

## ごみ焼却炉から排出されるばいじんの挙動について

### Behavior of Dusts Emitted from Municipal Refuse Incinerator

大気科 竹内 庸夫 水上 和子 須藤 勉\*

#### 要 旨

ごみ焼却炉から排出されるばいじんの挙動を明らかにするために、県内の6施設のごみ焼却炉を対象に、ばいじん調査を行った。マルチサイクロン、電気集じん器及び有害ガス除去装置の前後で、ばいじんの全量及び粒径別採取を行い、Cl, SO<sub>4</sub>, K, Na, Ca及びMg等の組成を分析したところ、集じん器前では微小粒子側と粗大粒子側にピークを持つ2山型の分布を示し、微小粒子はKClとNaClを始めとする無機塩が主成分であり、粗大粒子はCaとMgの化合物等を含む多成分が存在していた。マルチサイクロンの通過によりこの傾向はほとんど変化しないが、電気集じん器通過後は、全粒径でSO<sub>4</sub>の割合が、粗大粒子でClの割合が増すなど粒径別の組成変化が大きかった。

#### 1 はじめに

ごみ焼却炉からは多量の塩化物が気体として排出され、雨水等、種々の環境質の酸性化の一因と言われていた。また、塩化物は気体としてのみでなく固体としてばいじん中にも相当量存在しており、ごみ焼却炉は環境粉じん中の塩素分への寄与の大きい発生源といえる。したがって、塩化物などの陰イオン成分や各種金属成分がどの程度発生し、排出口までの過程でどのような変化をしていくかを知ることは、ばいじんの排出

挙動を把握し、さらに環境粉じんを研究するための基礎資料となるであろう。

今回、県内にあるごみ焼却炉の数施設について、排ガス処理装置の前後でばいじんの調査を行い、いくつかの知見を得たので、その結果を報告する。

#### 2 調査方法

##### 2・1 調査施設及び測定箇所

調査は、県内にあるごみ焼却炉のうち、各燃焼方式並びに、マルチサイクロン(以下、「MC」という)、電気集じん器(以下、「EP」という)及び乾式、湿式の有害ガス除去装置の各排ガス処理方式を代表するものとして6施設を選び、ガス冷却装置以降の排ガス処理装置の前後で行った。

各施設の概要及び測定箇所は表1のとおりである。

表1 調査施設の概要及び測定箇所

施設名	燃焼方式	ガス冷却方式	排ガス処理装置	測定箇所		
				1	2	3
A	機械化バッチ式	水噴射式	MC	MC前	MC後(煙突)	
B	全連続式	〃	EP	EP前	EP後	
C	〃	〃	EP	EP前	EP後	
D	〃	〃	乾式有害ガス除去装置→EP	乾式有害ガス除去装置前*	EP後	
E	〃	〃	EP→湿式有害ガス除去装置	EP前	EP後	湿式有害ガス除去装置後(煙突)
F	熔融熱分解式	〃	MC→EP	MC前	EP後(煙突)	

\* 乾式有害ガス除去装置前とは、消石灰粉体の投入箇所前をいう。

\* 昭和59年4月1日 衛生部中央保健所へ転出

## 2・2 ばいじんの採取方法及び分析方法

ばいじんの採取は、全量試料についてはJIS Z 8808に準じた方法により円筒ろ紙を用い、粒径別試料についてはアンダーセンスタックサンプラーを用いて行った。アンダーセンスタックサンプラーでは9段に分級して粒径別採取ができ、各段の対応粒径は採取条件により異なるが、今回の調査における一例を表2に示す。

表2 アンダーセンスタックサンプラーによる粒径別採取における各分級段の対応粒径

分級級	9	8	7	6	5	4	3	2	1
粒径 μm	0.6 以下	0.6 ~0.9	0.9 ~1.5	1.5 ~3	3 ~5	5 ~7	7 ~10	10 ~16	16 以上

集じん装置の前後においては、ばいじん濃度が極端に異なるため、同時採取はほとんど不可能であるが、できるだけ同時時間帯となるように採取した。

採取したばいじんは秤量した後、pH並びに陰イオン成分及び金属成分を分析した。

pHと陰イオン成分については、蒸留水を加え、超音波抽出を行い、この溶出液を分析した。分析は、塩素分(Cl)をチオシアン酸水銀(II)法により、硫酸分(SO<sub>4</sub>)を比濁法により、硝酸分(NO<sub>3</sub>)をサリチル酸ナトリウム法により行った。

金属成分については、別途採取した試料を硝酸・塩酸抽出後、原子吸光度法により分析した。分析項目は、カリウム(K)、ナトリウム(Na)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、カドミウム(Cd)、鉛(Pb)、マンガン(Mn)、銅(Cu)、亜鉛(Zn)及び鉄(Fe)である。

また、同一箇所では排ガス分析を行い、D、E及びF施設ではEP灰を採取し、この水溶出液のpHと陰イオン成分の分析も行った。

## 3 調査結果及び考察

### 3・1 ばいじん濃度と粒径分布

実際のばい煙発生時の試料は、炉出口、すなわちガス冷却装置前における採取によって得られるが、今回の調査では、排ガスの流れの最も上流側についてはガス冷却装置後を測定箇所とした。調査施設はいずれもガス冷却装置に水噴射式を用いており、これは若干の洗煙集じん効果を持っている。したがって、ガス冷却装置後におけるばいじん濃度は、発生時より低下して

