

工場排ガス中の凝縮性粒子について

辰 市 祐 久 上 野 広 行 秋 山 薫
吉 岡 秀 俊 鎌 滝 裕 輝 岩 崎 好 陽

要 旨

都市ごみ焼却炉及び重油ボイラーから排出される1形ダストと凝縮性ダストを採取した。凝縮性ダストの採取には「水-間接冷却法」を用いた。

測定された凝縮性ダストの重量は1形ダストより多く、全ダスト重量に占める凝縮性ダストの割合は60~90%以上であった。

ごみ焼却炉の凝縮性ダストには、硫酸イオンや塩化物イオン、アンモニウムイオンが多く含まれており、C重油ボイラでは硫酸イオンが多かった。

ごみ焼却炉の凝縮性ダストに比較的多い金属成分は、アルミニウム、鉄、マンガン等であったが、捕集材である石英繊維の円筒ろ紙は、アルミニウム等のブランク値が高いため、材質を検討する必要がある。

Condensed Dust from Stationary Sources

Sukehisa Tatsuichi, Hiroyuki Ueno, Kaoru Akiyama

Hidetoshi Yoshioka, Hiroki Kamataki and Yoshiharu Iwasaki

Summary

Dust and condensed dust exhausted from municipal incinerator and the crude petroleum boiler were gathered.

The collection of condensed dust used water-indirect cooling method.

The weight of measured dust was above 60~90% of the amount of condensed dust which consist of the weight of all dust.

As for condensed dust from municipal incinerator, it included a lot of sulfuric acid ions, chloride ions, and ammonium ions.

There were a lot of sulfuric acid ions in C crude petroleum boiler.

The higher proportion of metals included in condensed dust of municipal incinerator were, aluminum, iron, and manganese, etc.

However, since the cylinder filter paper of the quartz fiber, must be having higher amount of blank aluminum, there is a necessity to change the material used for collection in future.

1 はじめに

浮遊粒子状物質 (SPM) は、気管支喘息等の呼吸器疾患を引き起こすとされている。東京都におけるSPMの環境濃度は、1980年度までは大きく低下したが、その後は横ばいとなっている。1985年度から1994年度までのSPMの環境基準の達成率は、一般環境大気測定局については10%以下、自動車排ガス測定局では0%と低い状態が続き、SPM対策は環境行政の上で重要な課題となっている¹⁾。

SPMの人為的な発生源としては、ディーゼル自動車等の移動発生源と、廃棄物焼却炉、ボイラー等の固定発生源があり、また、大気中で大気汚染物質が反応し生成する二次粒子も問題視されている。

更に、近年では、固定発生源から排出されるばいじんの中にも、これまでのJIS Z8808による測定法で計測されるもののほか、煙道内や煙道外で、排ガスの温度が低下し粒子化するもの (以下「凝縮性ダスト」と言う。) が相当程度あると推定²⁾されるようになっている。そのため、SPMの削減対策を進めるためには、凝縮性ダストの測定方法を確立し、排出状況やSPMに対する寄与などを解明する必要がある。

凝縮性ダストの測定方法は、これまで各種の方法が検討²⁻⁷⁾され、固定発生源での測定も行われてきた。

環境庁では、凝縮性ダストの測定が可能なばいじん測定法として、現行の1形と2形を組み合わせた修正2形による試料採取法について検討⁷⁾してきた。その結果、「水-間接冷却法」と「空気-直接冷却法」とでは、現時点では現場での操作性等から「水-間接冷却法」が妥当としている。

このため、「水-間接冷却法」を用いて、3カ所のばい煙発生施設からの凝縮性ダストの排出実態を調査したので、その結果を報告する。

なお、この報告は1995年度環境庁委託業務の報告の一部である。

2 調査方法

(1) 調査対象施設

調査対象施設は、都市ごみ焼却炉2施設、重油ボイラー1施設の計3施設とした。調査は1995年12月から1996年1月にかけて行った。試料採取は各施設とも、排ガス処理装置後の煙道で行った。

各施設の概要を表1に示した。

表1 調査対象施設

施設	施設の概要
Aごみ焼却炉	焼却能力 70t/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 18000 Nm ³ /h (乾)
B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 炉内に炭酸カルシウム及び尿素吹き込み、電気集じん機 脱硝設備 (触媒) 排ガス量 31000~32000 Nm ³ /h (乾)
C重油ボイラ	蒸発量 40t 形式 重油ボイラー (C重油) 排ガス処理 マルチサイクロン 排ガス量 40000 Nm ³ /h (湿) 1基

