

工場排ガス中のばいじんに含まれる凝縮性ダストについて

秋山 薫 吉岡 秀俊 鎌滝 裕輝
 辰市 祐久 上野 広行* 岩崎 好陽
 (* 現総務局)

要 旨

都市ごみ焼却炉と重油ボイラーから排出される凝縮性ダストについて調査した。その結果、「水-間接冷却法」ではドレンに捕集される凝縮性ダストが多くて、ばいじん量の2~7割前後を占めるが、これに含まれる水溶性成分の分析値や「空気-直接冷却法」の測定例から、多くはガス状成分として捕集された可能性が認められた。また、この両捕集方法の比較から空気直接冷却法の実用の可能性が得られた。
 キーワード：凝縮性ダスト、都市ごみ焼却炉、重油ボイラー、水-間接冷却法、空気-直接冷却法

A Study on Dust and Condensed Dust Emitted from Stationary Sources

Kaoru Akiyama, Hidetoshi Yoshioka, Hiroki Kamataki,
 Sukehisa Tatsuichi, Hiroyuki Ueno* and Yoshiharu Iwasaki
 * Bureau of General Affairs

Summary

Dust and condensed dust exhausted from municipal incinerators and a crude petroleum boiler were examined. Consequently, the percentage of the dust gathered in drain by the water-indirect cooling method was about 20~70% in total. But it was considered that most of the dust was gathered in the form of gaseous components based on the analytical value of ions in drain and the value of ions measured by the air-direct cooling method. In addition, it was recognized that the air-direct cooling method had a possibility of use as compared with the water-indirect cooling method.

Keywords : condensed dust, municipal incinerator, crude petroleum boiler, water-indirect cooling method, air-direct cooling method

1 はじめに

固定発生源から排出されるばいじんには、現行のJIS Z 8808による捕集方法では捕集しきれない、大気中に放出後速やかに粒子化する凝縮性ダストが少なからず存在することが指摘されており¹⁾、現在、環境基準達成率が厳しい状況で推移している浮遊粒子状物質の低減化のための発生源対策を講じる上で、その実態を明らかにすることが求められている。そこで、前報²⁾において「水-間接冷却法」を用いた、ばい煙発生施設での凝縮性ダストの

排出実態等について報告した。また、この間に幾つかの報告もなされている³⁾⁻⁵⁾。ここでは、新たに調査した3施設での排出実態と、この「水-間接冷却法」と排ガスが煙道から大気中に放出される状況により近いと考えられる「空気-直接冷却法」によるばいじん捕集を同時に行い、両者について比較検討して得られた若干の知見について報告する。

2 調査方法

(1) 調査施設

調査施設は、東京都内にあつては主要な発生源の1つと考えられる都市ごみ焼却炉2施設、重油ボイラー1施設の3施設である。各施設の概要を表1に示した。

表1 調査施設の概要

調査施設	施設の概要
A ごみ焼却炉	焼却能力 300t/d 炉形式 全連続燃焼式焼却炉(ストーカ式) 排ガス処理 尿素の炉内吹き込み 消石灰の吹き込み後電気集じん機 排ガス量 78000Nm ³ /h(湿)
B ごみ焼却炉	焼却能力 75t/d 炉形式 全連続燃焼式焼却炉(ストーカ式) 排ガス処理 消石灰の吹き込み後電気集じん機 排ガス量 25000Nm ³ /h(湿)
C 重油ボイラー	燃料消費量 4000L/h 形式 重油ボイラー(燃料LSC重油) 排ガス処理 無し 排ガス量 68700 Nm ³ /h(湿)

(2) 調査方法

ア 捕集方法

ばいじんの捕集は前報と同様に、「水-間接冷却法」を用いた。また、1施設については「空気-直接冷却法」を用いたばいじん捕集も同時に行い、「水-間接冷却法」と比較検討した。これらの捕集装置の概略はそれぞれ、図1、図2に示した。各捕集方法とも、「JIS Z 8808」に基づき、煙道排ガスを等速吸引してばいじんを捕集した。なお、前報では1形、2形共に石英製の円筒ろ紙を用いたが、今回はばいじんの捕集にあたってこの円筒ろ紙と