いると考えられ、正確に発生濃度を示しているものではないが、測定値は概ね1.0~2.5g/m<sup>3</sup>(酸素12%換算値、以下同じ)であった。バッチ炉は変動が激しいために他方式炉との比較はできないが、熔融熱分解炉は連続燃焼炉と比べて特に差は見られなかった。

ばいじんの粒径分布を示したものが図1~5である。なお、C施設については、施設分類及び調査結果の傾向がB施設に類似しているため、図の掲載を省略した(以下同様)。集じん装置前においては、1~2μmと10

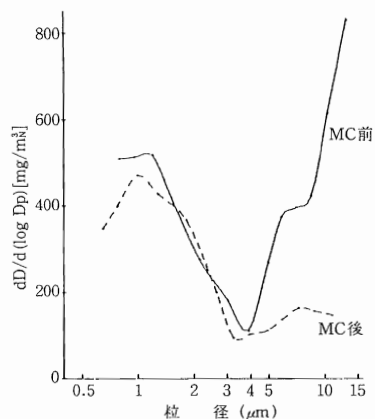


図1 A施設の粒径分布

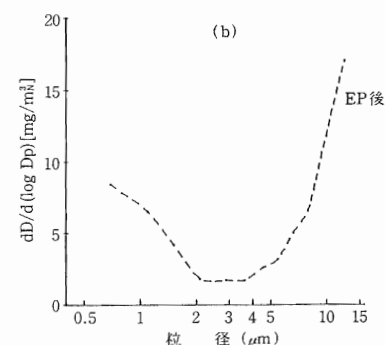
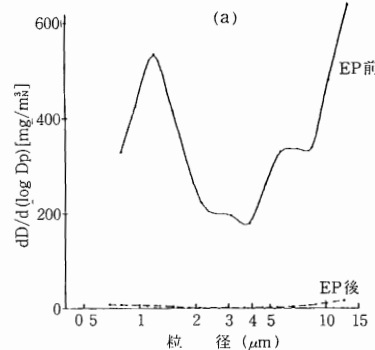


図2 B施設の粒径分布

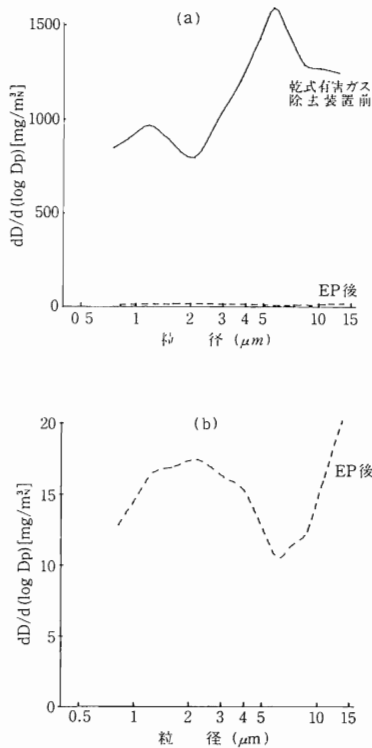


図3 D施設の粒径分布

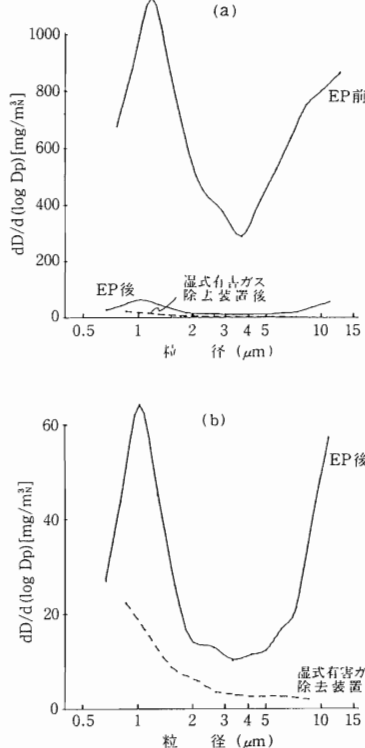


図4 E施設の粒径分布

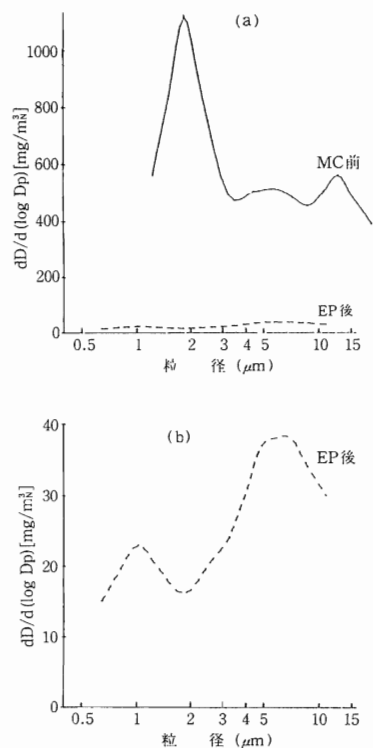


図5 F施設の粒径分布

μm以上にピークを持つ2山型の分布になっており、溶融熱分解炉では微小粒子側が大きくなっているが、他の施設は1施設でほぼ同程度となったほかは粗大粒子側が相対的に大きなピークとなっている。

