

都市ごみ焼却処理場での鉛のマスバランス

渡辺 信久, 井上 三郎, 福永 勲

大阪市立環境科学研究所

Mass Balance of Lead in Municipal Waste Incinerators

Nobuhisa WATANABE, Saburo INOUE and Isao FUKUNAGA

Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences: 8-34, Tojo-cho, Tennoji-ku, Osaka 543-0026, Japan

Summary

Mass balance of lead (Pb) in two municipal waste incinerators was investigated. Concentration of Pb in ash and wet scrubber effluent from the incinerators were determined, which gave an estimation of elemental balance based on a study about ash and wet scrubber effluent.

Analytical variation of ash samples was as low as 3.1~4.9% (relative standard deviation, R.S.D.) for ash from electrostatic precipitator (EP), however, it increased to 7.1~31.4% for ash from bag filter, and 10.7~70.3% for bottom/mixed ash. Coagulating property of magnetic substance in bottom ash and lime powder used as bag filter injection were suspected as the cause of high variation.

Content of Pb in municipal waste was 230.7~342.5 g/tonne (metric ton). Assuming the Pb content in municipal waste to be 300 g/tonne, Pb in municipal waste accounted ca. 20% of the usage of Pb-based chemicals in Japan.

Distribution of Pb in feeded municipal waste to fly ash was 24.7~40.6%. Collection efficiencies of EP and bag filter calculated from wet scrubber capture were 98 and > 99.99%, respectively.

Keywords: Lead, Municipal solid waste, Fly ash, Bottom ash, Wet scrubber

I. はじめに

鉛 (Pb) は、毒性が指摘されながら、依然として多く使われている金属である。環境基準としてヒ素 (As) セレン (Se) と同じく $10 \mu\text{g/L}$ が定められている。我が国において、As と Se の生産および輸入量は 100 tonne 以下および数百 tonne (metric ton) であるが、Pb は、Litharge (PbO) だけでも、72000 tonne を超過する [1]。このために、都市ごみ焼却飛灰での Pb 濃度は、As (数十 mg/kg) や Se (1 mg/kg レベル) に比して、1000 mg/kg 以上と高い [2, 3]。都市ごみ焼却全体でのマスバランスを調べた例は散見される [4-6] もの、我が国の事例は十分ではない。我々は、これまで、大阪市での都

市ごみ焼却処理場における As とアンチモンのマスバランスを明らかにしてきた [3]。この手法は、他の金属についても適用可能であり、Pb について調査・検討を行ったので、ここで報告する。

II. 方法

1. 試料採取

1995年から1996年にかけて、大阪市の二つのごみ焼却処理場 (T工場とN工場) より、それぞれ3回ずつ、灰と洗煙装置引き抜き水を採取した。残灰を含む試料は、乾燥させた後、5 mmふるいで粗大物を取り除き、ふるい下試料をさらに孔径1 mmのスクリーンを通過するよう粉碎したものを分析用試料とした。以下に、これら二つの焼却工場の灰および排水のマスバランス [3]

を概説する。

T工場は、電気集じん機 (EP) を備え、サンプリング期間中、EPで捕集された飛灰は、残灰と混合されて排出されていた。そのため、試料となる灰は、「EP灰と残灰の混合物」と「EP灰」であった。それぞれの灰の発生量と洗煙装置引き抜き水量を調査し、Fig. 1に示すマスバランスを得た。ごみ1 tonneには164 kgの灰分が含まれており、11.4, 44.2, 108.4 kgがそれぞれ飛灰 (sample B)、残灰中粉末、残灰中粗大物 (sample A, bulky matter) として排出される。sample Aの粉末分画分 (sample A, fine particle) は、EP灰と残灰中粉末の混合物である。なお、洗煙装置引き抜き水量は、0.32 m³/tonne (sample C) であった。

