

都市ゴミ焼却炉における凝縮性ダストの調査 ()

The Emission of Dust Including Condensable Dust
From Municipal Incinerator

井上俊明	Toshiaki	INOUE
古川功二	Koji	FURUKAWA
三澤隆弘	Takahiro	MISAWA
石田哲夫	Tetsuo	ISHIDA
湯川茂夫	Shigeo	YUKAWA
川村和弘	Kazuhiro	KAWAMURA

キーワード：凝縮性ダスト，都市ゴミ焼却炉，成分分析

Key words : dust including condensable dust, municipal incinerator, elemental composition

1 はじめに

現在，固定発生源から排出されるばい煙の中には，粒子状物質として排出される一次粒子及びガス状物質として排出された後に光化学反応等により粒子化する二次生成粒子の外に，現行のばいじん測定法では測定できない煙突から大気中に排出された直後に粒子化する，いわゆる「凝縮性ダスト」の存在が知られている。

この凝縮性ダストが従来のばいじん排出量の数十パーセントから施設によっては数倍も占めることから浮遊粒子状物質削減対策上の課題として顕在化してきている。

そこで，本調査では，ダイオキシン類対策特別措置法により各種大気汚染物質の排出削減対策が進められている都市ゴミ焼却炉において，凝縮性ダストの測定法として環境庁の検討会で報告された2方法，「水 - 間接冷却法」と「空気 - 直接冷却法」により排出実態を把握するとともに，測定法の違いによる凝縮性ダスト量に及ぼす影響について，捕集ダストの成分組成の面から検討したので報告する。

2 調査方法

2.1 調査期間・調査対象施設

調査は，平成11年11月から12月にかけて川崎市内の都市ゴミ焼却2施設について実施した。

調査施設の概要を表1に示した。

表1 調査施設の概要

施設名	規模	焼却量	排ガス処理施設
焼却炉1	300t/d	10.6t/h	炉内脱硝-EP-洗浄スクラバ
焼却炉2	300t/d	12.2t/h	炉内脱硝-消石灰スラリー噴霧-バグフィルタ

焼却炉の排ガス処理施設は，表1に示したように焼却炉1が最終処理に洗浄スクラバを通す湿式処理であり，焼却炉2がバグフィルタ式集塵機を通す乾式処理である。

2.2 試料採取方法

凝縮性ダストの測定方法は，「水 - 間接冷却法」と「空気 - 直接冷却法」の2方法により，試料採取は JIS Z 8808 に準拠して行った。

使用する紙は，円形ろ紙（ポールフレックス 2500 QAST 42mm）を用いた。

「水 - 間接冷却法」の構成図を図1に，「空気 - 直接冷却法」の構成図を図2にそれぞれ示した。

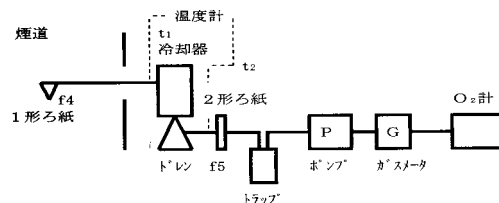


図1 「水 - 間接冷却法」の構成

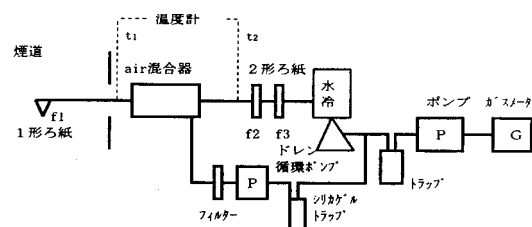


図2 「空気 - 直接冷却法」の構成

「水 - 間接冷却法」は，1形ろ紙を通過した吸引ガスを水を冷媒とした冷却器で間接的に冷却することによって生成される凝縮水中に凝縮性ダストを捕集(以下ドレン)し，さらに残りの粒子を後段に設置した2形ろ紙で捕集する方法である。この方法における凝縮性ダスト量は，

「ドレン乾燥重量 + 2形ろ紙採取重量」である。

「空気 - 直接冷却法」は、1形ろ紙を通過した吸引ガスに冷却・除湿した清浄空気を混合することによって吸引ガスを直接、希釈・冷却し、ここで生成される凝縮性ダストを2段の2形ろ紙1と2形ろ紙2で捕集する方法である。この方法における凝縮性ダスト量は、「2形ろ紙1採取重量 + 2形ろ紙2採取重量」である。