集じん装置後については、MC後はバッチ炉であり、変動が激しいため濃度把握は困難であるが、概ね0.4~0.8g/m<sup>3</sup>程度、EP後は0.03~0.10g/m<sup>3</sup>の範囲にあった。粒径分布を見ると、MC後では1μm付近に大きなピークを残し、粗小粒子側のピークはかなり減少しており、粗大粒子ほど効率良く集じんされていることがわかる。EP後では1μm程度以下と10μm付近にピークを持つ2山型の分布を呈し、粒径別に集じん率を見ると、各施設とも、1μm以下でやや低下するが、粗大粒子側は施設により違いがあり、一定の傾向は見られなかった。

E施設の場合、排ガスはEP通過後、湿式有害ガス除去装置に入るが、ここでは洗煙集じん効果が大きいため、有害ガス除去装置後のばいじん濃度はさらに低下し、約0.02g/m<sup>3</sup>であった。この粒径分布は図4に示してあるが、粗大粒子のほとんどが湿式集じんされていることがわかる。

### 3・2 ばいじんの組成

ばいじん中の各成分の組成を表3に示す。

集じん装置前の組成は施設間で一部差が見られるものの、全体としてはほぼ一定しており、Cl, SO<sub>4</sub>, K, Na, Ca及びMgの6成分でおよそ50~60%を占める。

MC前後では、SO<sub>4</sub>, Ca及びMg等が減少し、ほかのほとんどが横ばい、ないし増加しているが、EP前後では、ほぼ全施設に共通の傾向として、Cl, SO<sub>4</sub>, K, Na, Cd, Pb, Cu及びZnが増加し、Ca, Mg, Mn及びFeが減少していた。集じん装置後の前記6成分の含有率は、MC後で60%、EP後で70~90%と増加した。また、湿式有害ガス除去装置前後では、Clが増加し、SO<sub>4</sub>, Ca及びMgが減少したほかは、特に変化が見られなかった。

さらに各成分について特性を検討するために、粒径による組成変化を分級段別に図6~10に示す。また、F施設について、含有率が大きく、EP前後の変化が大きいCl, SO<sub>4</sub>, K, Na, Ca及びMgの6成分の粒径組成分布を図11に示す。他のEPを持つ施設もほぼ同様な傾向を示していた。

集じん装置前では、ほとんどの成分が、微小粒子側

表3 ばいじん中の分析成分組成

単位 %

施設名	測定箇所	成分名												
		Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	K	Na	Ca	Mg	Cd	Pb	Mn	Cu	Zn	Fe
A	MC前	20	9	<0.05	12	7	2.6	1.7	0.05	0.3	0.04	0.45	1.9	1.2
	MC後	31	5	<0.05	15	10	2.0	1.5	0.05	1.9	0.04	0.45	2.2	1.1
B	EP前	19	6	<0.05	9	8	4.7	2.0	0.02	0.3	0.06	0.16	1.6	1.4
	EP後	31	19	<0.05	18	16	0.8	0.3	0.03	0.6	0.01	0.23	2.8	0.3
C	EP前	17	5	<0.05	8	6	4.5	1.9	0.02	0.6	0.08	0.19	1.4	2.3
	EP後	28	30	<0.05	21	17	0.3	0.1	0.06	1.4	0.08	0.32	5.1	1.6
D	乾式有害ガス除去装置前	30	6	<0.05	9	9	4.4	0.9	0.02	0.4	0.12	0.10	1.2	1.9
	EP後	33	23	<0.05	14	14	3.1	0.2	0.03	0.6	0.08	0.16	1.7	1.9
E	EP前	25	7	<0.05	12	11	2.5	0.6	0.02	0.4	0.05	0.16	1.6	0.9
	EP後	27	18	<0.05	18	12	1.4	0.2	0.04	0.8	0.04	0.27	2.8	1.3
	湿式有害ガス除去装置後	42	2	<0.05	19	13	0.3	0.1	0.06	0.9	0.04	0.28	2.6	1.3
F	MC前	26	13	<0.05	12	11	1.7	0.7	0.01	0.6	0.07	0.86	2.4	1.4
	EP後	24	23	<0.05	14	12	0.6	0.3	0.02	0.8	0.04	0.87	3.3	1.2

