	〃
	G-3	0.7	0.105	〃
	G-4	0.2	0.030	〃

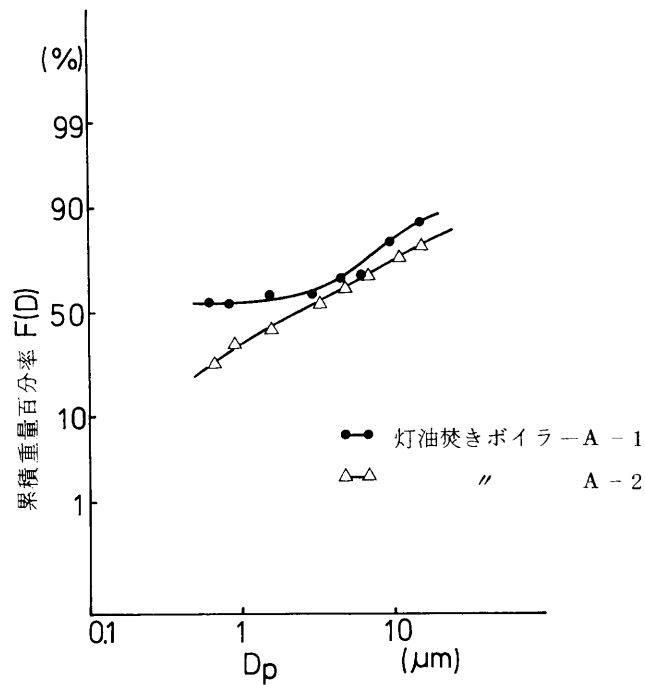


図3 灯油焚きボイラーのばいじんの累積粒度分布(その1)

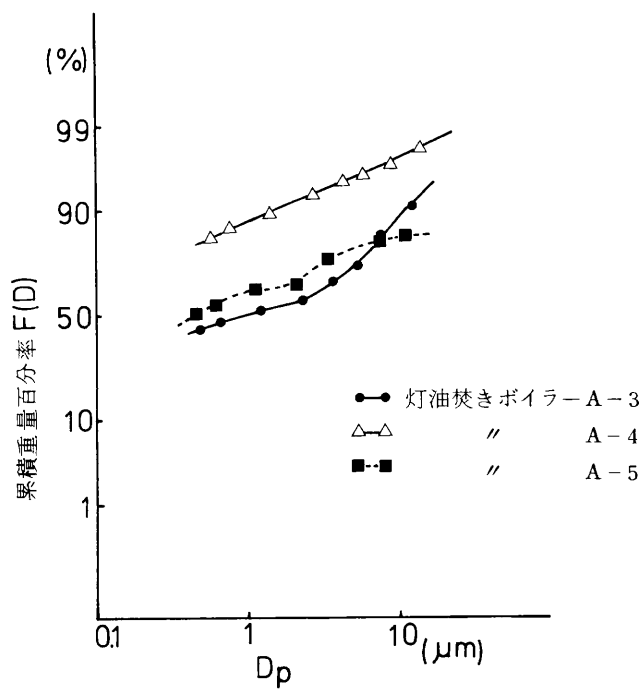


図4 灯油焚きボイラーのばいじんの累積粒度分布(その2)

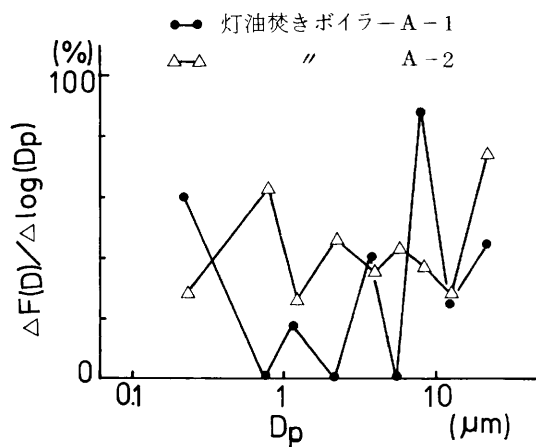


図5 灯油焚きボイラーのばいじんの粒度分布(その1)