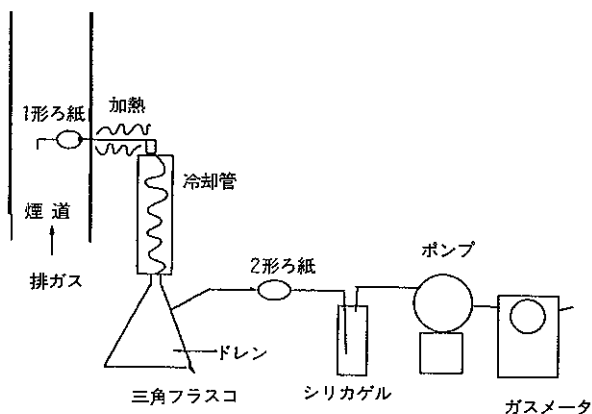


図1 水-間接冷却法

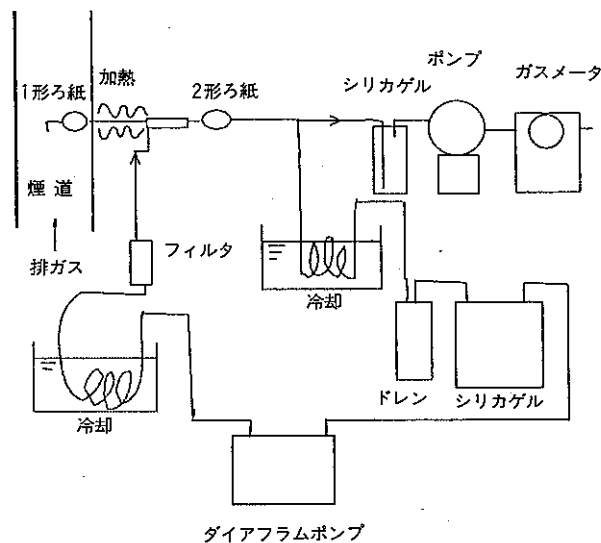


図2 空気-直接冷却法

概ね同様の結果の得られた円形の石英繊維ろ紙(Whatman QMB)を1形、2形ろ紙として用いた。また、一部の重金属分析用としては、1形、2形ろ紙に円形のテフロンろ紙(住友電工 Fluoropore AF 07 P)を使用した。

イ 測定方法

(ア) ばいじん

円形のろ紙に捕集されたばいじんは、1形、2形共に105~110℃で1時間乾燥後、デシケータ中で放冷して秤量した。水で冷却して得られる凝縮液(以下、ドレン)については、半量を砂浴上で少量になるまで蒸発し、その後乾燥機内で80℃で乾固し、デシケータ中で放冷して秤量した。

(イ) 金属成分

石英繊維ろ紙については硝酸、過塩素酸、ふっ酸処理後、主にICP-マススペクトル法により分析した。鉄とバナジウムについてはフレームレス原子吸光法で行った。ドレンについては、蒸発乾固して重量測定後、ろ紙の場合と同様に処理して分析に供した。

また、テフロンろ紙で捕集したばいじんと一部のドレンについては中性子放射化分析法で行った。

(ウ) 水溶性成分

ろ紙は蒸留水50mlで超音波抽出後20μmディスクフィルタ(セルロースエステル)でろ過し、イオンクロマト法で分析した。ドレンはそのまま同様にろ過し、また乾固した試量については蒸留水30mlに抽出してから同様にろ過して分析に供した。

表2 ばいじん濃度と捕集割合

施設名	排ガス条件				1形ろ紙		ドレン		2形ろ紙		全量 ばいじん 濃度 mg/m ³
	温度 ℃	流速 m/s	水分 %	酸素濃度 %	ばいじん 濃度 mg/m ³	全量に対 する割合 %	ばいじん 濃度 mg/m ³	全量に対 する割合 %	ばいじん 濃度 mg/m ³	全量に対 する割合 %	
A ゴミ焼却炉	259	11	14.3	11.4	5.9	26.0	16.6	73.1	0.2	0.9	22.7
	262	13	11.7	11.4	6.2	25.1	18.0	72.9	0.5	2.0	24.7
	272	11	14.8	12.0	9.7	31.0	21.6	69.0	tr		31.3
B ゴミ焼却炉	260	18	27.8	12.0	7.1	53.4	5.7	42.9	0.5	3.8	13.3
	261	19	29.0	12.0	9.3	62.0	5.4	36.0	0.3	2.0	15.0
	266	17	31.4	12.0	8.7	75.7	2.7	23.5	0.1	0.9	11.5
C ボイラー	104	4.7	5.1	4.3	2.3	29.5	5.1	65.4	0.4	5.1	7.8
	116	3.6	6.9	4.3	3.7	27.4	9.3	68.9	0.5	3.7	13.5
	116	3.6	6.9	4.3	3.2	33.7	6.1	64.2	0.2	2.1	9.5