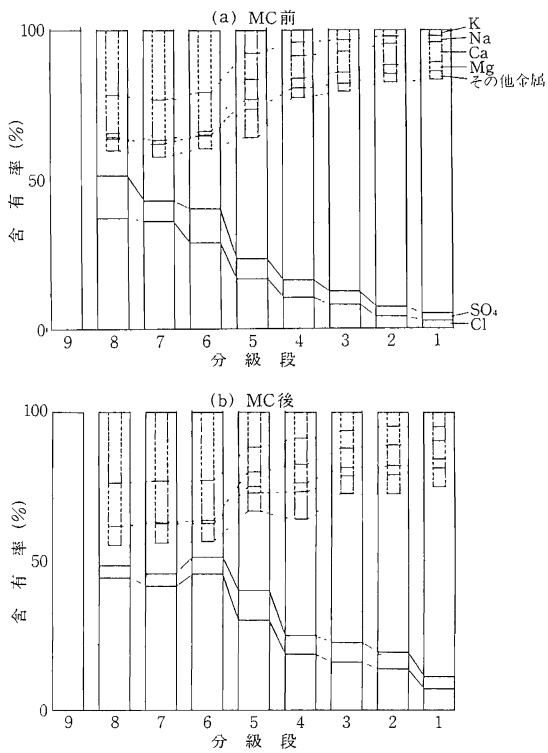


図6 A施設の粒径別組成

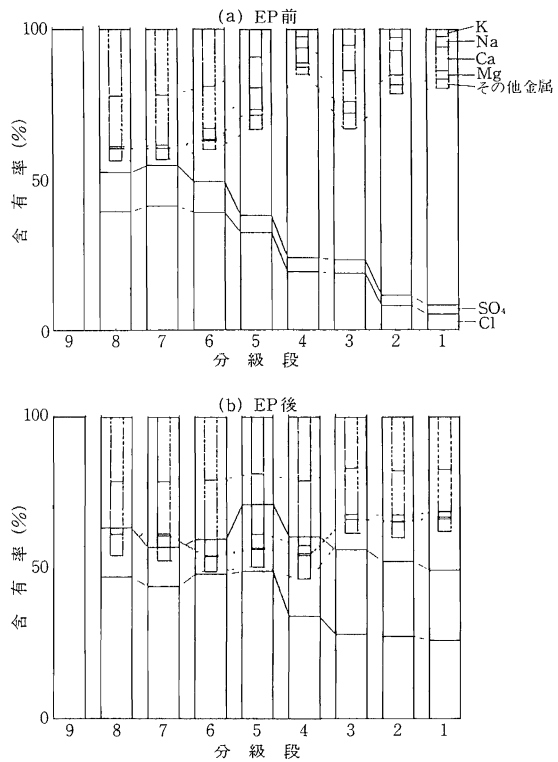


図7 B施設の粒径別組成

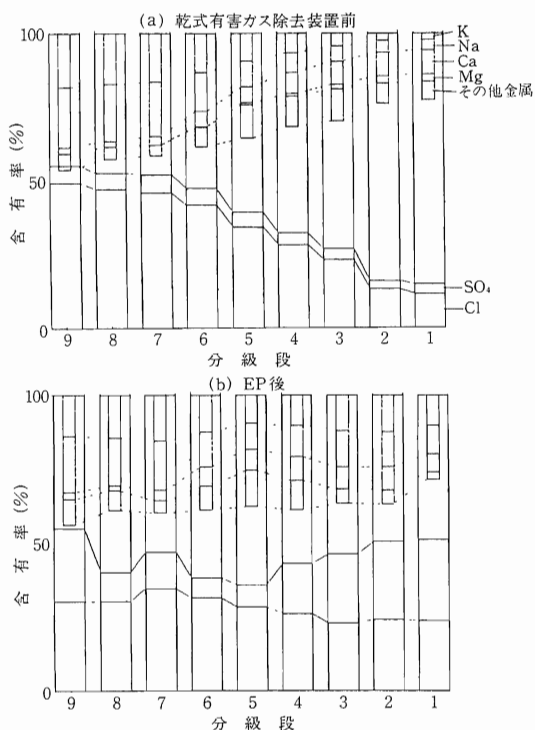


図8 D施設の粒径別組成

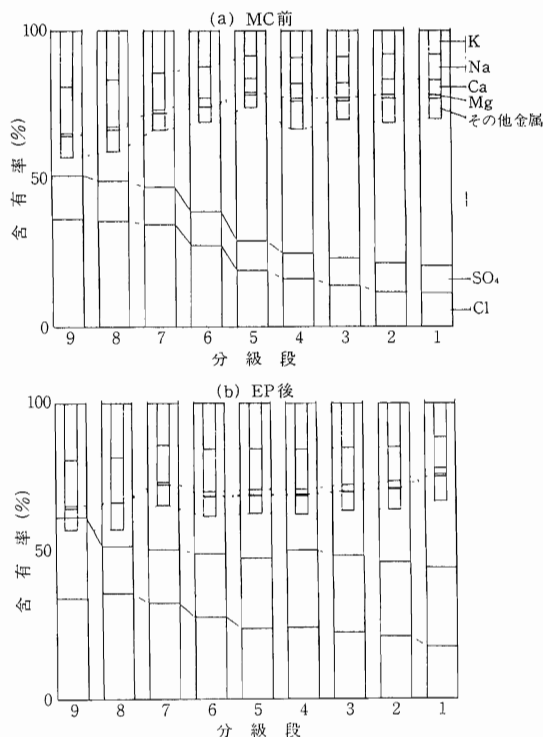


図10 F施設の粒径別組成

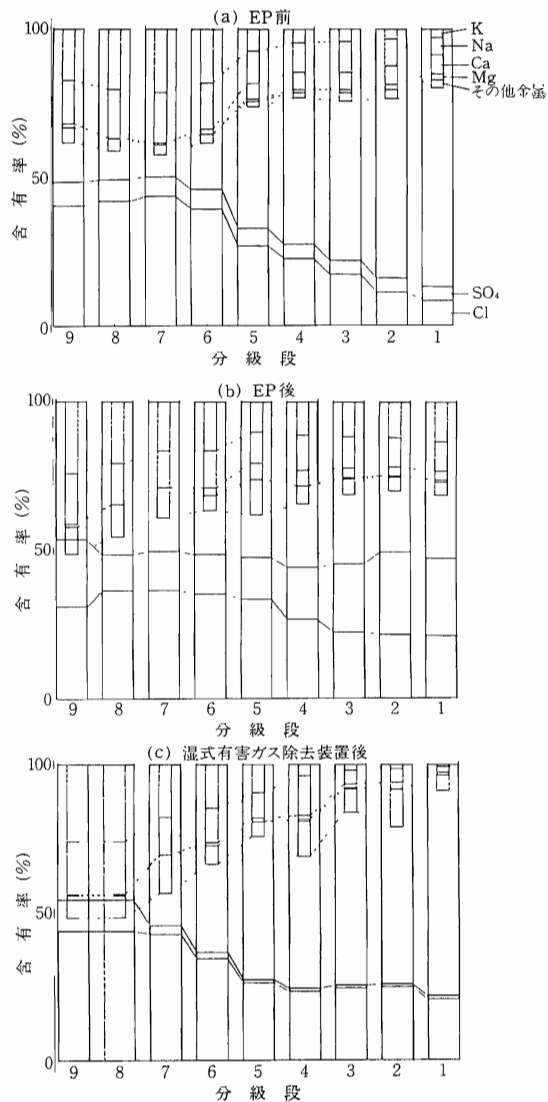


図9 E施設の粒径別組成

で割合が高く、粗大粒子側になるにつれて減少しているのに対し、CaとMgについては逆の分布になっていることがわかる。分析した成分以外の残余成分は、微小粒子側で10%前後、粗大粒子側で40~70%を占めるが、これは、カーボン、シリカ分、炭酸根及び金属酸化物あるいは水酸化物として存在する酸素分ないし水酸イオン分などであると考えられる。