(2) 測定方法

ア 試料採取

ダストの試料採取には図1に示す「水-間接冷却法」を用いた。この方法は煙道内の1形ダスト捕集部を通過した排ガスを水を冷媒とした冷却器で間接的に冷やし、凝縮したダストを含む凝縮液をドレン瓶に採り、残った凝縮性ダストをさらにろ紙 (本報告では以後「2形ダスト捕集部」とする。) を用い捕集する採取方法である。したがって、ダストは「1形ダスト」、凝縮性ダストは「ドレン水の蒸発残留物+2形ダスト」の重量となる。

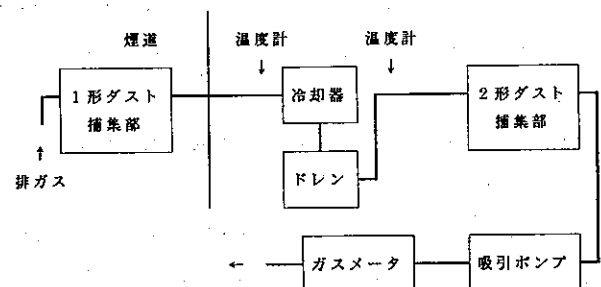


図1 試料採取装置

イ 試料採取装置

図1のダスト捕集部は1形、2形ともに石英繊維の円筒ろ紙 (25φ×90mm)を用いた。冷却器は硬質ガラス製で、内径6~8mmのガラス管をスパイラル状に巻いたものであり、水を冷媒とし、冷媒の循環には液体用ポンプ

表2 採取時の煙道排ガス条件

施設名	ろ紙種類	流速 m/sec	排ガス温度℃	水分%	酸素濃度%
A 焼却炉	円筒ろ紙	27~30	247~251	19.6~23.3	11~12
B 焼却炉	円筒ろ紙	17~18	242~250	9.9~11.8	11~12
C 重油ボイラ	円筒ろ紙	3.8	152~158	7.4~11.2	7~7.5

を用いた。なお、冷媒はクーラーで冷却した。また、ドレン用の瓶は500mlの三角フラスコを用いた。

ウ ダスト試料の採取方法

「JIS Z8808」に基づき、排ガスを測定し、得られた煙道排ガス条件から、等速吸引量を計算した。煙道排ガス条件は、表2に示した。

等速吸引量は、A焼却炉は、10 l/min程度、B焼却炉は、12 l/min程度、C重油ボイラは、11 l/min程度とした。

等速吸引に当たっては、2形円筒ろ紙前の排ガス温度が約20℃程度まで下がるように冷却器温度を調整するとともに、十分なダスト量を捕集できるよう、煙道から1 m³以上のガスを吸引した。

ダストの試料採取後、1形、2形ろ紙はいずれも105~110℃で1時間乾燥し、デシケータ中で室温に戻して秤量した。ドレン水は、全量を砂浴上で100℃で蒸発乾固し、デシケータ中で室温に戻して秤量した。

ダスト濃度、凝縮性ダスト濃度及び全ダスト濃度は、次式によって求めた。

$$C_1 = m_1 / V_N$$

$$C_2 = m_2 / V_N$$

$$C_T = C_1 + C_2$$

ここで、

C₁ : 乾き排ガス中のダスト濃度 (g/m³N)

C₂ : 乾き排ガス中の凝縮性ダスト濃度 (g/m³N)

C_T : 乾き排ガス中の全ダスト濃度 (g/m³N)

m₁ : 1形ろ紙により捕集したダストの重量 (g)

m₂ : 2形ろ紙により捕集した凝縮性ダストとドレン中の蒸発残留物を合計した重量 (g)

V_N : 標準状態における吸引した乾き排ガス量 (m³N)

なお、ダスト試料の採取は、各施設について、それぞれ3回行った。

エ ダスト成分の分析方法

各施設3回採取した1形、2形の円筒ろ紙試料とドレン試料を金属成分用、水溶性成分用、炭素成分用試料として、成分分析を行った。

(ア) 金属成分 (Al, Ca, Zn, Cd, Cr, Fe, Cu, Pb, Ni, V, Mn)

円筒ろ紙の金属成分は硝酸一過塩素酸一ふっ酸処理後、ICP-MSにより分析した。ドレンの金属成分は蒸発乾固したものを、ろ紙の場合と同様の方法で分析した。

(ここではCaも金属成分に含めて操作した。)