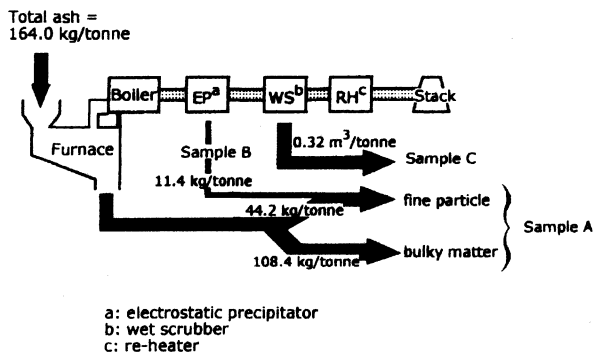


Fig. 1 Flow of ash and gas scrubber effluent in T-incinerator (Cited from Ref. [2])

N工場は、バグフィルターを備え、その捕集飛灰は、残灰とあわせられることなく、別途処理されていた。灰の発生量と洗煙排水引き抜き水量を調査し、Fig. 2に示すマスバランスを得た。ごみ1 tonneあたりの灰発生量は、バグフィルター灰 (sample E) : 29.8 kg、残灰粉末 (sample D, fine particle) : 63.1 kg、残灰粗大物 (sample D, bulky matter) : 91.1 kgであった。T工場のEP灰が11.4 kgであったのと比べて、N工場では捕集飛灰の量が29.8 kgと約3倍になっているが、これは、バグフィルター入口で、消石灰を主成分とする凝縮促進剤の吹き込み (20.0 kg/tonne) を行っているためである。なお、洗煙装置引き抜き水 (sample F) は、0.11 m³/tonneであった。

残灰を含む試料 (sample Aおよびsample D) は、粉末 (fine particle) 分画分のみを分析用試料とした。

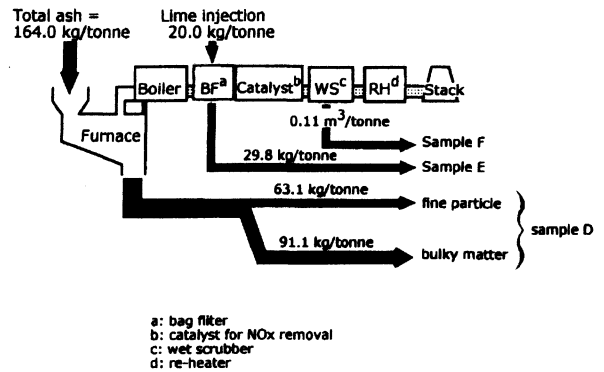


Fig. 2 Flow of ash and gas scrubber effluent in N-incinerator (Cited from Ref. [2])

2. 試料中の鉛の分析

灰試料0.4~0.6 gを外径30 mm、高さ200 mmの試験管にとり、12M塩酸20 mL、14M硝酸5 mLを加え、140℃のヒートブロック上で2~3時間沸騰させた。試験管口に、ロートをのせ、揮発した酸を還流させた (Fig. 3)。この方法により、底面のみではなく、試料を均一に加熱し、酸の追加なしに、激しい沸騰を継続させることができる。抽出終了時の液量は、5~15 mLであった。抽出液は、50 mLに定容後、蒸留水で10倍に希釈してから、フレイム原子吸光法 (島津AA-670、分析波長 283.3 nm、スリット幅分解能1.0 nm、D₂ランプバックグラウンド補正) で分析した。分析のばらつきを調べるため、すべての操作を同一試料に対して、4回ずつ行った。

洗煙排水は、ろ過を行わずに、塩酸酸性にして煮沸してから分析した。

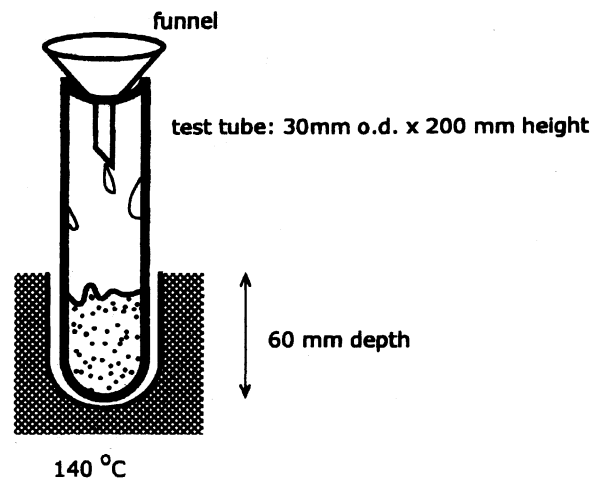


Fig. 3 Extraction apparatus (test tube inserted in a heat block)