微小粒子はほぼ分析対象成分で占められることから、7~9段に相当する微小粒子側のピークは、ほとんどがこれらの組合せで構成される無機塩によるものと考えられる。これに対し、粗大粒子は残余成分が多いため、1~4段に相当する粗大粒子側のピークはシリカ分なども多く含む

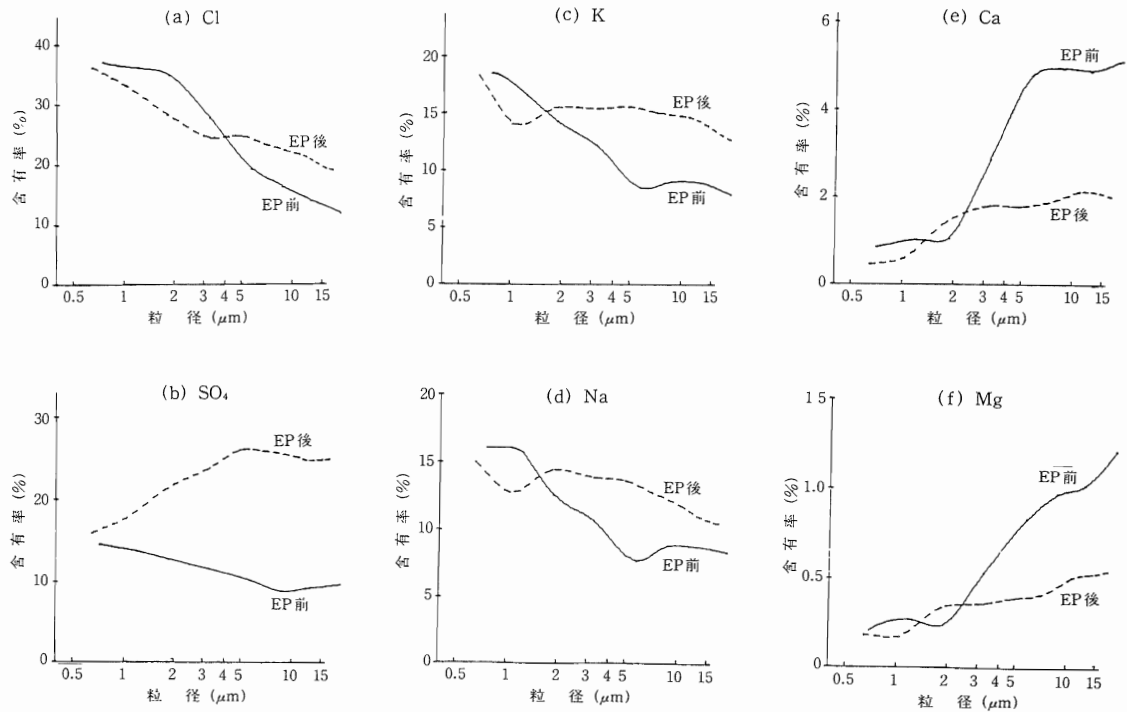


図11 F施設における代表成分の粒径組成分布

多成分によるものと思われる。

EP前後では粒径組成分布がかなり変化し、Clに関しては、微小粒子で割合が減少し、粗大粒子で増加するため、粒径による含有率変化が小さくなっている。SO<sub>4</sub>は各段とも割合が増加し、微小粒子より粗大粒子の方が高くなっている。金属成分についても、KとNaは粗大粒子でEP前より割合が高まっているが、CaとMgに関しては粗大粒子で割合が低下している。これらのことにより、陰イオン成分総量と金属成分総量は、ともに微小粒子と粗大粒子間の割合の差が小さくなっている。換言すれば、残余成分組成は、EP前では微小粒子から粗大粒子へと大きくなっていったが、EP後ではこの傾向が鈍化していることになる。