(イ) 水溶性成分 (NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)

円筒ろ紙の水溶性成分は、蒸留後のイオン交換水で超音波処理により抽出した後、0.20μmディスクフィルター(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。ドレンについても少量のイオン交換水で抽出し、同様に操作を行った。

(ウ) 炭素成分 (全炭素C_T, 有機炭素C_{org}, 元素状炭素C_{ele})

ろ紙の炭素成分は、ろ紙を10mmのポンチで底部1個、側面部4個を打ち抜き試料とした。ろ紙の底部と側面部を別々に熱分析装置(検出器NDIR)で分析し、面積比率(底部:側面部=1:4)に応じ、分析結果を平均し、これに基づき総量を求めた。

ドレン中の炭素成分は、蒸発乾固した試料を少量の純水で再溶解し、白金ボードに移し熱分析装置で分析した。

炭素成分については、試料を酸素存在下窒素気流中で、350℃で30分間保持して炭酸ガスとして発生するものをC_{org}とみなし、その後、900℃以上で発生する炭酸ガスから求めた炭素成分をC_{ele}とした。

3 結果及び考察

(1) 凝縮性ダストを含むばいじん排出実態

ダスト濃度は各施設それぞれ3回試料を採取し、重量を測定したが、大きな変動はなかった。そこで各施設ごとに3試料の濃度を平均し、グラフにしたものを図2に示した。

図2より、全ダスト濃度はA焼却炉が30mg/m³N近くあり、最も高かった。これは、A焼却炉がごみ焼却能力70t/dと比較的小規模であり、CO濃度の変動からみても燃焼状態が多少不安定であるためと考えられた。

これに対し、B焼却炉は300t/dと規模が大きいため、全ダスト濃度は、10mg/m³NとC重油ボイラと同程度の値であった。しかし、1形のダスト濃度は、B焼却炉もC重油ボイラよりかなり高かった。

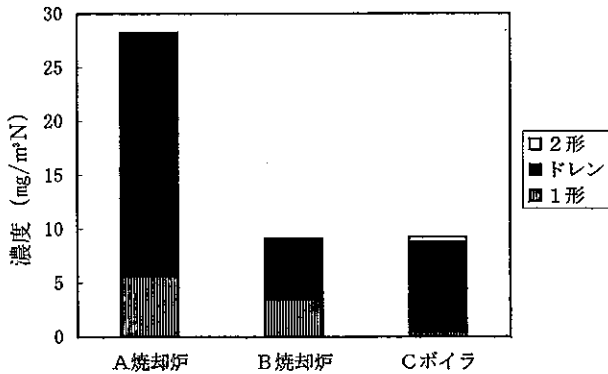


図2 各施設におけるダスト濃度 (平均値)

凝縮性ダスト (ドレン+2形) の濃度はどの施設でも1形ダストより多かった。なお、凝縮性ダストはほとんどがドレンに捕集されており、2形ろ紙に捕集されたのはわずかであった。

図3に、全ダスト濃度に対する各ダスト (1形、ドレン、2形) の割合を示した。全ダストに占める凝縮性ダストの割合は、最も少ないB焼却炉で60%程度、最も多いC重油ボイラでは90%以上と大きな割合を示した。

