

(論文)

# 都市ゴミ飛灰溶融時の重金属類の揮発挙動

坂本浩一(工博)\*・國井一孝(工博)\*・草道龍彦\*・村越浩二\*\*・川端博昭\*\*・古角雅行(工博)\*\*\*

\*技術開発本部・生産技術研究所 \*\*都市環境・エンジニアリングカンパニー・環境エンジニアリングセンター \*\*\*東京都

## Evaporation Behavior of Heavy Metals in Municipal Incinerator Melting Fly Ash

Dr. Koichi Sakamoto・Dr. Kazutaka Kunii・Tatsuhiko Kusamichi・Koji Murakoshi・Hiroaki Kawabata・Dr. Masayuki Kokado

Municipal solid waste incineration fly ash contains heavy metals such as lead, zinc and cadmium. An effective heavy metal melting technique would greatly reduce the toxic load on landfill sites by transforming harmful materials into relatively harmless, stable matter. This paper describes the evaporation behavior of heavy metals melted in municipal incinerator fly ash as an practical solution for effectively separating heavy metals from solid waste.

まえばき = 都市ゴミ焼却炉から発生する残渣に対する環境負荷の最小化とリサイクル性の観点から、その減容化と無害化が強く求められている。焼却工場から排出される飛灰中には重金属類およびダイオキシンといった有害物が含まれるため、これら廃棄物の減容化と無害化・安定化が同時に達成可能である溶融処理技術に大きな注目が集まり、国内外での開発・実用化が推進されている<sup>1)</sup>。

灰溶融処理技術のベースは、精錬・製鋼分野で構築された技術である。その反応機構などは複雑なため、廃棄物処理への適用においては、反応の細部などの不明な点が多く、解明すべき課題が残されているのが現状である。

東京都清掃局と当社は、特別管理一般廃棄物である飛灰などの処理技術開発において、「スラグ他、溶融生成物の性状と溶融条件との関係解明」を目的とする共同研究を平成7年から3年間にわたり実施した。本研究はその一部であり、飛灰溶融時の重金属類の効率的分離・山元還元を目指し、発生する溶融飛灰中のPb回収濃度増加を目的とした。すなわち、溶融過程におけるPbの積極的揮散のため、その揮発挙動を基礎的かつ系統的に解明し、Pb揮発促進策を検討することとした。本稿では、小型プラズマ炉による基礎実験、熱力学的解析などを持ちい、Pbの揮発挙動について検討した結果を報告する。

### 1. 重金属類の揮発挙動の解明

#### 1.1 プラズマ条件(温度、保持時間、プラズマガス)の影響

##### 1.1.1 実験方法

実験は、その成分を第1表に示す東京都清掃局より支給された実飛灰を持ちい、第1図に示す小型プラズマ炉チャンバ内の水冷銅鑄型内に、150 のオープン内で24時間程度乾燥した飛灰100gを装入し、灰の中心部に着火用の鉄芯を設置し、所定の条件でプラズマ溶解をおこない、えられたスラグを粉砕し分析した。また、飛灰溶融時に揮発した灰(以下、溶融飛灰)についても、水冷ノズル外周に付着した部分をサンプリングし分析した。プラズマ作動ガス種として、 $N_2$ ・2% $O_2$ ・ $N_2$ を選択し、温度