MC前後では、どちらも他施設のEP前と類似した分布を示し、組成比の変化は小さいといえる。MCでは、Ca、Mg及び残余成分に富む粗大粒子が効率良く集じんされるため、表3に示したように、全粒径を合わせた総量としては、CaやMg等が減少し、他のほとんどの成分が増加したものと考えられる。

また、湿式有害ガス除去装置については、通過後に粗大粒子側の水溶性成分が減少しており、これを多く含む粒子が捕集され易いと考えられる。

### 3・3 ばいじんの組成成分の当量含有率

集じん装置前後の各分級段における成分当量を比較したものを、ClとSO<sub>4</sub>の陰イオン成分、K、Na、Ca及びMgの陽イオン成分に分けて、図12~16に示す。これは、分析試料及び溶出法が異なるために、直ちに陰、陽イオン成分の比較を表わせるものではないが、傾向の把握には有益であろう。なお、他の成分は当量的に微量であるため省略した。

MCでは前後とも他施設のEP前と類似した傾向を示し、特に変化が見られないが、EPにおいては各施設に共通した変化が見られる。

EP前ではK+NaはClとほぼ同様な値であり、粒径別変化も類似しているが、粗大粒子では、むしろCl+SO<sub>4</sub>と類似した値を示している。K+Na+Ca+Mgは微小粒子ではK+Naと大差なく、ClあるいはCl+SO<sub>4</sub>と同程度の値であり、平衡がとれているが、粗大粒子ではCl+SO<sub>4</sub>を大きく超えている。また、SO<sub>4</sub>は各粒径ともClに比べて小さいが、全粒径でほぼ一定しており、粗大粒子ではClが減少するため、Clに近い値になっている。これらのことから、ばいじん中のK及びNaはほとんどが塩化物の形で存在し、粗大粒子では硫酸