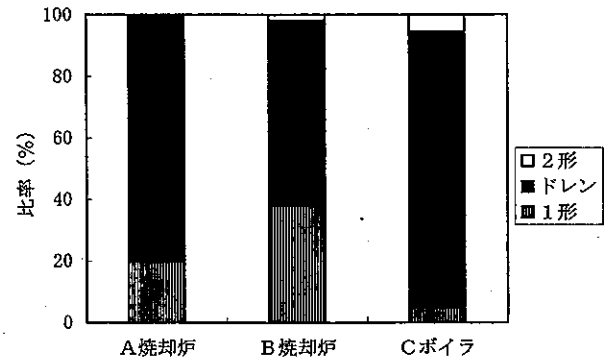


図3 全ダストに対する各ダストの割合

(2) 金属成分の分析結果

金属成分の分析結果を表3に示した。

Aごみ焼却炉は1形円筒ろ紙に亜鉛、カルシウム、鉛が多く捕集され、Bごみ焼却炉の1形円筒ろ紙にはアル

表3 ダストの重金属成分分析結果

施設名	捕集部	重 金 属 成 分											
		合計 (μg)	Al (μg)	Ca (μg)	Cd (μg)	Cr (μg)	Cu (μg)	Fe (μg)	Mn (μg)	Ni (μg)	Pb (μg)	V (μg)	Zn (μg)
Aごみ焼却炉	1形	304	tr	90.2	6.20	0.58	7.00	2.2	0.20	0.24	69.3	0.13	128
	ドレン	94	28	22.4	tr	0.69	0.87	24.0	10.7	0.31	1.95	0.12	4.81
	2形	24	(14)	12.6	tr	0.86	0.30	5.3	0.13	0.61	0.16	tr	4.33
Bごみ焼却炉	1形	397	244	75.3	0.48	tr	5.89	10.4	0.40	1.16	14.7	0.98	44.1
	ドレン	473	393	36.7	tr	0.10	0.80	28.3	11.8	0.24	0.70	0.02	0.92
	2形	13	tr	6.0	tr	(0.02)	0.06	4.1	tr	1.71	0.70	tr	0.35
C重油ボイラ	1形	14	(17)	8.8	tr	0.47	0.03	0.9	0.14	1.09	0.22	1.81	0.96
	ドレン	15	(6)	6.3	tr	(0.03)	0.07	6.0	2.03	0.11	0.20	tr	0.28
	2形	2	tr	tr	tr	0.60	tr	tr	tr	1.00	tr	0.25	tr
定量限界値 (μg)			20	5.0	0.03	0.10	0.01	0.5	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05
ろ紙ブランク (μg)			307	66.3	0.03	4.42	0.44	37.2	1.31	1.35	0.47	0.30	2.06
試薬ブランク (μg)			27	5.5	tr	(0.07)	0.34	3.8	0.90	0.03	0.05	tr	0.22

注) : 定量限界値以下は (分析値) と表す。

合計値にtr及び (分析値) は含まない。trは定量限界値以下を表す。

ミニウム、カルシウム、亜鉛が多かった。亜鉛、カルシウム、鉛は、各々の2形円筒ろ紙には少量しか捕集されなかった。

また、A、Bごみ焼却炉のドレンには、円筒ろ紙よりも鉄、マンガンが多く含まれていた。

なお、C重油ボイラ中のダスト中の金属成分は、C重油のみの燃焼のため、ごみ焼却炉に比べ全般に濃度が低かった。

今回、使用した石英製円筒ろ紙の金属類のブランク値は、アルミニウム、カルシウム等が高い値を示した。

そのため、低濃度の金属類の測定には、テフロンフィルター等のブランク値の低い捕集材を使用する必要がある。

(3) 水溶性成分の分析結果

水溶性成分の分析結果を表4に示した。

水溶性成分は、各施設ともドレンに主に捕集され、特に硫酸イオン濃度が顕著に高かった。

Aごみ焼却炉では、塩化物イオン、アンモニウムイオン濃度が高い値であったが、Bごみ焼却炉では、塩化物イオンがほとんど検出されず、アンモニウムイオン濃度も低かった。そこで、ドレンを乾固しないで直接測定すると、各ごみ焼却炉とも400~500mgの塩化物イオンが検出された。これはダストを計測するために、ドレン水をいったん乾固する操作の過程で過剰な塩素が塩酸の形で揮散したことを示している。

A、Bごみ焼却炉の1形円筒ろ紙では、ナトリウム、カリウム、硫酸イオンが高い値で捕集されていた。

2形円筒ろ紙では水溶性成分があまり検出されず、硫

表4 ダストの水溶性成分分析結果

施設名	捕集部	水溶性成分								
		合計 (μg)	Ca^{2+} (μg)	Mg^{2+} (μg)	Na^+ (μg)	K^+ (μg)	Cl^- (μg)	NO_3^- (μg)	SO_4^{2-} (μg)	NH_4^+ (μg)
A ごみ 焼却 炉	I形	5577	655	tr	1130	1400	1740	tr	652	tr
	ドレン	13810	tr	tr	110	tr	5760*	(16)	3510	4430
	II形	141	tr	tr	tr	tr	tr	(16)	(47)	tr
B ごみ 焼却 炉	I形	4584	394	(18)	595	725	(19)	tr	2870	tr
	ドレン	4529	(11)	tr	88	43	tr*	tr	4090	308
	II形	444	102	tr	(10)	(9)	53	tr	262	27
C 重 油 ボ イラ	I形	535	102	tr	(38)	11	tr	tr	422	tr
	ドレン	10623	(13)	tr	(46)	14	70	tr	10500	39
	II形	252	tr	tr	tr	tr	tr	tr	252	tr
定量限界値 (μg)			100	30	60	10	40	20	70	10
ろ紙ブランク (μg)			55	16	31	6	18	10	38	tr