2.2 分析方法

(1) ダスト重量

ろ紙：105 で1時間乾燥し、デシケータ中で放冷後秤量した。

ドレン：冷却管先液を加えて一定容量にメスアップした試料を80 で蒸発乾固し、デシケータ中で乾燥放冷後秤量した。

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

ろ紙：フッ酸 - 硝酸 - 過塩素酸分解後、原子吸光法で分析した。

ドレン：蒸発乾固後質量を計量した試料を硝酸 - 過塩素酸分解後、原子吸光法で分析した。

(3) イオン成分(NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)

ろ紙：超音波30分で水抽出し、マイレクスGS(0.22 μm)でろ過後、イオンクロマト法で分析した。

ドレン：蒸発乾固後質量を計量した試料を、50m lの純水で抽出し、マイレクスGS(0.22 μm)でろ過後、イオンクロマト法で分析した。

(4) 炭素成分(C_t, C_{org}, C_{ele})

ろ紙：試料ろ紙全量をCHN計で分析した。

ドレン：蒸発乾固後質量を計量した試料を少量の純水で再溶解し、石英トレーに全量移し、水分を除去した試料をCHN計で分析した。

なお、C_{org}は550 He, C_{ele}は900 He-O2 で分析し、C_t = C_{org} + C_{ele} で求めた。

3 結果及び考察

3.1 ダスト濃度

今回調査を行った焼却炉1及び焼却炉2における燃焼排ガス条件及びガス状物質濃度は、表2に示したとおりである。

表2 排ガス条件及びガス状物質濃度

施設名	温度	流速	水分	O ₂	SO ₂	HCl	NH ₃	NO _x
		m/s	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
焼却炉1	184	5.9	23.5	9.1	2.56	19.2	1.47	53.7
焼却炉2	159	11.7	21.5	11.7	0.26	0.15	1.07	47.0

表3 水間接冷却法による捕集部別ダスト濃度

施設名	1形捕集部		2形捕集部						全ダスト濃度 mg/m ³ _N
	ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	ドレン		2形		合計		
			ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	凝縮性 ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	
焼却炉1	0.79	4.6	15.97	92.9	0.44	2.6	16.41	95.4	17.20
焼却炉2	0.03	0.8	3.92	90.9	0.36	8.3	4.28	99.2	4.32

表4 空気直接冷却法による捕集部別ダスト濃度

施設名	1形捕集部		2形捕集部						全ダスト濃度 mg/m ³ _N
	ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	2形1		2形2		合計		
			ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	凝縮性 ダスト濃度 mg/m ³ _N	全ダスト濃度 に対する 割合 %	
焼却炉1	0.77	25.7	1.40	46.7	0.83	27.6	2.24	74.3	3.01
焼却炉2	0.0	0.0	0.7	46.8	0.78	53.22	1.46	100.0	1.46

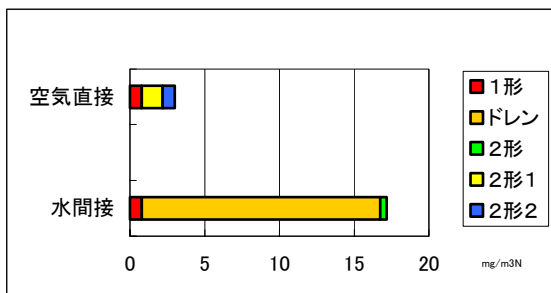


図3 測定手法別ダスト濃度比較 (焼却炉1)

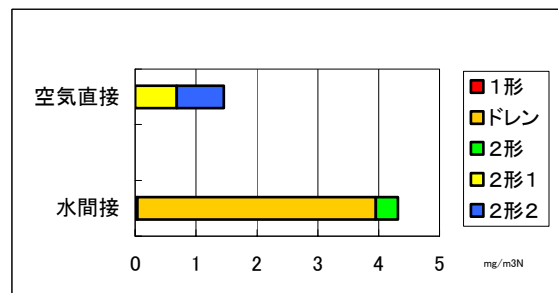


図4 測定手法別ダスト濃度比較 (焼却炉2)

これら2施設における凝縮性ダストを含む全ダストの調査結果について、水間接冷却法を捕集部別に表3に、空気直接冷却法を表4に示した。また測定法による濃度比較について焼却施設別に図3 図4にそれぞれ示した。