第1表 プラズマ溶融実験に使用した実飛灰の化学成分

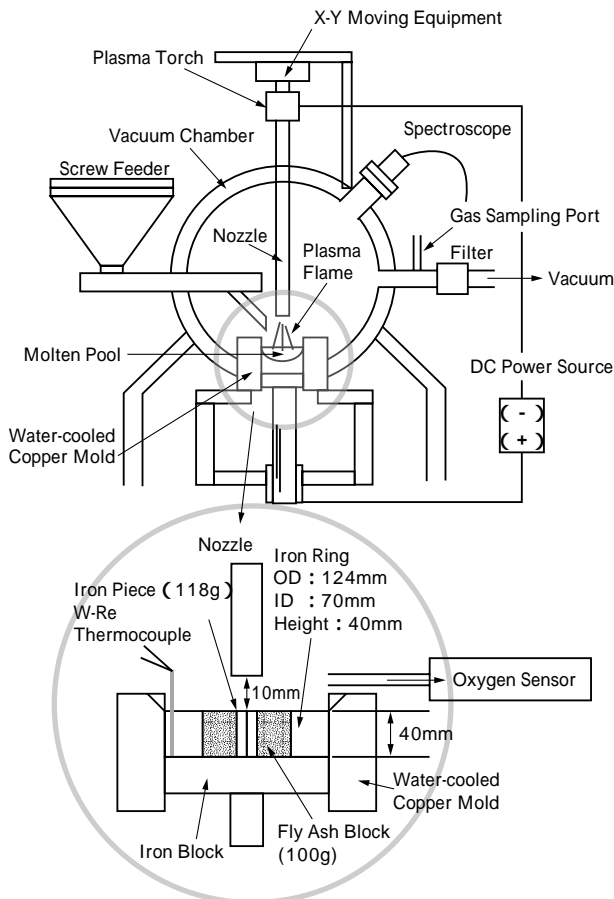
Table 1 Chemical composition of practical fly ash used in plasma melting

Element	Unit	Average	max.	min.
Si	%	11.09	11.17	11.03
Al	%	8.12	8.25	7.98
Ca	%	16.95	17.30	16.65
Mg	%	2.53	2.54	2.50
Fe	%	1.12	1.30	1.03
Na	%	3.68	3.77	3.57
K	%	4.08	4.23	3.69
Ti	%	0.98	0.99	0.97
P	%	0.71	0.73	0.67
Mn	%	0.046	0.05	0.03
CO <sub>3</sub>	%	6.45	6.69	6.05
Cl	%	6.00	7.00	5.00
F	%	0.078	0.082	0.072
C	%	4.95	5.07	4.88
Cr	mg/kg	480	500	400
Cu	mg/kg	480	600	400
Cd	mg/kg	34	40	20
Pb	mg/kg	876	920	820
Zn	mg/kg	5 020	5 200	4 900
Sn	mg/kg	240	300	210
Se	mg/kg	-	2	<1
As	mg/kg	3.59	5	3
T-Hg	mg/kg	1.76	1.88	1.62
Ni	mg/kg	220	400	100
H <sub>2</sub> O	%	0.46	0.66	0.26

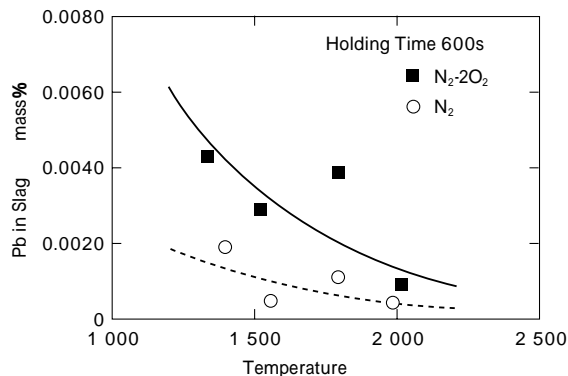
(出力)、保持時間を変化させておこなった。

##### 1.1.2 実験結果および考察

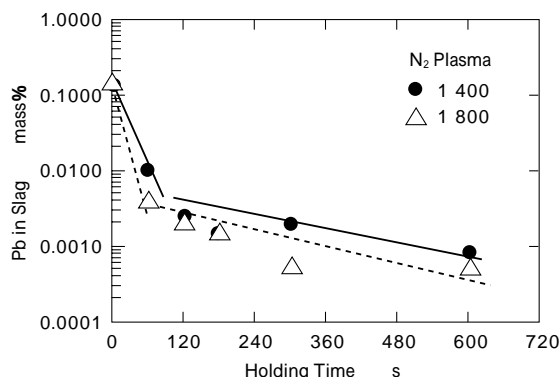
第2図にスラグ中の残留Pb濃度に及ぼすスラグ溶融温度の影響を示した。溶融温度は予備実験で求めたスラグ温度と投入電力の関係<sup>2)</sup>を持ちい求めた。スラグ中Pbは、多少のばらつきはあるものの、温度の上昇にともない減少する傾向にある。また、プラズマ作動ガス種の影響としては、 $N_2$ は $N_2$ ・2% $O_2$ にくらべ、残留濃度が低くなる傾向が認められた。