注：trは検出されず、を示す。

表3 金属成分の濃度

施設名	捕集部	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
		μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
A ゴミ焼却炉	1形ろ紙	24.8	181	2.94	1.12	15.1	tr	0.77	0.83	64.4	tr	242
	ドレン(乾固)	18.8	7.68	0.01	0.24	1.08	44.0	6.15	0.14	0.47	tr	2.82
	ドレン(溶液)	29.9	3.41	0.01	1.53	2.78	42.4	20.4	1.20	0.55	tr	3.50
	2形ろ紙	8.54	tr	tr	0.37	tr	tr	tr	0.44	tr	tr	tr
B ゴミ焼却炉	1形ろ紙	4.42	82.3	1.38	3.75	16.6	32.2	0.88	1.63	31.1	tr	110
	ドレン(乾固)	0.88	16.8	0.01	0.26	0.50	43.9	6.90	0.27	0.62	tr	0.88
	ドレン(溶液)	33.6	11.5	0.01	14.3	1.76	121	21.2	6.74	0.71	tr	2.04
	2形ろ紙	tr	tr	tr	0.26	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
C ボイラー	1形ろ紙	21.2	tr	0.01	1.94	1.13	144	0.78	17.8	0.56	31.5	1.77
	ドレン(乾固)	9.18	6.36	tr	0.13	0.32	34.3	2.19	0.15	tr	tr	0.78
	ドレン(溶液)	12.7	4.94	0.01	2.74	0.84	27.5	5.37	2.79	0.28	tr	1.98
	2形ろ紙	tr	tr	tr	0.90	0.40	tr	tr	0.81	tr	tr	0.21

注：trは検出されず、を示す。

(エ) 炭素成分

熱的方法で行い、ろ紙、ドレンを蒸発乾固した試料とも、酸素存在下窒素気流中で、350℃で30分間保持して二酸化炭素として発生する炭素を有機炭素とみなし、その後、900℃以上で発生する二酸化炭素から求めた炭素を元素状炭素とした。

3 結果及び考察

(1) 凝縮性ダストを含むばいじんの排出実態

ア ばいじん

ばいじん濃度を表2に示した。各施設とも3回ずつ調査した。ばいじん濃度に占める2形ろ紙の割合は低く、概ね5%以下であった。しかし、ドレンに含まれるばい

表4 ICP-マスマスペクトル法と放射化分析法の分析例

施設名	捕集部	ICP-MS(石英ろ紙)		放射化分析(7700ろ紙)	
		Al μg/m ³	Ca μg/m ³	Al μg/m ³	Ca μg/m ³
A ゴミ焼却炉	1形ろ紙	25	181	31	210
	ドレン(乾固)	19	7.7	11	18
	2形ろ紙	8.5	tr	tr	2.3
B ゴミ焼却炉	1形ろ紙	4.4	82	tr	174
	ドレン(乾固)	0.9	17	tr	20
	2形ろ紙	tr	tr	tr	12
C ボイラー	1形ろ紙	23	tr	tr	tr
	ドレン(乾固)	9.8	6.8	tr	tr
	2形ろ紙	tr	tr	tr	tr