これらの図から明らかなように、「水間接冷却法」と「空気直接冷却法」とで凝縮性ダスト量に大きな差が生じた。これは、「水間接冷却法」のドレン中に、凝縮性ダストといえないガス状成分の一部を含んで捕集され、ドレン重量を秤量するための前処理過程で捕集されたガス状成分が蒸発乾固までの過程で反応し粒子状物質とし

て評価されたことによるものと思われる。焼却施設については、特にこの傾向が多く現れることが報告されている⁷⁾。また、「空気直接冷却法」では、粒子成長しきれない凝縮性ダストがろ紙に捕集しきれず2形1、2形2ろ紙を通過してしまうため過小評価となる傾向がある。

このことについては、3.3で詳述する。

3.2 成分濃度

表5に金属成分、表6に水溶性成分、表7に炭素成分の分析結果を施設別、採取法別、捕集部別に示した。

表5 金属成分分析結果

施設名	採取法	捕集部	捕集量 mg	Al wt%	Ca	Zn	Cd	Cr	Fe	Cu	Pb	Ni	V	Mn
焼却 施設1	水間接 冷却法	1形	1.53	0.02	0.72	4.65	0.12	0.06	0.90	0.15	0.60	0.01	tr	0.03
		ドレン	22.61	0.02	0.37	0.01	tr	tr	0.02	tr	tr	0.01	tr	tr
		2形	0.31	tr	1.21	0.23	tr	tr	3.46	tr	0.05	tr	tr	0.03
	空気直接 冷却法	1形	0.27	tr	0.67	8.03	0.07	0.42	2.45	0.21	0.91	tr	tr	tr
		2形1	0.49	tr	1.53	0.24	tr	0.05	0.10	0.06	0.01	tr	tr	tr
		2形2	0.29	tr	0.57	0.11	tr	0.15	tr	0.06	0.04	0.04	tr	tr
焼却 施設2	水間接 冷却法	1形	0.00	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
		ドレン	2.38	0.09	0.88	0.48	tr	0.04	0.09	0.01	0.00	0.02	tr	0.01
		2形	0.31	tr	1.37	0.23	tr	0.05	2.17	0.02	0.02	0.29	tr	tr
	空気直接 冷却法	1形	0.00	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
		2形1	0.60	tr	0.88	0.11	tr	0.14	1.96	0.05	0.01	0.08	tr	tr
		2形2	0.61	tr	2.87	0.19	tr	0.44	1.42	0.09	0.02	0.20	tr	0.03

表6 水溶性成分分析結果

施設名	採取法	捕集部	捕集量 mg	F Wt%	Cl	NO ₃	SO ₄	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺⁺
焼却 施設1	水間接 冷却法	1形	0.26	0.02	40.82	tr	14.30	29.36	4.14	10.50	0.16	1.45
		ドレン	5.93	tr	27.17	1.38	27.46	0.99	24.69	0.57	0.03	0.15
		2形	0.26	tr	0.59	tr	0.36	0.73	2.60	0.27	0.04	0.38
	空気直接 冷却法	1形	0.27	0.01	35.45	tr	11.95	24.26	0.08	9.66	0.04	0.20
		2形1	0.48	0.08	0.86	tr	7.52	0.61	1.89	0.23	0.15	0.47
		2形2	0.14	0.09	1.04	tr	1.86	0.54	0.12	0.13	0.06	0.09
焼却 施設2	水間接 冷却法	1形	0.00	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
		ドレン	3.55	tr	23.75	0.28	10.30	1.20	18.85	0.74	0.06	0.09
		2形	0.23	tr	tr	tr	0.02	tr	tr	0.02	tr	tr
	空気直接 冷却法	1形	0.00	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
		2形1	0.32	tr	0.20	tr	tr	0.02	tr	tr	tr	tr
		2形2	0.54	tr	1.93	tr	tr	0.10	0.56	0.15	0.02	0.08