第1図 プラズマ溶解実験装置の概要図  
Fig. 1 Schematic diagram of plasma melting furnace used in experiments



第2図 スラグ中のPb含有量に及ぼす溶解温度の影響  
Fig. 2 Effect of melting temperature on Pb content in slag



第3図 スラグ中のPb含有量に及ぼす保持時間の影響  
Fig. 3 Effect of melting time on Pb content in slag

第3図に、 $N_2$  プラズマにおけるスラグ中Pb濃度に及ぼす保持時間の関係を示す。Pbは保持時間とともに減少する傾向が認められた。また、揮発反応はいずれの温度でも2段階で起こっている模様であり、初期の揮発速度の大きな領域(以下、1st Stage)と、後期の揮発速度の遅い領域(以下、2nd Stage)に分類することができる。また、1400(低温)に比較して1800(高温)の方が、1st Stageの揮発速度が大きくなっていることがわかる。また、1st Stageから2nd Stageに移行する濃度は、高温、低温の両者ともほぼ同程度であった。

さらに、2nd Stageの揮発速度は、高温・低温での差はなく、ほぼ同程度である。これらの現象はZn, Na, K, Clにおいても認められた。

また、1st Stageの範囲内では、高温のほうが溶融飛灰中のPb, Zn, K, Na, Clの濃度が高い結果がえられている。これは、揮発速度の差異を裏付けていると考えられる。

第3図において、1st Stage, 2nd Stageで直線関係が認められることから、揮発反応を下記の(1)(2)式に示す1次の式で整理し、揮発速度・揮発速度定数を求めた。

$$d[\%X]/dt = -k(A/V)[\%X] \dots\dots\dots(1)$$

$$\log[\%X_2/\%X_1] = -k(A/V)0.4343(t_2 - t_1) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、

$[\%X_1]$ : 時刻  $t_1$  におけるスラグ中のPb濃度

$[\%X_2]$ : 時刻  $t_2$  におけるスラグ中のPb濃度

$k$ : 揮発速度定数

m/s

$A$ : 溶融スラグの表面積

$m^2$

$V$ : 溶融スラグの体積

$m^3$

その結果、1st Stageの揮発速度定数はおよそ  $1 \sim 4 \times 10^{-4}$  m/s, 2nd Stageの揮発速度定数は  $1 \sim 6 \times 10^{-5}$  m/s であり、1st Stageは2nd Stageにくらべ1桁大きい値となった。また、縦軸に揮発速度定数、横軸に温度の逆数をプロットし、反応の活性化エネルギーを求めると、1st Stageではおよそ  $10 \sim 20$  kcal/mol, 2nd Stageでは  $1 \sim 8$  kcal/mol をえた。1st Stageの活性化エネルギーは、NaCl-KCl共融物中のPb( $PbCl_2$ )の拡散の活性化エネルギー  $12.5$  kcal/mol<sup>3)</sup> に類似していた。

これらの結果および考察から、重金属類の揮発は、溶融初期の溶融塩化物中からの揮発(1st Stage)と、後期の溶融酸化物中からの揮発(2nd Stage)の2段階で起こると考えられ、これらの反応に、温度・滞留時間・雰囲気などが影響しているものと考えられた。また、このことから、Pbの存在形態による揮発挙動の差異を把握することが、飛灰溶融時のPbの挙動を推定する上で重要であると考えられた。

### 1.2 飛灰中Pbの存在形態の影響

飛灰中Pbの存在形態は不明ではあるものの、酸塩化物であることが有力である。Pbの揮発種としては、 $PbCl$ ,  $PbCl_2$ ,  $PbO$ ,  $Pb$  が考えられるが、揮発種は高温での揮発後、冷却されて低温になるまでに形態が変化するため、溶融飛灰を分析しても揮発種は特定できない。また、実飛灰では変動要因も多く正確な反応解析が困難である。そのため、存在形態が既知の模擬飛灰をもちいた基礎実験をおこなった。