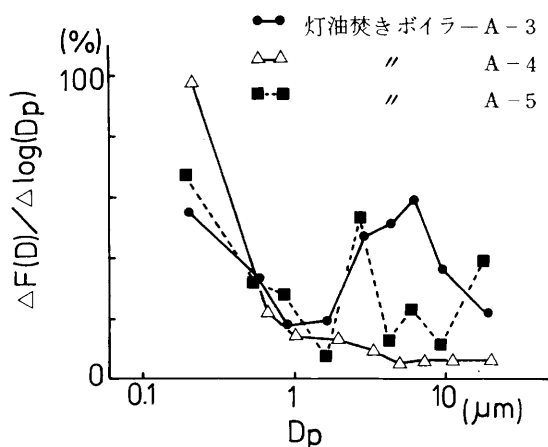


図6 灯油焚きボイラーのばいじんの粒度分布(その2)



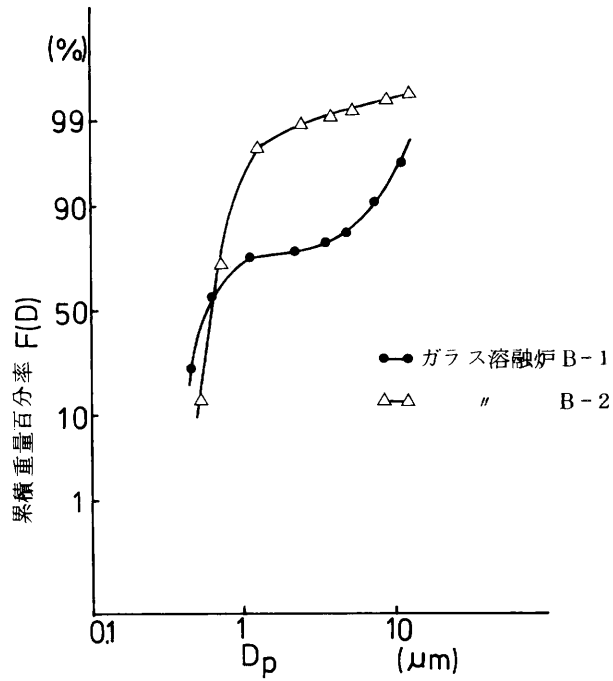


図7 ガラス溶融炉のばいじんの累積粒度分布

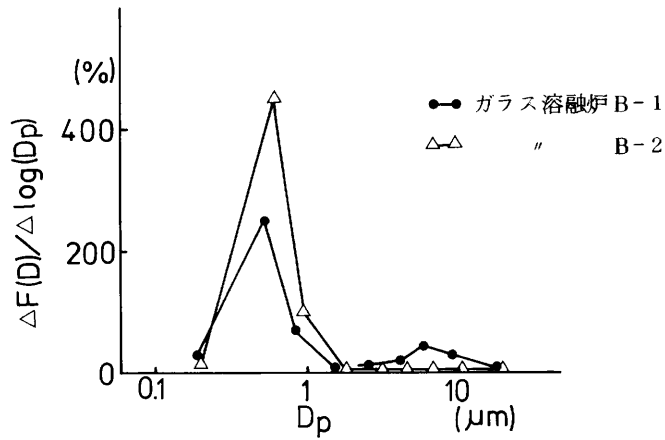


図8 ガラス溶融炉のばいじんの粒度分布

がなく、EPの効率が分布の差に表われているものと思われる。

### 7・3 セメント焼成炉

セメント焼成炉の測定結果の累積粒度分布と粒度分布を図9，10に示した。

セメント焼成炉では、他の施設に比べて2～5 $\mu\text{m}$ の中位の粒径割合が多く、対数正規分布にかなり近似した傾向を示している。