表7 炭素成分分析結果

施設名	採取法	捕集部	捕集量 mg	Ctotal Wt%	Corg	Cele
焼却 施設1	水間接 冷却法	1形	0.27	7.36	6.69	0.67
		ドレン	7.66	0.62	0.51	0.11
		2形	0.20	12.49	9.47	3.03
	空気直接 冷却法	1形	0.27	8.55	6.69	1.85
		2形1	0.42	17.54	12.90	4.64
		2形2	0.32	26.59	21.47	5.12
焼却 施設2	水間接 冷却法	1形	0.07	56.30	45.39	10.91
		ドレン	2.73	1.02	0.65	0.38
		2形	0.25	8.90	6.40	2.51
	空気直接 冷却法	1形	0.00	tr	tr	tr
		2形1	0.49	26.90	22.59	4.31
		2形2	0.43	20.00	16.67	3.33

また、採取法別、捕集部別の主要成分比率について、焼却炉1を図5、図6に、焼却炉2を図7、図8にそれぞれ示した。ここで成分比率の少ない金属成分については、見やすくするために脇だして示した。

図5では、焼却施設1の水間接冷却法の1形、ドレン、2形について、金属4成分・水溶性5成分・炭素(Corg・Cele)の各成分比率を示した。1形では、金属でZn、水溶性成分では多い順にCl⁻、Na⁺、SO₄²⁻、K⁺、NH₄⁺であった、炭素成分ではCorgが主でCeleは少なかった。この施設は、排ガスをスクラバにより全量洗浄処理を行っているため、粗大粒子はほとんどがここで処理される。

したがって、1形での捕集ダスト量は少なく、スクラ

バで処理しきれなかった残りの塩類等が1形ろ紙に捕集されたものと思われる。ドレン部では、NH₄⁺、Cl⁻、SO₄²⁻が多く含まれていて、金属や炭素成分は非常に少なかった。ドレン中の水溶性成分が多いのは、ガス状のNH₃やHClがドレン中に捕集され蒸発乾固の過程で塩を生成し残さとして残るためと思われる。

これは、本来、大気中で粒子化する二次生成粒子を凝縮性ダストとして捕集してしまうため、このことが、水間接冷却法のサンプリングアーティファクトとしての課題となっている。2形ろ紙では、CorgとCeleが半分以上を占め、その他金属ではFe、Caが、水溶性成分ではNH₄⁺が多く含まれていた。

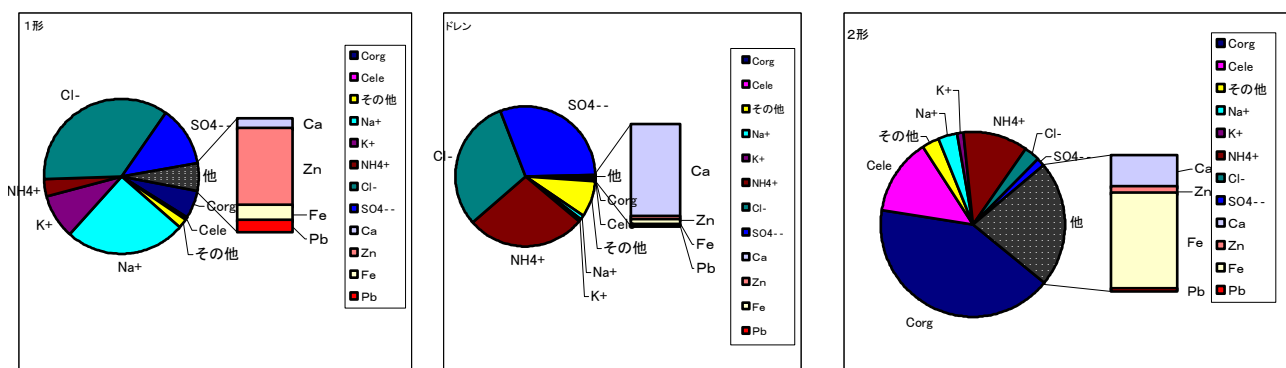


図5 水間接冷却法の捕集部別成分比率 (焼却炉1)