### 1.2.1 実験方法

本実験では、Pb が塩化物 (PbCl<sub>2</sub>) と酸化物 (PbO) の形態で混合した 2 種類の模擬飛灰を作製し、上述と同様の実験装置で、種々のプラズマをもちい同一条件で溶解し、Pb 濃度を調査した。模擬飛灰の配合は実飛灰組成を基に第 2 表のように決定した。Pb 塩化物、酸化物は Pb として 1 000 (mg/kg = ppm) となるように配合した。また、ここで考慮したのは、主成分である Ca, Si, Al, Mg, Fe, Na, K, Pb であり、Ca, Si, Al, Mg, Fe は全て酸化物、Na, K は全て塩化物とし、全量で 100g とした。未考慮の元素については Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> としてカウントした。作製手順は、CaO・SiO<sub>2</sub>・Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> などの試薬を V 型ミルをもちいて均一混合し、これを金型に挿入しプレスした。これを 150 のオープン内で約 24 時間乾燥した。これを N<sub>2</sub> および N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> プラズマにより熔融した。加熱条件・保持時間は、揮発現象に差異が認められるように、低温かつ短時間とし、200A・50 ~ 60V (約 1 350 ~ 1 400 に相当)・120 秒とした。

### 1.2.2 実験結果および考察

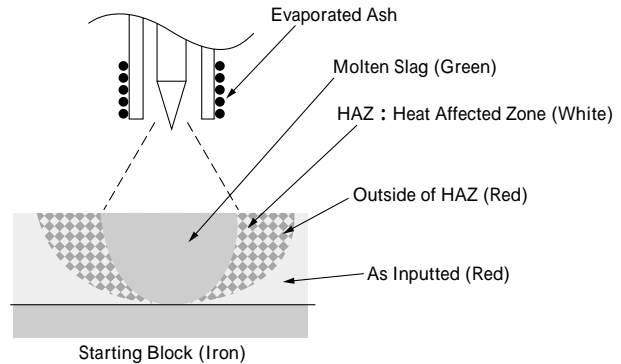
実験後の試料は第 4 図に模式図を示すが、全量熔融しておらず熔融の中間段階を再現していた。試料は、中心から周囲に向かって、熔融スラグ部 (緑色)・熱影響部 (白色)・熱影響部外側 (赤色)・未溶解灰 (赤色)・蒸着灰に分類された。それぞれの部分から精密にサンプリングし、Pb 濃度を分析した。結果を第 3 表に示す。

まず、熔融スラグ部に着目すると、Pb の存在形態にかかわらず、N<sub>2</sub> プラズマの方が N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> プラズマにくらべ、スラグ残留 Pb 濃度は少ないことが確認できた。また、N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> プラズマの場合、Pb の存在形態が塩化物のほうが熔融スラグ部に残留する濃度は少ないが、N<sub>2</sub> プラズマの場合、Pb の存在形態の影響は小さいことが判明した。揮発に与える酸素の影響としては、作動ガスの方が雰囲気より大きいことが確認できた。次に熱影響部に着目すると、N<sub>2</sub> プラズマの場合、既に Pb 濃度が低下しているが N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> プラズマの場合は Pb 濃度は減少していないことが判明した。つまり、還元性雰囲気では、熔融する前の熱影響を受けた段階ですでに PbCl<sub>2</sub>、PbO ともに揮発しているため、スラグ中にもともと Pb があまり入っていない状況を実現しているといえる。また、熱影響部での揮発速度は PbCl<sub>2</sub> の方が PbO よりも大である。これは、PbCl<sub>2</sub>、PbO それぞれの融点 (PbCl<sub>2</sub>: 501, PbO: 880)、沸点 (PbCl<sub>2</sub>: 954, PbO: 1 470) に依存するものと考えられる。一方、N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> プラズマの場合、熱影響部で Pb 濃度は減少していない。これは、熱影響部で酸化され、揮発が遅くなったのではないかと考えられる。これらは、一般に酸素ポテンシャルが低ければ塩化揮発であり、酸素ポテンシャルが高くなると塩化揮発がおきにくいことと一致する。また、その結果として、Pb 濃度の高い灰が熔融スラグとなり、Pb の減少は熔融スラグ中からの揮発のみによってしか起こらず、この速度が遅いため、スラグ中に残存する Pb が多いものと考えられた。この理由としては、NaCl や KCl は酸化物融液と相互の溶解度は持たないが、Pb は酸塩化物をつくるため、