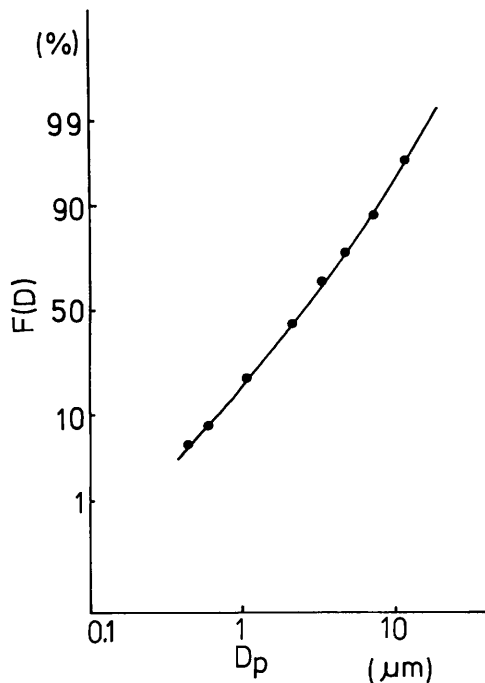


図9 セメント焼成炉Cのばいじんの累積粒度分布

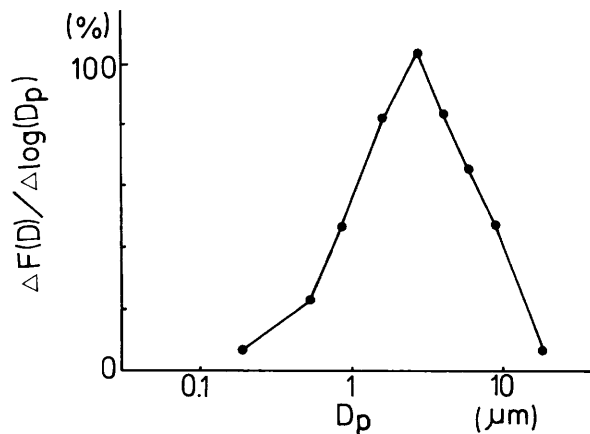


図10 セメント焼成炉Cのばいじんの粒度分布

#### 7・4 洗剤乾燥炉

洗剤乾燥炉の測定結果の累積粒度分布と粒度分布を図11, 12に示した。

洗剤乾燥炉においては、液状洗剤を炉内で乾燥し粒子生長させた粒状洗剤を製品として回収しているが、この際、粒状にならない未成長の粒子が飛散するものと思われ、粒径範囲がきわめてかぎられた0.5 μm以下の微小粒径にかたよっている。