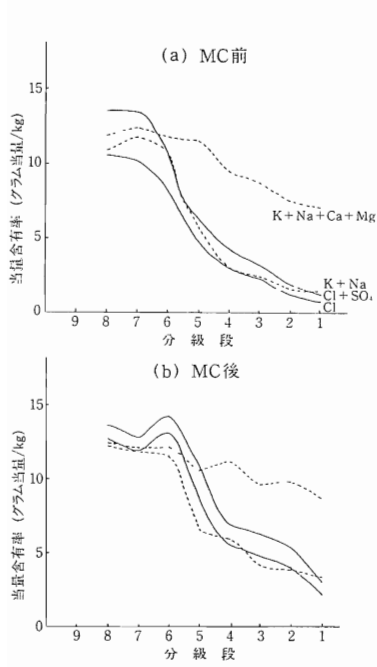


図12 A 施設の粒径別成分当量含有率

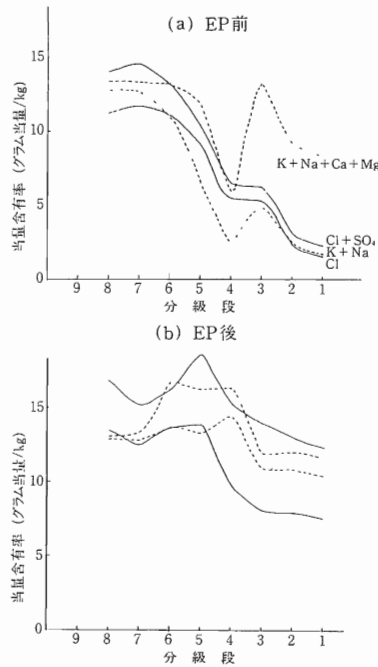


図13 B 施設の粒径別成分当量含有率

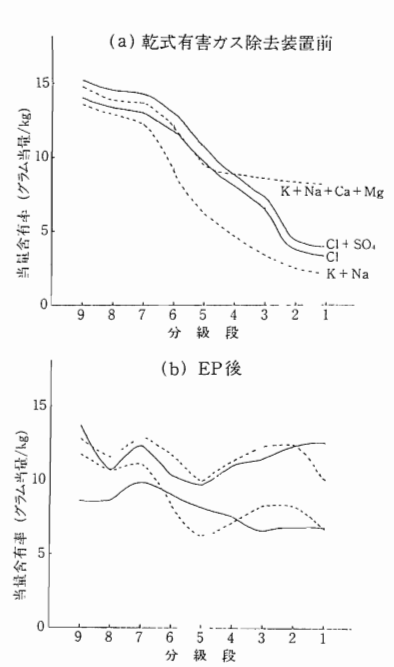


図14 D 施設の粒径別成分当量含有率

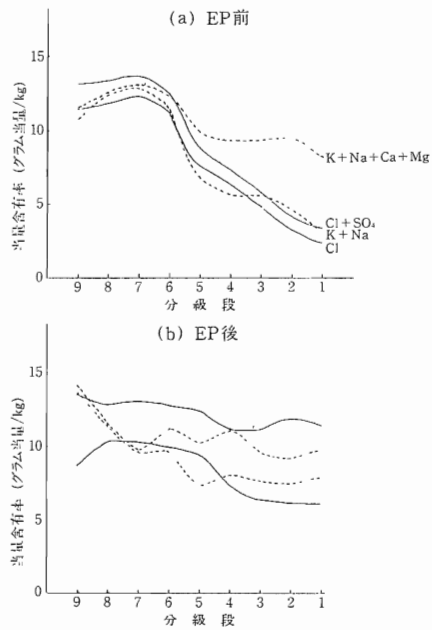


図15 E 施設の粒径別成分当量含有率

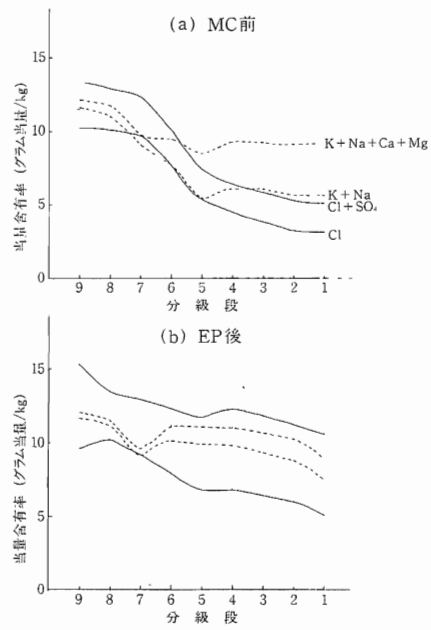


図16 F 施設の粒径別成分当量含有率

塩の形態をとる割合がやや高まること、Ca及びMgは微小粒子では塩化物あるいは硫酸塩として存在するものが多いが、粗大粒子ではClやSO<sub>4</sub>との無機塩の形をとるものが少ないことなどが考えられる。粗大粒子におけるCa及びMgは、酸化物や水酸化物あるいは炭酸塩の形態になっていることが推定できる。

ばいじん中に高濃度で存在するClの起源として、占部は、高温時のNaClの蒸発による寄与が大きいことを示唆している。上述のように微小粒子にKClやNaClが多く含まれること、さらに、KCl及びNaClは共に1000℃程度から蒸発速度が急増するが、1650℃というような、他施設に比べて高い処理温度であるF施設で、微小粒子のピークが特に高いことなどが、塩化物の蒸発、凝縮による寄与の大きさを裏付けるものと思われる。

EP後については、K+NaはClと同程度か、あるいは主に粗大粒子でClとCl+SO<sub>4</sub>の間の値であり、K+Na+Ca+MgはCl+SO<sub>4</sub>と同程度の値になっている。これら6成分で、ほぼ当量平衡が保たれているので、EP前の粗大粒子で存在すると考えた塩基性形態のCa及びMgはほとんど消失していると考えられる。

次に、陰イオン成分分析用溶出液のpHの粒径変化を図17に示す。測定箇所及び分級段により採取試料量が異なるために、溶出液の濃度も一定でなく、精密な比較はできないが、傾向としては、EP前で微小粒子から粗大粒子へとpHの上昇が見られるのに対して、EP後では粒径によらずほぼ一定している。これは、上述したように、EP後では全粒径で酸、塩基の平衡がほぼとれているが、EP前では粗大粒子でCaとMgによる塩基性成分が過剰に存在することに対応している。

### 3・4 EP前後の組成変化の検討

上で述べたように、EP前後でばいじんの組成は変化するが、この原因として考えられることは、酸性ガスが気相から移行することによって陰イオン成分が増加すること、そして、EPにおいて集じんされる際に、捕集され易い粒子に多く含まれる成分が減少することなどであろう。

前者の気相からの移行としては、主に粗大粒子のClの気相HClからの吸着、全粒径にわたるSO<sub>4</sub>の気相中SO<sub>x</sub>からの吸着及び酸化などが考えられる。ここで、各施設のHCl及びSO<sub>x</sub>の測定結果を表4に示す。

HClについては、D施設において両測定箇所の間で消石灰を投入しているために濃度低下しているが、他施設は目立った減少は見られない。SO<sub>x</sub>については、