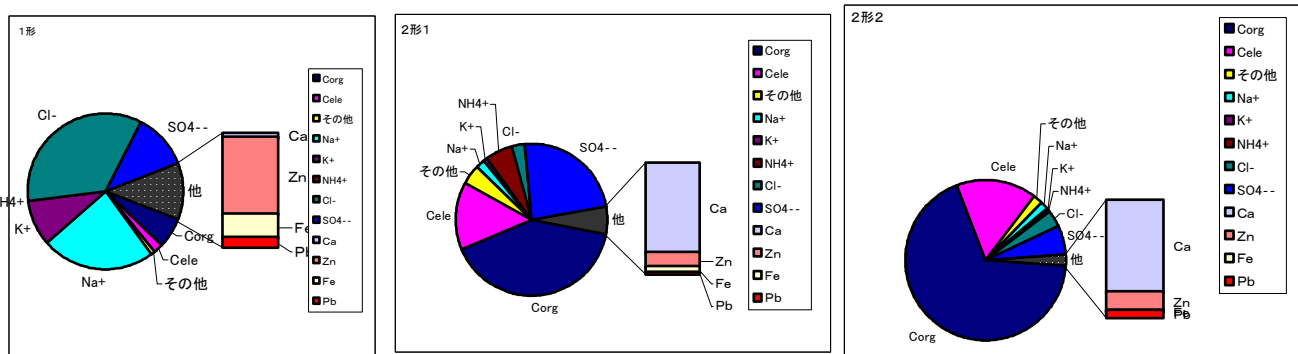


図6 空気直接冷却法の捕集部別成分比率 (焼却炉1)

図6に、空気直接冷却法の1形、2形1、2形2の金属・水溶性・炭素の主な成分の比率を示した。1形では、水間接冷却法のものとはほぼ同じ成分であったが、2形1では水間接冷却法の2形と同様にCorgとCeleで半分以上を占め、その他SO₄²⁻、NH₄⁺、Caなどが多かった。2形2では、そのほとんどがCorgで、Celeは2形1とほぼ同じであった。水間接冷却法との違いは、Cl⁻、NH₄⁺が非常に少ないことである。このことは、凝縮性ダストの生成が2形2でも促進されていないためと思われる。

図7は、焼却炉2の水間接冷却法の成分比率であるが、

1形ろ紙のダスト捕集量がないので、ドレンと2形について示した。ドレンでは、水溶性成分のCl⁻、NH₄⁺、SO₄²⁻が主で金属、炭素成分は少なかった。2形では、炭素成分のCorgとCeleが主で、金属成分ではFe、Caが多く、水溶性成分はほとんど検出されなかった。図8は、空気直接冷却法の2形1と2形2の成分比率を示した。2形1ではCorgがほとんどでそのほかはCeleとFeであった。2形2ではCorgとCeleの他に、Cl⁻、NH₄⁺などの水溶性成分が増加している。