Ⅲ. 結果・考察

1. 試料の不均一性

分析結果をTable 1に示す。EP灰 (sample B) 中のPbの分析値は、繰り返し分析毎の標準偏差の平均値に対する相対的な大きさ (R.S.D.: relative standard deviation) は3.1~4.9%であった。また、試料間の分析値もばらつきが小さかった。

ところが、他の灰試料では、繰り返し分析毎のR.S.D.は大きく、残灰を含む試料 (sample Aとsample D) では、最大60~70%であった。また、バグフィルター捕集飛

灰のR.S.D.も、7.1~31.4%と、EP灰に比べて大きかった。

R.S.D.が大きいことは、試料の不均一性を表している。目視観察では、バグフィルター捕集飛灰と残灰を含む試料は均一な粉末であり、それとは対照的に、EP灰は、カーボン片を含み、葉さじで均一に採取することが最も困難に思えた。しかし、分析結果から得られる分析値のばらつきは、逆であった。すなわち、EP灰の分析値が最も、ばらつきが少なかったのである。

バグフィルター捕集飛灰と残灰を含む試料で、ばらつきが大きかった原因として、試料内に偏りを生じる性状の物質が含まれていることが考えられる。残灰の場合、試料中に強磁性 (磁石) 物質が存在する。このことは、残灰を水中に分散させて、マグネチックスターラーで攪拌を試みると、スターリングバーに強磁性物質が付着することから容易に理解できる。一方、バグフィルター捕集飛灰の場合は、煙道中で噴射された石灰の未反応分が凝縮促進剤として作用する。一方、EP灰ではこれらを含まない。

Table 1 Concentration of lead in ashes from municipal waste incinerators

sample	property	avg. (mg/kg)	R.S.D. (%)
sample A, fine particle	EP ash + bottom ash		
	run 1	3200	10.7
	run 2	11000	37.7
	run 3	4600	70.3
sample B	EP ash		
	run 1	7500	4.9
	run 2	5900	3.1
	run 3	8900	3.6
sample D, fine particle	bottom ash		
	run 4	3400	45.9
	run 5	1100	25.2
	run 6	2000	61.6
sample E	Bag filter ash		
	run 4	4000	7.1
	run 5	4700	31.4
	run 6	710	29.9

n=4

2. 焼却処理工場での鉛のマスバランス

Table 1の結果を、Fig. 1およびFig. 2の灰・排水マスバランスに乗じて、都市ごみ焼却処理場でのPbのマスバランスを求めた。その結果をTable 2 (T工場) およびTable 3 (N工場) に示す。ごみ1 tonneあたりのPb量は、それぞれ、342.5 g, 230.7 gであった。

Table 2 Balance of Lead in T-incinerator

ESP Ash (Sample B)			ESP Ash + Bottom Ash (Sample A*)			Bottom Ash	Wet Scrubber (Sample C)			Total
Concentration (mg/kg)	Ash (kg)	Element (g)	Concentration (mg/kg)	Ash (kg)	Element (g)	Element (g)	Concentration (mg/L)	Effluent (L)	Element (g)	Element (g)
run 1	7500		3200				3.0			
run 2	5900		11000				4.7			
run 3	8900		4600				7.3			
Average	7430	11.4	6130	55.6	340.9	256.3 (74.8%)	5.0 ± 1.8	320	1.6 (0.5%)	342.5 (100%)

* fine particle fraction
Each ash analysis was repeated by n=4.

Table 3 Balance of Lead in N-incinerator

Bag Filter Ash (Sample E)			Bottom Ash (Sample D*)			Wet Scrubber (Sample F)			Total
Concentration (mg/kg)	Ash (kg)	Element (g)	Concentration (mg/kg)	Ash (kg)	Element (g)	Concentration (mg/L)	Effluent (L)	Element (g)	Element (g)
run 4	4000		3400			<0.1			
run 5	4700		1100			<0.1			
run 6	710		2000			<0.1			
Average	3140	29.8	2170	63.1	137.1 (59.4%)	<0.1	110	0.0 (0.0%)	230.7 (100%)

* fine particle fraction
Each ash analysis was repeated by n=4.