第 2 表 プラズマ熔融実験に使用した模擬飛灰の化学成分

Table 2 Chemical composition of imitative fly ash used in plasma melting mass%

No.1 (PbCl <sub>2</sub> Addition)		No.2 (PbO Addition)	
CaO	21.400	CaO	21.400
SiO <sub>2</sub>	25.200	SiO <sub>2</sub>	25.200
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.000	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.000
MgO	5.000	MgO	5.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.265	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.292
NaCl	8.000	NaCl	8.000
KCl	7.000	KCl	7.000
PbCl <sub>2</sub>	0.135	PbO	0.108



第 4 図 模擬飛灰のプラズマ熔融後試料の模式図

Fig. 4 Schematic illustration of sample generated by plasma melting of imitative fly ash

第 3 表 模擬飛灰のプラズマ熔融後の各部位の Pb 分析結果

Table 3 Pb contents at several positions by plasma melting of imitative fly ash

Pb Compound	Operation Gas	N <sub>2</sub> -2%O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	Atomosphere	N <sub>2</sub> -2%O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> -21%O <sub>2</sub>
	Position/Unit	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PbCl <sub>2</sub>	Slag	200	46	42
	Heat Affected Zone(HAZ)	1 100	72	345
	Outside of HAZ	1 700	1 480	652
	As Inputted	900	-	-
	Evaporated	5 200	6 380	-
PbO	Slag	400	18	-
	Heat Affected Zone(HAZ)	1 000	380	-
	Outside of HAZ	1 500	934	-
	As Inputted	1 300	-	-
	Evaporated	6 200	6 610	-

酸化物融液にも溶解度があるためである。したがって、いったん、スラグ中に溶解してしまうと活量も下がり、物質移動的にも不利になり、揮発速度が遅くなることは十分に考えられ、2 段階揮発のメカニズムは妥当と考えられる。

以上の結果から、Pb の積極揮発のためには、高温・長時間保持・還元性のほか、揮発速度の大きい熔融初期の熔融塩化物中からの揮発 (1st Stage) で Pb を積極的に揮発させることが、スラグ中に残留 Pb 濃度を低減させる有効な手段となると考えられる。

## 2. Pb 揮発促進策の検討

### 2.1 添加物の影響

上述の結果から、Pb の積極揮発を促進させるための着眼点として、還元性状態による PbCl<sub>2</sub> の酸化防止、PbO

の還元や、溶融酸化物中での PbO の拡散速度の増加による 2nd Stage での揮発速度増加策などがえられた。そこで、本実験では、添加剤により Pb 揮発促進の可能性を検討した。すなわち、還元性として C 添加、PbO の拡散速度の増加に対しては Si-O ネットワーク切断を期待して、Al, CaO, CaCl<sub>2</sub> を選択し、添加実験をおこなった。また、比較として SiO<sub>2</sub> 添加、無添加の場合についても実験をおこなった。

### 2.1.1 実験方法

実験は第 4 表に示すように、東京都清掃局より支給された実飛灰に C, Al, CaCl<sub>2</sub>, CaO, SiO<sub>2</sub> をそれぞれ 1~20g 程度添加した灰を、模擬飛灰と同様の方法で作製した。これを、上述の実験結果などからスラグ中に多く残存しやすい N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> プラズマ、N<sub>2</sub>-2%O<sub>2</sub> 雰囲気中で溶融した。加熱条件・保持時間は、揮発現象に差異が認められるように、低温かつ短時間とし、200A・50~60V (約 1 350~1 400 に相当)・120 秒とした。