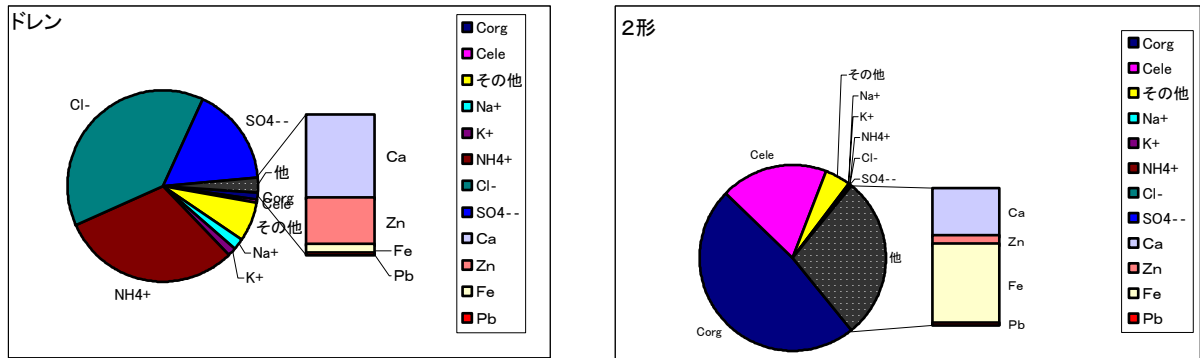


図7 「水間接冷却法」の捕集部別成分比率（焼却炉2）

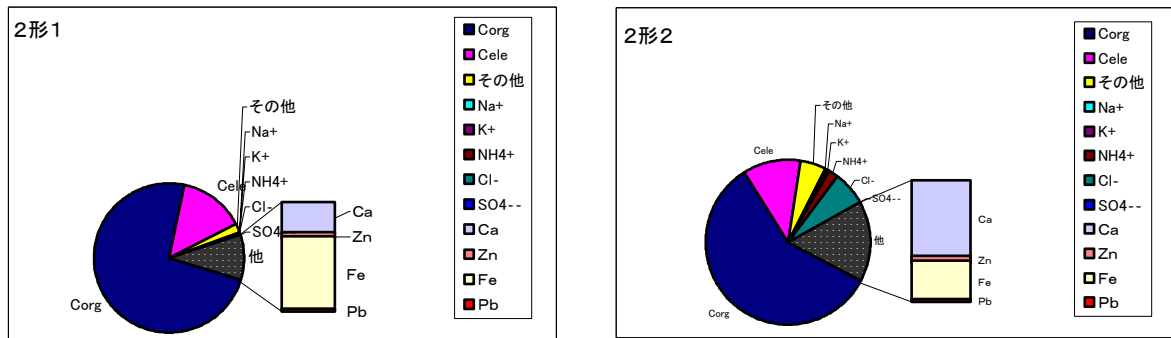


図8 空気直接冷却法の捕集部別成分比率（焼却炉2）

3.3 採取法の違いによる凝縮性ダスト生成への影響について検討

凝縮性ダストの採取方法については、先に図1と図2に示したとおりであるが、水間接冷却法は排ガスを強制的に冷却し、ドレンとして捕集し、これを蒸発乾固させてドレン重量とするものであるが、ドレン中にはガス状物質のHClやNH₃はほとんど全て捕集されるが^{1),9)}、蒸発乾固の過程でNH₄Clの形で全てドレン中に残り、凝縮性ダストを多めに評価することが指摘されている^{7),10)}。

また、空気直接冷却法は、排ガスを清浄空気で直接希釈、冷却する事によって粒子成長した凝縮性ダストをろ紙捕集するもので、水間接冷却法が凝縮性ダストになると思われる成分を捕集するのに比べて空気直接冷却法は、粒子となった本来の凝縮性ダストを捕集できる捕集法であるが、この希釈トンネル内で粒子成長しきれない粒子がろ紙を通過するため、過小評価する傾向がある。2つの測定方法とも一長一短があるが、特に焼却施設においてこの傾向が顕著に現れる。

そこで、これを検証するために空気直接冷却法の2形2ろ紙の後ろに水間接冷却法のドレン採取装置を取り付ける紙を通過した排ガスから凝縮性ダスト生成に關する成分の調査を行った。

その装置構成について、図9に示した。

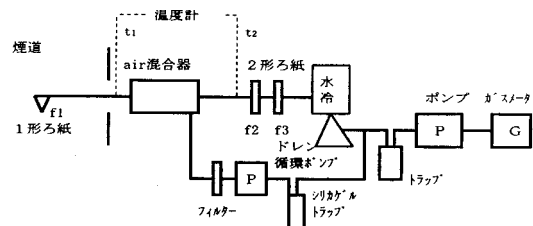


図9 空気直接冷却後にドレン採取装置設置構成

焼却炉1及び焼却炉2について本装置による調査を行い、空気直接冷却法採取後のドレンの成分分析結果を焼却施設別に表8に示した。また、この成分分析結果について焼却施設別に図10及び図11にそれぞれ示した。

図10の焼却炉1では、水間接冷却法のドレン（図5）と比較してCl⁻、NH₄⁺の比率が少なくなり、SO₄²⁻、Na⁺、K⁺などが多くなっていた。特にCl⁻が大幅に減少し、SO₄²⁻が大きく増加していた。図11の焼却炉2では、図7のドレンとの比較で、焼却炉1と同様にCl⁻の比率が少なくなり、SO₄²⁻が多くなっていた。

このことから、空気直接冷却法で粒子成長しきれずに2形2ろ紙を通過しその後設置されたドレン捕集部に捕集された成分が凝縮性ダストになる成分と思われる。

したがって、今回調査した焼却炉などについては、空気直接冷却法のろ紙捕集の後にドレン捕集したものを含めて凝縮性ダスト濃度として評価することが、現状では

妥当であると思われる。

焼却炉 1 及び焼却炉 2 の凝縮性ガス濃度を空気直接冷却法後のドレン濃度を含めて評価し、水間接冷却法と比較して図12及び図13に示した。

焼却炉 1 の空気直接冷却法後のドレン濃度は、 $3.06 \text{ mg/m}^3_{\text{N}}$ であった。また、焼却炉 2 の空気直接冷却法後のドレン濃度は、 $1.60 \text{ mg/m}^3_{\text{N}}$ であった。