注) : 定量限界値以下は(分析値)と表す。

合計値にtr及び(分析値)は含まない。trは定量限界値以下を表す。

* : Aごみ焼却炉のドレンの塩化物イオンは乾固しない場合417000 μg 、Bごみ焼却炉の場合520000 μg と高濃度で検出された。

酸イオンが多少多い程度であった。

(4) 炭素成分の分析結果

炭素成分の分析結果を表5に示した。

1形円筒ろ紙では、3施設とも全炭素に占めるC_{ele}の割合が高かった。Aごみ焼却炉は燃焼状態が多少不安定であるため、他の2施設よりC_{org}がドレン、2形円筒ろ紙で比較的高い値を示した。

Aごみ焼却炉とC重油ボイラでは、1形より2形の円筒ろ紙でC_{ele}の重量が高い傾向にある。

(5) ダストの成分別捕集量

金属成分、水溶性成分、炭素成分の分析結果を、各試料の排ガス吸引量を用いて重量を $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ に換算し、1形、ドレン、2形別に成分別捕集量をまとめて図4に示した。

図4より、Aごみ焼却炉はドレンの重量比率が高く18 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ 近くあり、塩化物イオン、アンモニアイオン、硫酸イオンの割合が高い。ここでは硫酸アンモニウムの形で存在した可能性がある。また、1形円筒ろ紙は塩化物イオンに次いでカリウム、ナトリウム、カルシウムの割合が高い。

Aごみ焼却炉の成分ごとの合計重量と図2の測定重量

表5 ダストの炭素成分分析結果

施設名	捕集部	炭素成分		
		C _{org} (μg)	C _{ele} (μg)	C _t (μg)
A ごみ 焼却 炉	I形	103	278	381
	ドレン	640	1730	2370
	II形	1040	351	1391
B ごみ 焼却 炉	I形	186	3030	3216
	ドレン	14	14	28
	II形	ND	57	57
C 重油 ボイラ	I形	ND	158	158
	ドレン	14	14	28
	II形	ND	315	315