#### 7・5 焼結炉

焼結炉の測定結果の累積粒度分布と粒度分布を図13, 14に示した。

セメント焼成炉と同様に中位の粒径割合が多いが、図14に見られるように2 μmを境にして0.5 μmと5 μmに2つのピークをもつ2山形を示している。

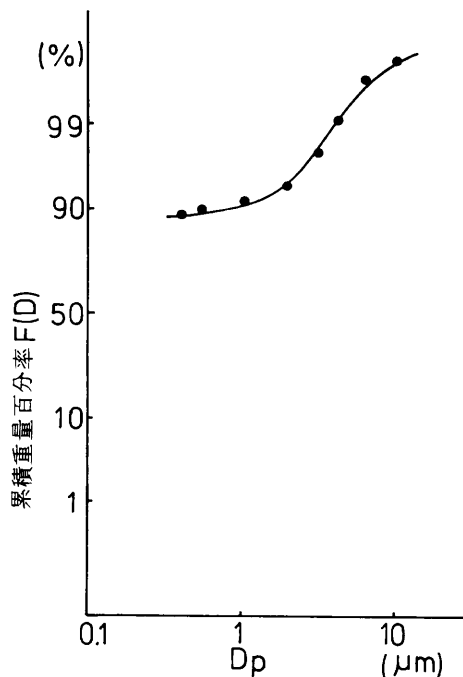


図11 洗剤乾燥炉Dのばいじんの累積粒度分布

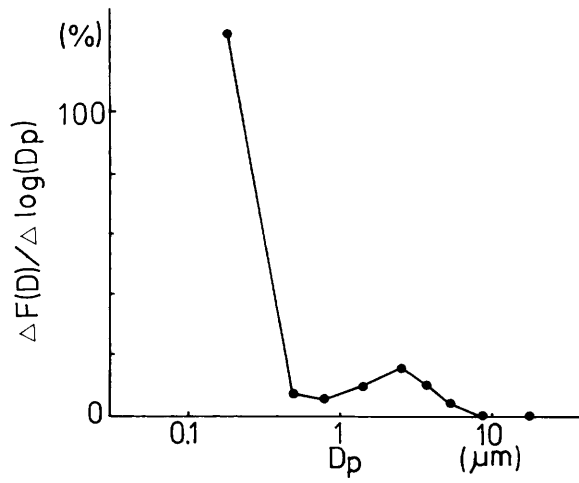


図1-2 洗剤乾燥炉Dのばいじんの粒度分布

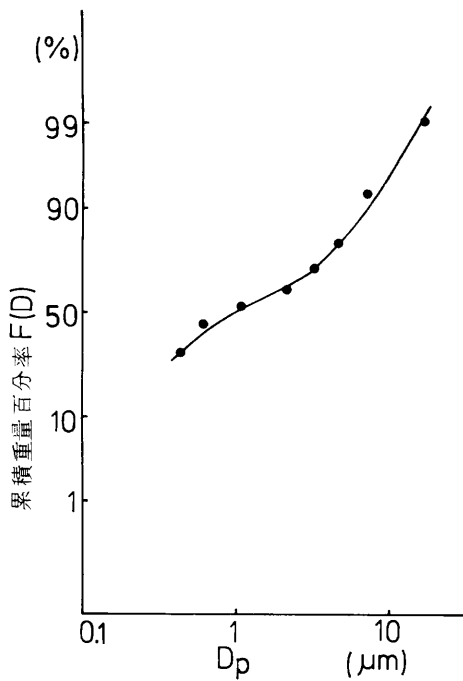


図1-3 焼結炉Eのばいじんの累積粒度分布

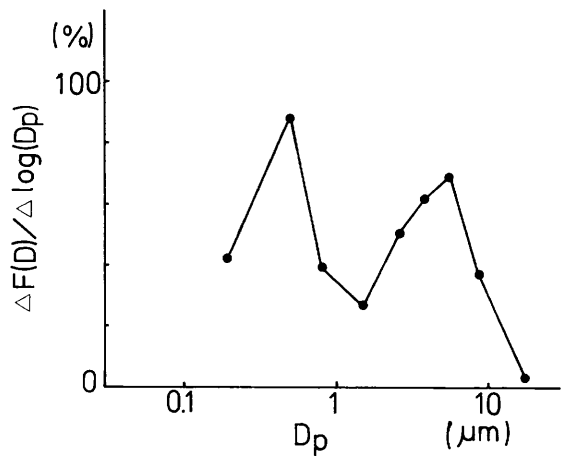


図1-4 焼結炉Eのばいじんの粒度分布

## 7・6 コークス炉

コークス炉の測定結果の累積粒度分布と粒度分布を図15, 16に示した。

ここでは、高炉ガス(Bガス)とコークス炉ガス(Cガス)の混焼で石炭を乾留しているのので、煙突から排出されるのは(B+C)ガスの燃焼排ガスだけであり、ばいじん濃度も少なくほとんどが1 $\mu\text{m}$ 以下の微小粒径で占められている。