表 8 空気直接冷却法後のドレンの成分分析結果

施設名	採取法	捕集量mg	Al	Ca	Zn	Cd	Cr	Fe	Cu	Pb	Ni	V	Mn
焼却炉 1	空気直接冷却法後のドレン	1.10	0.04	0.90	0.06	tr	tr	4.11	tr	tr	tr	tr	0.02
焼却炉 2	空気直接冷却法後のドレン	0.99	0.16	1.06	0.16	tr	tr	0.18	0.03	tr	0.06	tr	tr

施設名	採取法	捕集量mg	F	Cl	NO3	SO4	Na+	NH4+	K+	Mg+	Ca++
焼却炉 1	空気直接冷却法後のドレン	2.13	tr	5.81	0.84	28.23	1.53	13.72	0.89	0.01	0.05
焼却炉 2	空気直接冷却法後のドレン	1.16	tr	1.11	0.54	13.19	2.31	3.54	1.35	0.11	0.41

施設名	採取法	捕集量mg	Ctotal	Corg	Cele
焼却炉 1	空気直接冷却法後のドレン	2.60	1.49	1.24	0.26
焼却炉 2	空気直接冷却法後のドレン	1.19	1.83	1.36	0.47

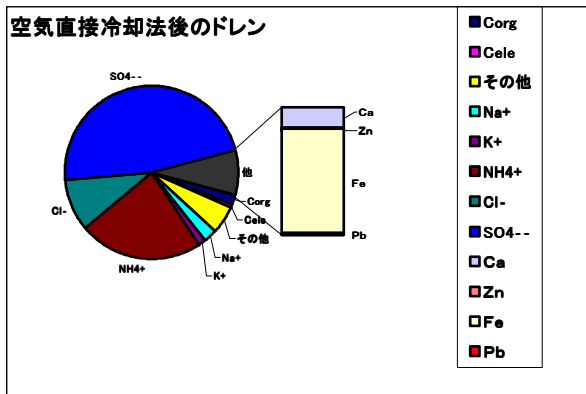


図 10 成分比率 (焼却炉 1)

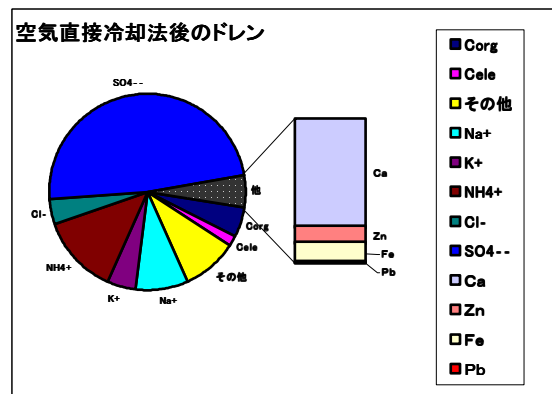


図 11 成分比率 (焼却炉 2)

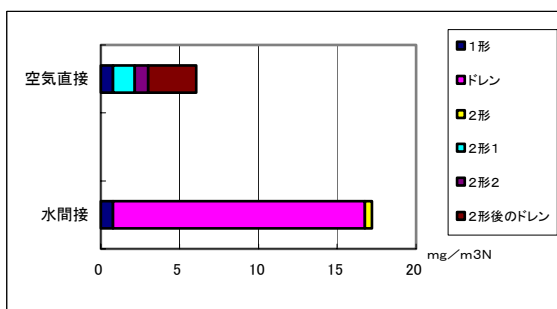


図 12 空気直接冷却法後のドレン濃度 (焼却炉 1)

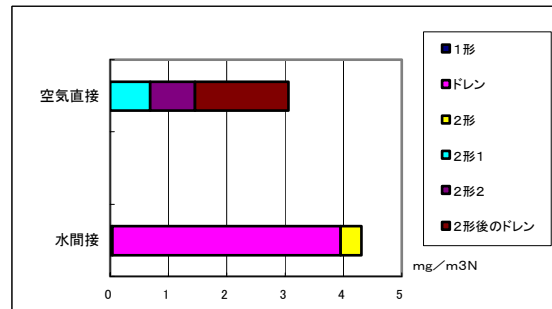


図 13 空気直接冷却法後のドレン濃度 (焼却炉 2)