注：trは検出されず、を示す。

表5 水溶性成分の濃度

施設名	捕集部	Na ⁺ μg/m ³	K ⁺ μg/m ³	Mg ⁺⁺ μg/m ³	Ca ₂ ⁺ μg/m ³	Cl ⁻ μg/m ³	NO ₃ ⁻ μg/m ³	SO ₄ ⁻⁻ μg/m ³	NH ₄ ⁺ μg/m ³
A ゴミ焼却炉	1 形ろ紙	934	1020	tr	450	2320	8	645	tr
	ドレン (乾固)	108	tr	10	41	9310	328	768	2540
	ドレン (溶液)	-	tr	tr	tr	286000	tr	-	5280
	2 形ろ紙	tr	tr	tr	tr	tr	tr	11	tr
B ゴミ焼却炉	1 形ろ紙	1430	1800	tr	390	3590	tr	1300	tr
	ドレン (乾固)	176	tr	tr	18	36	64	2540	309
	ドレン (溶液)	tr	tr	tr	tr	370000	tr	-	-
	2 形ろ紙	tr	tr	tr	tr	tr	tr	33	tr
C ボイラー	1 形ろ紙	55	8	221	tr	tr	tr	1380	17
	ドレン (乾固)	68	16	tr	22	19	tr	3840	38
	ドレン (溶液)	35	-	tr	39	1520	tr	3060	83
	2 形ろ紙	tr	tr	tr	tr	tr	tr	100	9

注：trは検出されず、-は測定値なし、を示す。

じんの割合はA焼却炉で7割前後、Cボイラーで7割弱、B焼却炉でも2割強から4割強と高い値を示した。従って、この両者を合わせた、ばいじんの割合は高い値となったが、前報の値よりは低い値であった。

イ 金属成分

金属成分の濃度を表3に示した。金属成分についても必ずしも1形のろ紙に多くが捕集されるとは限らず、ドレンに多くが捕集される例も多かった。2形ろ紙の捕集量は検出されないか、あるいはわずかであった。また、表4にはこの分析結果と放射化分析での分析例とを示した。両者で異なる例も認められた。なお、重油燃焼の指標元素と言われるバナジウムは、都市ゴミ焼却炉では検出されず、重油ボイラーでは1形のばいじん中の含有量として1%程度という、筆者らが浮遊粒子状物質の発生源寄与の推定⁶⁾に用いた値⁷⁾に近い値が得られた。

ウ 水溶性成分

水溶性成分の濃度を表5に示した。陽イオンについては1形のろ紙に多くが捕集され、ドレンにも捕集される例も見られるが、2形のろ紙にはほとんど認められなかった。一方、アンモニウムイオンと陰イオンについてはドレンでの捕集量が最も多かった。このドレン中の陰イオンと、アンモニウムイオンを除いた陽イオンとのイ

オンバランスは、1形のろ紙では概ね一致するのに反して、陰イオン側に偏っており、これらの成分がガス状物質として捕集された可能性が大きいと考えられる。

なお、1形ろ紙に捕集されたこれらの成分の濃度としては、都市ゴミ焼却炉は陽イオンでは、この発生源の特徴と考えられるカリウムイオンやナトリウムイオンが、陰イオンでは塩素イオンや硫酸イオンが多かった。カリウムイオンはばいじん中の含有量として17%から19%程度であり、バナジウムの場合と同様に概ね妥当な値⁸⁾が得られた。重油ボイラーではマグネシウムイオンと硫酸

表6 炭素成分の濃度

施設名	捕集部	有機炭素 mg/m ³	元素状炭素 mg/m ³	全炭素 mg/m ³
A ゴミ焼却炉	1 形ろ紙	0.096	0.220	0.316
	ドレン	0.093	0.048	0.141
	2 形ろ紙	0.104	0.032	0.136
B ゴミ焼却炉	1 形ろ紙	0.001	0.044	0.045
	ドレン	tr	tr	tr
	2 形ろ紙	tr	0.030	0.030
C ボイラー	1 形ろ紙	0.006	0.168	0.173
	ドレン	tr	tr	tr
	2 形ろ紙	0.002	0.046	0.048

注：trは検出されず、を示す。

イオンが多かった。

エ 炭素成分

炭素成分の濃度を表6に示した。1形のろ紙での捕集量が多いが、ドレンや2形のろ紙に捕集される割合も少なからずあった。このばいじんに占める炭素成分の割合は、元素状炭素で数%以下であった。