飛灰への移行率は、24.7および40.6%であった。洗煙装置で捕集される割合は、0.5%および0.0%であった。これは、後者（N工場）でのバグフィルター集じんが、前者（T工場）のEP集じんよりも効率がよいため、N工場での洗煙装置までPbが到達しなかったためと考えられる。

ところで、ごみ1 tonne中のPb量300 gを、我が国の一般廃棄物中Pbの平均的な濃度と仮定し、年間一般廃棄物発生量 5.0×10^7 tonneを乗ずると15000 tonneのPbが一般廃棄物として排出されていると見積もることができる。年間に消費されるPb薬品は、約7万tonne（Litharge（PbO（yellow）の年間生産量と輸入量をあわせると72000 tonne [1]）なので、これとほぼ一致する）とされ[7]、消費されるPb薬品の約20%が、都市ごみに進入していると考えることができる。

3. 集じん装置での捕集について

T工場の洗煙装置で捕集されるPb量は1.6 g/tonneであった。EPに進入するPb量は、84.7 g/tonne（EPで捕集される量）+1.6 g/tonne（洗煙装置で捕集される量）+「洗煙装置を通過する量」（EPで捕集される量に比べれば無視量）である。従って、EPに進入するPb量（84.7+1.6）g/tonneの約2%がEPを通過していることを意味している（EPでの捕集効率98%）。一方、N工場での洗煙装置引き抜き水ではPbが検出されなかった（検出限界0.1 mg/L、仮に0.1 mg/Lで検出されたとすると、洗煙装

置での捕集Pb量は、0.01 g/tonneとなる）。N工場のバグフィルターで捕集されるPb量は93.6 g/tonneであるので、バグフィルターを通過する割合は、0.01%以下であることがわかる（バグフィルターでの捕集効率99.99%以上）。すなわち、このデータからは、Pbの通過率が、EPとバグフィルターで約200倍の開きがあったことになる。

IV. 結 論

都市ごみ焼却処理場での灰と排水の排出量に、それらの鉛（Pb）濃度を乗じて、Pbのマスマランスを調査した。

灰中Pb分析値のばらつきは、EP灰では相対標準偏差（R.S.D.）=3.1~4.9%（n=4）と小さかったが、バグフィルター捕集飛灰と残灰を含む試料では、R.S.D.=7.1~31.4%、および10.7~70.3%と、大きくなった。この理由として、バグフィルター灰には凝縮促進剤が、残灰を含む試料には強磁性（磁石）物質が含まれ、これが偏りを引き起こしているものと推察した。

ごみ1 tonne中のPb量は、230.7~342.5 gであった。この値を我が国の都市ごみの代表的な値と仮定すると、Pb薬品使用量の約20%が、都市ごみに進入していることになる。

焼却炉に進入するPbの24.7~40.6%が集じん装置で捕集される。洗煙装置で捕集されるPb量から、電気集じん機（EP）とバグフィルターのPb捕集効率を推定したところ、それぞれ、98%、99.99%以上であった。

参 考 文 献

- 1) 13599の化学商品, 化学工業日報社(1999)
- 2) 志垣政信: 絵とき 廃棄物の焼却技術, オーム社(1995)
- 3) Watanabe, N. Inoue, S. and Ito, H.: Mass balance of arsenic and antimony in municipal waste incinerators, J. Mater. Cycles. Waste Manag., 1, 38-47 (1999)
- 4) Law S. L. and Gordon G. E.: Sources of metals in municipal incinerator emissions, Environ. Sci. Technol., 13, 432-438 (1979)
- 5) Rigo H. G., Chandler A. J. and Sawell S. E.: Debunking some myths about metals. In Municipal Waste Combustion: Proceedings of an international specialty conference, Williamsburg, Virginia, p. 609-627 (1993)
- 6) Nakamura, K., Kinoshita S. and Takatsuki, H.: The origin and behaviour of lead, cadmium and antimony in MSW Incinerator, Waste Manage., 16, 509-517 (1996)
- 7) 村田徳治: 産廃化学漫話「廃棄物のやさしい化学」第1巻 有害物質の巻, 日報(1989)

(2000年1月31日受付・2000年4月18日受理)