4 まとめ

今回は、最新の排ガス処理対策が進められた都市ごみ焼却施設における凝縮性ガスを含むガス成分の排出実態を把握するとともに、凝縮性ガスの測定法である

「水間接冷却法」と「空気直接冷却法」の 2 方法により、測定法の違いによる凝縮性ガス濃度に及ぼす影響について、捕集ガスの成分組成の面から検討した。

(1) ダスト濃度について

「水間接冷却法」と「空気直接冷却法」とで凝縮性ダスト量に大きな差が生じた。焼却炉1では、「水間接冷却法」による凝縮性ダスト量が7倍多く、焼却炉2では、3倍多く評価された。これは、「水間接冷却法」のドレン重量を秤量するための前処理過程でドレン中に捕集されたガス状成分が蒸発乾固の過程で反応し粒子状物質として過大に評価され、「空気直接冷却法」では、粒子成長しきれない凝縮性ダストが2形ろ紙を通過してしまうため、過小評価となるものと思われる。

(2) 成分濃度について

このことを成分組成からみると、焼却炉1、焼却炉2とも水間接冷却法のドレン部では、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 成分が80%以上の比率で含まれていて、金属や炭素成分は非常に少なかった。ドレン中にこれらの水溶性成分が多いのは、ガス状の NH_3 や HCl がドレン中に捕集され蒸発乾固の過程で塩を生成し、残さとして残るためと思われる。

空気直接冷却法では、焼却炉1、焼却炉2とも2形1及び2形2ろ紙の主成分は炭素成分であり、水溶性成分の比率が非常に少なかった。このことから、粒子成長しきれない凝縮性ダストが2形1及び2形2ろ紙に捕集しきれずにろ紙を通過してしまうためと思われる。

(3) 採取法の違いによる凝縮性ダスト生成への影響について

空気直接冷却法の2形2ろ紙の後ろに水間接冷却法のドレン採取装置を取り付ける紙を通過した排ガスから凝縮性ダスト生成に関与する成分の調査を行った。ここで捕集したドレンの成分分析結果より、水間接冷却法のドレンと比較すると焼却炉1、焼却炉2とも、 Cl^- 、 NH_4^+ の成分比率が減少し、 SO_4^{2-} が大きく増加していた。このことから、空気直接冷却法で粒子成長しきれずに2形1、2ろ紙を通過したこれらの成分が凝縮性ダストになる成分と考えられる。

したがって、今回調査した焼却炉などについては、空気直接冷却法のろ紙捕集後にドレン捕集したものを含めて、凝縮性ダスト濃度として評価することが、現状では妥当であると思われる。

文 献

- 1) 井上俊明, 安藤 仁, 佐藤静雄, 山田健二郎: ばい煙発生施設における凝縮性ダストの排出状況について, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 293(1996)
- 2) 井上俊明, 安藤仁, 佐藤静雄: 簡易焼却炉における凝縮性ダストの排出状況について, 第36回大気汚染学会年会講演要旨集, 340(1995)
- 3) 広瀬健二, 安藤 仁, 井上俊明, 佐藤静雄: 都市ゴミ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, 5~10(1996)
- 4) 石井克己: 水-間接冷却法における採取・分析条件が凝縮性ダスト濃度に与える影響について, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 291(1996)
- 5) 谷本高敏: 凝縮性ダストを含む発生源ダストの測定(), 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 294(1996)
- 6) 小暮信之, 白波瀬雅明, 田中 学, 大井明彦: 固定発生源から排出される凝縮ダストの排出特性-化学成分と排ガス温度の関係-, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 295(1996)
- 7) 財)日本品質保証機構: 平成8年度環境庁委託事業, 凝縮性ダストを含むばいじん測定法検討調査報告書, (1997)
- 8) 中田利明, 石井克美, 依田彦太郎, 星野 充, 伊藤章夫: 水間接冷却法による凝縮性ダストを含むばいじん排出実態調査, 第37回大気環境学会年会講演要旨集, 292(1996)
- 9) 井上俊明, 広瀬健二, 安藤 仁, 山田健二郎: 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, 23, 5~9(1997)
- 10) 辰市裕久: 工場排ガス中の凝縮性ダストについて, 東京都環境科学研究所年報, 162~170(1998)