(2) 凝縮性ガストの捕集方法の検討

凝縮性ガストの捕集方法としては、比較的簡易な方法として「水-間接冷却法」が検討され、本報告もこの方法に依っているが、この方法については既に指摘され、ここでも確認した通り、ドレン部でガス状成分が吸収されてしまう、即ち凝縮性ガストを過大評価してしまう可能性が内在している。そこで、若干装置は複雑となるが、このようなドレンが凝縮されることのない、排ガスが煙道から大気中に放出される状況により近いと推測される「空気-直接冷却法」を考え、「水-間接冷却法」と比較検討した。ここで用いた「空気-直接冷却法」は、冷却用の空気を循環使用する方法で、循環する空気量は排ガス吸引量の約10倍とした。冷却用空気からは十分に水分を取り除いたが、吸引排ガスと冷却用空気とが混合して排ガス温度が100℃以上から40℃以下に急速に下がり、2形のろ紙で凝縮性ガストを捕集することになるのだが、今回は水分が凝縮して2形のろ紙が濡れてしまう例が見受けられた。これは、今回対象としたS焼却炉では排ガス中の水分が30%近くもあったことも一因とも考えられ、今後も検討する予定である。

この水分の凝縮を防ぐには、冷却用空気量を増やすのは勿論だが、簡易的には2形ろ紙付近の温度を概ね50℃位に保温するのも1つの方法ではある。しかし、この場合、この温度付近では凝縮しない成分は失われることになる。

表7 ばいじんの捕集方法と濃度

捕集方法	捕集部		
	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³
水間接冷却法	8.6	0.3	5.2
空気直接冷却法	7.1	2.9	
水間接冷却法	8.3	0.03	3.8
空気直接冷却法	7.6	0.5	
水間接冷却法	8.7	0.1	2.7
空気直接冷却法	7.4	6.6	
水間接冷却法	10.4	0.04	3.3
空気直接冷却法	11.3	13.9	
水間接冷却法	9.4	0.3	2.6
空気直接冷却法	11.2	6.2	
水間接冷却法	8.9	0.1	3.6
空気直接冷却法	9.2	0.8	

ア ばいじん量

両者の比較結果を表7に示した。1形ろ紙でのばいじんの捕集量は両者とも比較的似通っており、概ね妥当な結果と考えられる。しかし、「水-間接冷却法」のドレンと2形ろ紙とを合わせたばいじん量と「空気-直接冷却法」の2形ろ紙のばいじん量の値は、一致しなかった。むしろ「空気-直接冷却法」が高い例の方が多かった。これは、「水-間接冷却法」ではドレン部でガス状成分を吸収して凝縮性ガストが過大に評価されるという推測に反するが、既に指摘したようにろ紙が凝縮した水分で濡れてしまい、ここでガス状成分の吸収や、またろ紙の裏面に黄褐色の、おそらくはろ紙受けの金属性の網が腐食

表8 ばいじんの捕集方法と金属成分濃度

捕集方法	捕集部	Ti	Br	Mg	Cu	Na	V	Cl	Al	Mn	Ca	Zn
		μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
水間接冷却法	1形ろ紙	9.0	9.6	10.7	10.7	791	tr	1820	18.3	0.4	161	545
	ドレン	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	1.2	tr	tr	6.3
	2形ろ紙	tr	29.9	10.3	1.9	86.0	tr	27.2	14.0	6.8	17.8	tr
空気直接冷却法	1形ろ紙	4.5	12.2	tr	12.7	935	0.04	1940	29.4	0.2	191	119
	2形ろ紙	0.4	0.1	tr	0.2	8.5	0.01	27.3	0.9	0.04	tr	tr

注：trは検出されず、を示す。

表9 ばいじんの捕集方法と水溶性成分濃度

捕集方法	Na ⁺			K ⁺			Mg ⁺⁺			Ca ⁺⁺		
	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³
水間接冷却法	1.32	0.037	0.162	1.65	tr	tr	tr	tr	tr	0.364	0.065	0.016
空気直接冷却法	1.18	0.015		1.42	0.014		0.009	0.009		0.295	0.013	
水間接冷却法	1.58	0.033	0.072	1.86	tr	0.072	tr	0.007	tr	0.402	0.056	0.020
空気直接冷却法	1.55	0.030		1.77	tr		0.016	0.016		1.920	0.090	

捕集方法	Cl ⁻			NO ₃ ⁻			SO ₄ ⁻⁻			NH ₄ ⁺		
	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³
水間接冷却法	3.31	1.00	0.032	tr	0.004	0.058	1.20	0.030	2.34	tr	tr	0.306
空気直接冷却法	2.90	0.200		tr	tr		1.28	0.018		0.014	0.014	
水間接冷却法	3.80	0.043	0.142	0.053	0.005	0.040	1.33	0.014	2.60	tr	tr	0.410
空気直接冷却法	3.27	0.064		0.063	tr		1.65	0.004		tr	0.004	