### 2.1.2 実験結果および考察

本実験も模擬飛灰実験と同様に、全量溶融しておらず、スラグと未溶解灰(含む熱影響部)から構成されていた。ここでは、スラグ中プラズマトーチ直下の溶融スラグ部分をサンプリングし、分析をおこなった。第 5 表にスラグの分析結果を示す。

#### (1) C の影響

C 添加量の増加にともない Pb, Zn, Cu は減少した。また、若干ではあるが塩基度が大きくなった。これは、SiO<sub>2</sub> の一部が炭素還元されて SiO(g) として揮発し、Si が減少したことなどによるものと推定される。

#### (2) Al の影響

Al 添加量の増加にともない、Si (SiO<sub>2</sub>) が減少している。Ca (CaO) はほとんど変化していないことから、単に希釈されただけではなく、金属 Al が SiO<sub>2</sub> を一部還元し、SiO(g) として揮発、あるいは鉄中に移行したのではないかと考えられる。Pb, Zn, Cu と Al の添加量との関係は認められなかった。

#### (3) CaCl<sub>2</sub> の影響

CaCl<sub>2</sub> 添加により、Pb は減少する傾向を示した。Zn, Cu はほぼ同程度であった。また、Ca 濃度が増加したため、塩基度が増加した。

#### (4) 塩基度の影響

塩基度は、鉄鋼製錬において、スラグ組成の調整あるいはスラグの機能を判断するパラメータとしてしばしば使用されており、塩基度 B の表現も種々のものがあるが、簡単な  $(\%CaO)/(\%SiO_2)$  と  $(\%CaO)/\{(\%SiO_2) + (\%Al_2O_3)\}$  をもちいて整理をおこなった。CaO, SiO<sub>2</sub> を添加して塩基度を変化させると、CaO を添加した場合に Pb, Zn の減少が認められた。Cu は変化がなかった。

また、13ch. の実験結果全てを塩基度で整理した Pb の結果を第 5 図に示すが、塩基度が大きいほど Pb, Zn は減少する傾向を示した。これに類似した現象は、加賀ら<sup>4)</sup>によっても報告されている。また、徳田<sup>5)</sup>により、温度や酸素分圧の効果にくらべれば小さいが、塩基度が高くなると塩基性酸化物の活量が高くなるので、Pb, Zn など

第 4 表 実飛灰への添加物と添加量

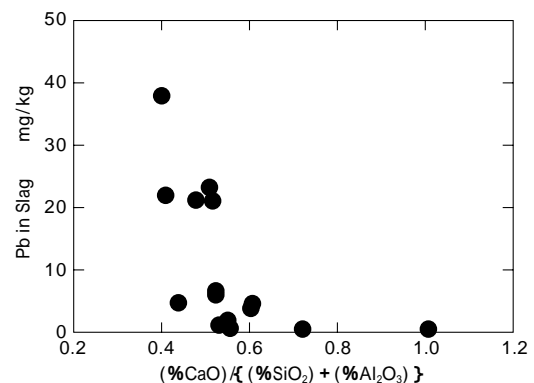
Table 4 Additional substances and their amount to practical fly ash

Ch. No	Additional Substances	Amount g	Practical Fly Ash g
1	C	1.0	99.0
2	C	5.0	95.0
3	C	10.0	90.0
4	Al	1.0	99.0
5	Al	5.0	95.0
6	Al	10.0	90.0
7	CaCl <sub>2</sub>	1.0	99.0
8	CaCl <sub>2</sub>	5.0	95.0
9	CaCl <sub>2</sub>	10.0	90.0
10	CaO	10.0	90.0
11	CaO	20.0	80.0
12	SiO <sub>2</sub>	10.0	90.0
13	No Addition	0.0	100.0

第 5 表 プラズマ溶融後のスラグ組成と Pb, Zn, Cu 分析結果

Table 5 Chemical compositions and Pb, Zn, Cu contents in various slags after plasma melting