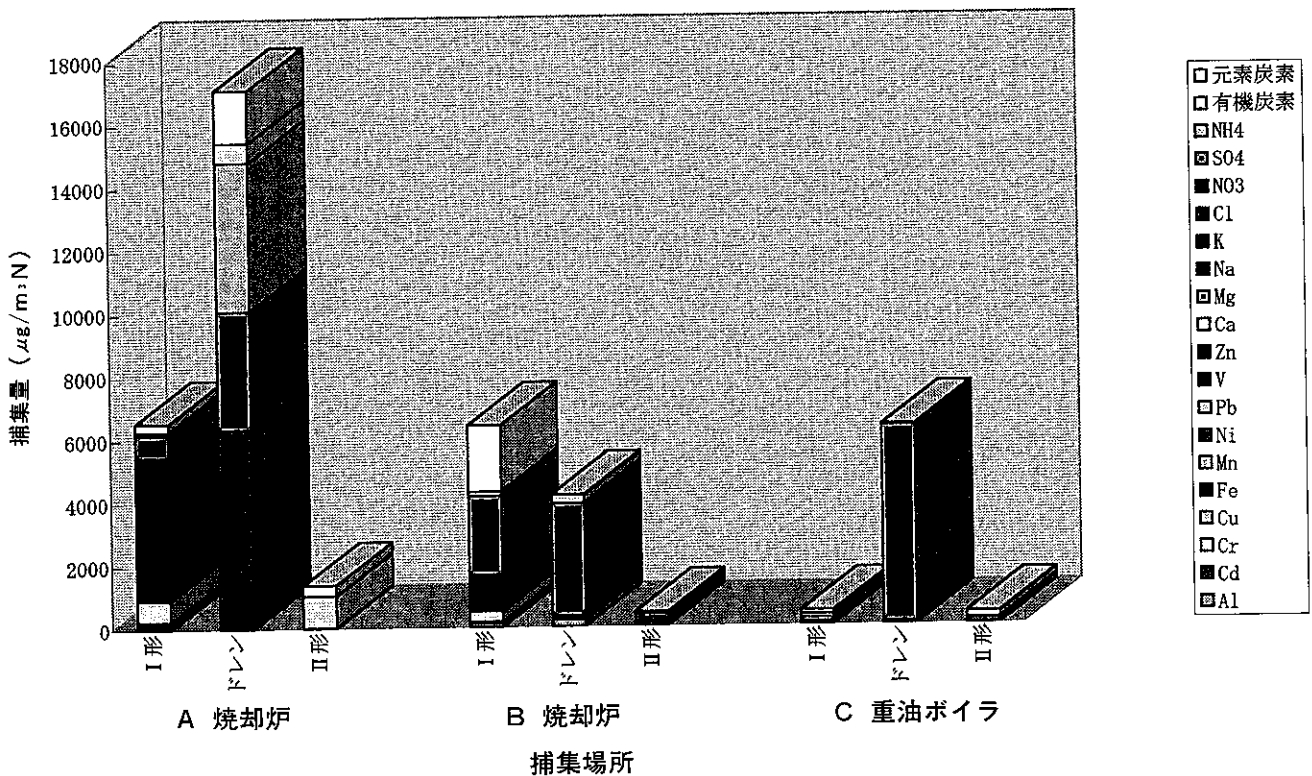


図4 ダストの成分別捕集量

を比較すると、両者は比較的近い値を示していた。

Bごみ焼却炉の合計重量は1形で $6 \text{ mg/m}^3\text{N}$ 、ドレンで $4 \text{ mg/m}^3\text{N}$ 近くあり、硫酸イオンの割合が高い。なお、1形円筒ろ紙では、 C_{ele} の割合が硫酸イオンよりも高い。

Bごみ焼却炉の成分ごとの合計重量と図2の測定重量を比較すると、合計重量が測定重量を上回っていた。これは、主要成分濃度の時間変動等によるものと考えられる。

C重油ボイラは捕集された成分の大部分がドレンの硫酸イオンであり、測定重量とほぼ一致していた。

4 まとめ

「水-間接冷却法」を用いたダストサンプリング法によって、ごみ焼却炉、重油ボイラのダストと凝縮性ダストを測定した。

重量測定による凝縮性ダスト（ドレン+2形）の濃度は各施設ともダスト（1形）より多く、全ダスト重量に占める凝縮性ダストの割合は60~90%以上であった。なお、凝縮性ダストはほとんどドレンに捕集されており、2形ろ紙に捕集された割合は小さかった。

ごみ焼却炉からの凝縮性ダストには、硫酸イオンや塩化物イオン、アンモニウムイオンが多く含まれている。一方、重油ボイラでは硫酸イオンが多かった。

ごみ焼却炉のドレンには塩化物イオンが高濃度で含まれているが、蒸発乾固の操作で大部分が塩酸の形で揮散している。

また、ごみ焼却炉の凝縮性ダストに比較的多く含まれる金属成分は、アルミニウム、鉄、カルシウム、マンガンであるが、アルミニウム、カルシウムは石英繊維ろ紙ではブランクが高いため、捕集材を検討する必要がある。

なお、今回の方法では、成分別捕集量の合計値と捕集重量が一致しないものがあったので、今後は、一つの円形ろ紙試料及びドレン試料をそれぞれ3分割して、金属成分、水溶性成分、炭素成分を測定することが必要と考える。

今回の調査により、固定発生源から発生するダストに占める凝縮性ダストの寄与の大きさ等が分かったが、SPM削減対策のためには、今後とも、さらに凝縮性ダストのデータを蓄積していく必要があると考える。

引用文献

- 1) 東京都浮遊粒子状物質削減対策検討会：東京都の浮遊粒子状物質削減対策について、平成7年12月
- 2) 小暮信之, 白波瀬雅明：排ガス中の凝縮性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).
- 3) 飯豊修司：排ガス中ダスト濃度測定における捕集器の検討, 千葉県公害研究所研究報告, 22(1), p. 1~8 (1990).
- 4) 白波瀬雅明, 小暮信之：排ガス希釈式サンプリングによる凝縮性ダストの測定に関する検討, 第31回大気汚染学会講演要旨集, p. 505(1990).
- 5) 佐俣満夫ら：石炭燃焼に伴う煙道内凝縮性粒子の排出特性, 横浜市環境科学研究所, 18, p. 11~13 (1994).
- 6) 財団法人品質保証機構：凝縮性ダストを含むばいじん測定検討調査報告書, p. 60(1994).
- 7) 広瀬健二ら：都市ごみ焼却炉における凝縮性ダストの調査, 川崎市公害研究所年報, 22, p. 5~10(1996).