注：trは検出されず、を示す。

した付着物が認められ、これらがろ紙の重さを過大にしているものと推定される。実際、ろ紙の裏面に付着物が余り見られない例では低い値が得られた。

イ 金属成分

両者の比較を表8に示した。1形ろ紙については若干異なる例も見られるが、概ね妥当な結果と考えられる。「水-間接冷却法」では、この場合、ドレン部への捕集はほとんど見られず、2形のろ紙での捕集量が割合として高い例が見られた。この両者を加えた、凝縮性ダストに相当する部分では、「空気-直接冷却法」の2形ろ紙では金属成分はほとんど捕集されないことから、塩素以外は余り一致するとは言えなかった。

ウ 水溶性成分

比較結果を表9に示した。1形のろ紙についてはカル

シウムイオンで若干異なる例も見られたが、概ね良好な結果が得られた。しかし、凝縮性ダストに相当する部分の比較では陰イオン成分やアンモニウムイオンでは違いは明確であり、多くはドレン部で捕集されていることから、先に述べたようにガス状成分の影響が窺われる。陽イオン成分についても一致するとは言えず、概ね「水-間接冷却法」の方が高い値となった。これは、1つにはこの「空気-直接冷却法」では凝縮性ダストを取り切れていないためとも考えられる。

エ 炭素成分

炭素成分については表10に示した。1形のろ紙については有機炭素、元素状炭素共に概ね一致する良好な結果が得られた。凝縮性ダストに相当する部分の比較では、有機炭素は水溶性成分なども存在すると考えられること

表10 ばいじんの捕集方法と炭素成分濃度

捕集方法	有機炭素			元素状炭素		
	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³	1形ろ紙 mg/m ³	2形ろ紙 mg/m ³	ドレン mg/m ³
水間接冷却法	0.007	0.047	0.112	0.021	0.030	0.050
空気直接冷却法	0.009	0.038		0.028	0.079	
水間接冷却法	0.005	tr	0.024	0.011	0.013	0.035
空気直接冷却法	0.002	0.055		0.013	0.042	

注：trは検出されず、を示す。

から違いが明らかであるが、元素状炭素については良く一致し、この「空気—直接冷却法」で妥当な結果が得られる可能性が認められた。

4 おわりに

「水—間接冷却法」によるばいじんの調査では、凝縮性ダストに相当するばいじんの割合は全ばいじん量の2割強から7割強であったが、この大部分が捕集されたドレンの主要な成分である水溶性成分の分析結果や、この「水—間接冷却法」と比較検討した「空気—直接冷却法」による測定結果から多くはガス状成分として捕集された可能性が認められた。

また、今回の両捕集方法の比較検討結果から「空気—直接冷却法」の適用の可能性が得られた。今後は簡易な空気直接冷却法による装置を検討しながら、固定発生源から排出される凝縮性ダストを含むばいじんの排出実態について把握して行く予定である。

引用文献

- 1) 小暮信之ら：排ガス中の凝縮ダストの測定法および排出特性、大気汚染学会誌、27(3)、p.153-164(1992)。
- 2) 辰市祐久ら：工場排ガス中の凝縮性粒子について、東京都環境科学研究所年報1996、p.121-127。
- 3) 大塚英幸ら：固定発生源からの凝縮性ダストを含むばいじん排出実態、第37回大気環境学会年会講演要旨集、p.290(1996)。
- 4) 井上俊明ら：固定発生源における凝縮性ダストの排出状況について、川崎市公害研究所年報、第23号、p.5-9(1997)。
- 5) 小暮信之ら：凝縮性ダストを含む排ガス中の粒子濃度測定方法の調査研究、大気環境学会誌、32(2)、p.162-173(1997)。
- 6) 秋山薫ら：東京都における浮遊粒子状物質中の炭素成分の粒径分布と季節特性、及び各種発生源粒子の粒径分布の推定、東京都環境科学研究所年報1992、p.44-53。
- 7) 溝畑朗ら：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定(Ⅰ)、大気汚染学会誌、15(5)、p.198-206(1980)。