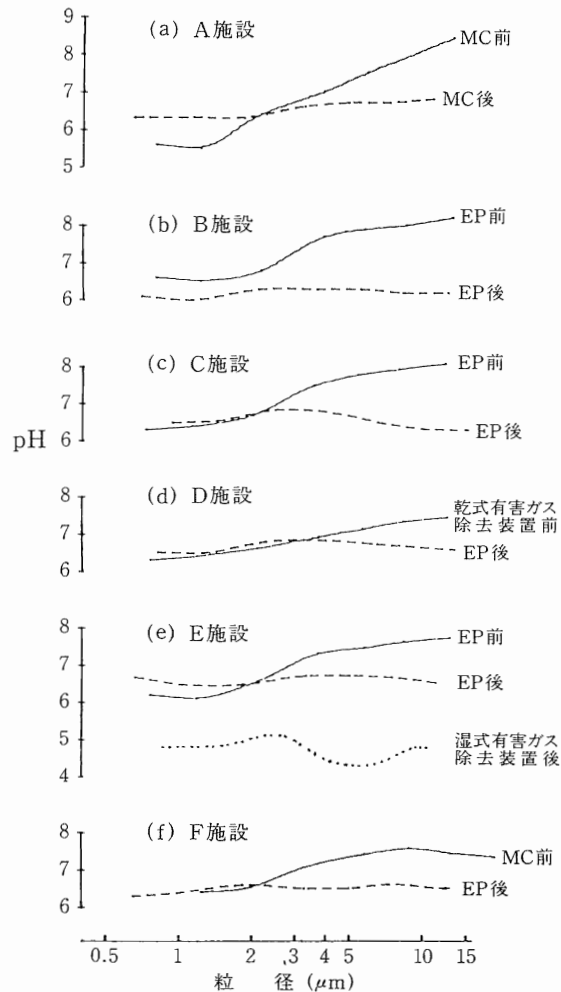


図17 ばいじん溶出液のpH変化

かなり低濃度であり、また試料間のバラツキも大きい。この数値からの推論はできない。しかし、粒子の組成により集じん効率は変わらず、一様に捕集されるとして、Cl及びSO<sub>4</sub>のEP前後の含有率変化をすべて気相からの吸着として試算すると、HClでは約70~100mg/m<sup>3</sup>N、SO<sub>x</sub>では約40~80ppmの移行が必要となり、SO<sub>x</sub>については雰囲気濃度から考えても不可能と思われる。さらに、微小粒子ではEP前後で酸、塩基の当量平衡がほぼ保たれていること、金属成分含有率が相対的に減少していないこと、K及びNaがClと同様に粗大粒子で増加していることなどから、この吸着のみによる効果は考えにくい。

後者の集じん器による除去としては、シリカ分などの残余成分や塩基性形態のCa及びMgなどが選択的に



表4 排ガス中のHCl及びSO<sub>x</sub>濃度

施設名	項目 測定箇所	HCl mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> ppm
A	MC前	—	—
	MC後	1210	71
B	EP前	630	27
	EP後	760	25
C	EP前	—	37
	EP後	300	43
D	乾式有害ガス 除去装置前	920	6
	EP後	510	16
E	EP前	900	61
	EP後	700	42
	湿式有害ガス 除去装置後	10	< 1
F	MC前	1060	4
	EP後	1040	20

(注) A～C施設については試料ガス採取時間帯が前後で異なる。

集じんされることなどが考えられる。ここでEP灰の分析結果を表5に示す。

表5 EP灰中の陰イオン成分等分析結果

施設名	項目	Cl %	SO <sub>4</sub> %	pH
D		26	7	11.3
E		19	10	7.2
F		25	15	6.5

D施設でpHが高いのは消石灰投入のためであるが、他の項目はEP前と比べ、特に差がない。残余成分の捕集効果が大きければ、陰イオン成分は相対的に低含有率になるはずであるので、この選択的集じん単独の効果も考えにくいであろう。

したがって、これまでの知見からは、EP内で、塩基性成分に富んだ粗大粒子を中心に酸性ガスが吸着しつつ、各成分により異なった効率で集じんされるために、EP前後の組成が変化すると考えることが妥当と思われる。今後、さらに検討を加えるためには、対照としてMCを持つ施設の調査数を増やすこと、分析項目を拡げることなどが必要であろう。

#### 4 まとめ

県内6施設のごみ焼却炉について、排ガス処理装置の前後でばいじんを採取し、その組成等の調査を行い、次のような結果を得た。

- (1) 集じん器前のばいじんは、Cl, SO<sub>4</sub>, K, Na, Ca及びMgの6成分でおよそ50～60%を占める。MC通過後の組成変化はあまり大きくないが、EP通過によっては、Clが微増するほかは変化が大きく、CaとMgは減少、SO<sub>4</sub>, K及びNaは増加し、6成分の占める割合は70～90%と増加する。
- (2) 集じん器前では、Cl, SO<sub>4</sub>, K及びNaなどは微小粒子から粗大粒子にかけて含有率が減少し、逆にCaとMgは増加している。MC後ではこの傾向は変わらないが、EP後では傾きがゆるやかになり、粒径別の組成差が少なくなっている。
- (3) 集じん器の前後とも、Clは主にKとNaとの塩として、SO<sub>4</sub>はK, Na, Ca及びMgの塩として存在すると考えられる。
- (4) 集じん器前の微小粒子はKClとNaClの組成比が高く、蒸発、凝縮による粒子生成の寄与の大きいことが示唆される。粗大粒子では、CaとMgの多数が塩基性形態をとっているものと思われる。
- (5) EP後では、ばいじん中の酸、塩基の平衡がほぼとれた状態となり排出される。
- (6) EP前後に顕著に見られる組成の変化は、主に構成成分によって集じん性能が異なるためであり、それに付随して、酸性ガスの吸着が起こっているものと思われる。

#### 文 献

- 1) 占部武生：清掃工場ばいじんの粒径別化学成分について、第22回大気汚染学会講演要旨集、536 (1981)