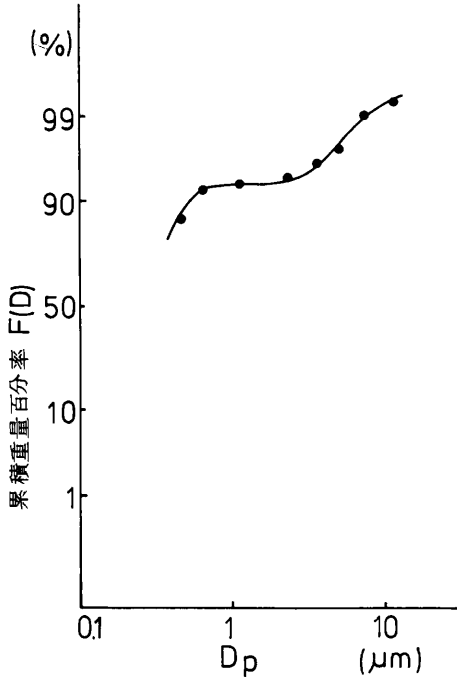


図15 コークス炉Fのばいじんの累積粒度分布

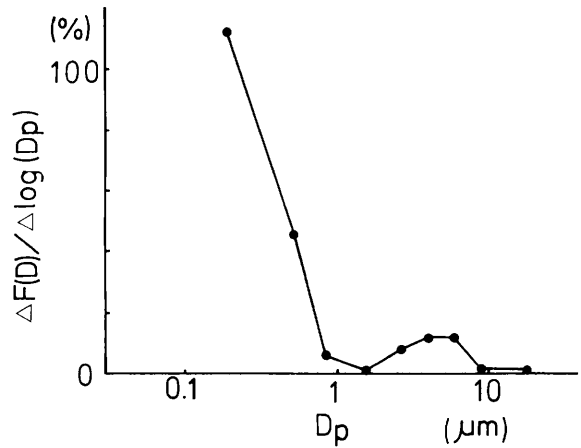


図16 コークス炉Fのばいじんの粒度分布

## 8. まとめ

ばいじん濃度の調査結果は表3に示すように規制値より著しく低濃度であり、特にボイラーでは顕著であった。そこで参考までに、規制値の国際比較<sup>5)</sup>を表4に示した。

また、粒度分布については、各施設共ばいじん量の50%位が1 $\mu\text{m}$ 以下の微小粒子で占められていた。特に、ボイラー、洗剤乾燥炉及びコークス炉では0.5 $\mu\text{m}$ 以下の微小粒子が大半であった。このことから、これら微小粒子の大気放出後の粒子成長や二次生成物質との関係についてさらに検討する必要があると思われる。

以上、昭和55年度及び56年度に、市内の15施設について、ばいじん量並びに粒度分布調査を行なった結果をまとめたもので、今後のばいじん対策における基礎資料として役立つものとする。

表4 排出基準値の国際比較<sup>5)</sup>

既存施設に対する基準

(単位: mg/m<sup>3</sup>N)

施設種類	日 本	ア メ リ カ	西 ド イ ツ
気体燃焼ボイラー	20万m <sup>3</sup> N/H以上 100 4万~20万m <sup>3</sup> N/H 200 4万m <sup>3</sup> N/H未満 300	145	50
液体燃焼ボイラー	20万m <sup>3</sup> N/H以上 100 4万~20万m <sup>3</sup> N/H 200 4万m <sup>3</sup> N/H未満 300	145	15万m <sup>3</sup> N/H以上 50~100 7万~10万m <sup>3</sup> N/H 100~500
石炭燃焼ボイラー	低品位炭 800 (5,000Kcal/kg以下) 上記以外の石炭 400	145	50万m <sup>3</sup> N/H以上の 亜炭 100 石炭 150

(注) アメリカの基準値については、一定の計算方式により換算したものである。

#### 参考文献

- 1) 佐俣満夫他: 固定発生源から排出されるばいじんの粒度分布, 横浜市公害研究所報 第4号 1979
- 2) 角脇 怜: アンダーセンサンプラーによる都市大気中の粒子状物質の粒度分布 分析化学 23 490, 1974
- 3) 橋本芳一: アンダーセンサンプラーによるエアゾルの粒度分布の解析 分析化学 1, 36, 1975
- 4) 本間克典: 大気汚染粒子状物質の粒度分布測定, 公害と対策 9(8), 69, 1973
- 5) 加藤三郎: ばいじん排出基準改定のねらい, 産業と環境 11(5), 22, 1982
- 6) 井伊谷綱一: 粒度測定技術, 粉体工学研究会編 S50.8.20
- 7) 飯豊修司他: アンダーセンスタックサンプラーの捕集効率及び粒度分布の補正 千葉県公害研究所 研究報告, 13, 1, 1981
- 8) 主要ばい煙発生施設におけるばいじん排出量実態調査報告書(川崎市委託) 昭和53~55年度, 財団法人 省エネルギーセンター
- 9) MICHAEL J. PILAT: SOURCE TEST CASCADE IMPACTOR Atmospheric Environment Pergamon Press 4, 671 (1970)