Ch. No	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mass%	SiO <sub>2</sub> mass%	CaO mass%	C/S	C/(A+S)	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg
1	21.4	32.9	27.8	0.85	0.51	23	390	110
2	22.2	32.7	29.3	0.90	0.53	1.1	57	110
3	23.2	31.3	30.2	0.97	0.56	0.5	44	77
4	23.5	33.4	27.1	0.81	0.48	21	390	98
5	33.7	27.8	27.0	0.97	0.44	4.6	110	90
6	45.7	20.7	26.7	1.29	0.40	38	130	110
7	21.4	33.3	28.6	0.86	0.52	6.2	140	81
8	22.0	33.1	30.3	0.92	0.55	1.6	100	52
9	20.6	31.8	31.6	0.99	0.60	4	170	61
10	18.8	28.9	34.5	1.19	0.72	0.5	52	66
11	16.5	25.4	42.2	1.67	1.01	0.5	69	78
12	17.4	40.2	23.7	0.59	0.41	22	360	83
13	20.7	32.8	27.7	0.85	0.52	21	160	73



第 5 図 スラグ中の Pb 含有量に及ぼすスラグ塩基度の影響

Fig. 5 Effect of basicity of slag on Pb contents in slag

の揮発性化合物は揮散しやすくなると報告されており、本実験結果はこれらの報告と一致する傾向を示した。

#### (5) スラグ組成による融点、粘度との関係

スラグの融点・粘度は、溶融酸化物中で、揮発種の揮発表面までの拡散速度に影響を与えるため、融点<sup>6)</sup>・粘度<sup>7)</sup>での整理を試みた。第 6 図は、スラグ中 Pb 濃度を塩基度とスラグの融点で整理した図である。塩基度が近いところで比較すると、融点が高いほど残留 Pb 濃度は低くなる傾向を示した。一方、粘度は CaO が多く SiO<sub>2</sub> が少ないほど小さくなる傾向があるが、残留 Pb 濃度と粘度との間には明確な相関は認められなかった。

### 3. Chemsage をもちいた熱力学平衡計算による検討

スラグ中に残留する Pb 濃度はスラグ組成に影響されることから、スラグ組成を多種変化させて、Chemsage をもちいた熱力学平衡計算により、その妥当性を検討した。計算にもちいた成分は CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, PbO であり、MgO から PbO までは一定値とし、CaO : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : SiO<sub>2</sub> 比を変化させた。また、平衡するガスおよびガス量としては、前記実験に合わせて、N<sub>2</sub>-2% O<sub>2</sub> を 3m<sup>3</sup> とした。温度は 1 300 ~ 1 700 の範囲とし、平衡計算をおこない、スラグ中の Pb 濃度を計算した。第 7 図に一例として、1 500 におけるスラグ中の残留 Pb 濃度の計算結果を示す。これによると、CaO 濃度が高いほど、残留 Pb 濃度は低くなる傾向を示し、また、CaO 濃度が一定の場合、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 濃度が大きいほど 残留 Pb 濃度は低くなる傾向を示した。

第 8 図に、本計算結果を (%CaO)/{(%SiO<sub>2</sub>)+( %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)} で整理した場合の結果と実験結果を併せて示す。1 300 ~ 1 500 の残留 Pb 濃度の計算結果と実験結果のオーダは一致した。また、(%CaO)/{(%SiO<sub>2</sub>)+( %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)} が大きくなるほど残留 Pb が少なくなる傾向も一致したが、実験結果は (%CaO)/{(%SiO<sub>2</sub>)+( %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)} に敏感に対応しており、0.4 ~ 0.6 付近で急激に変化している。したがって、塩基度だけが支配しているのではなく、前述のスラグの融点、粘度などその他の影響もあると考えられる。

むすび = 溶融過程における Pb の積極的揮散のため、その揮発挙動を精緻な実験により基礎的かつ系統的に解明し、揮発促進策を見出すことを目的に、小型プラズマ炉による基礎実験、熱力学的解析などをもちい、Pb の揮発挙動について検討した結果、以下のことが判明した。

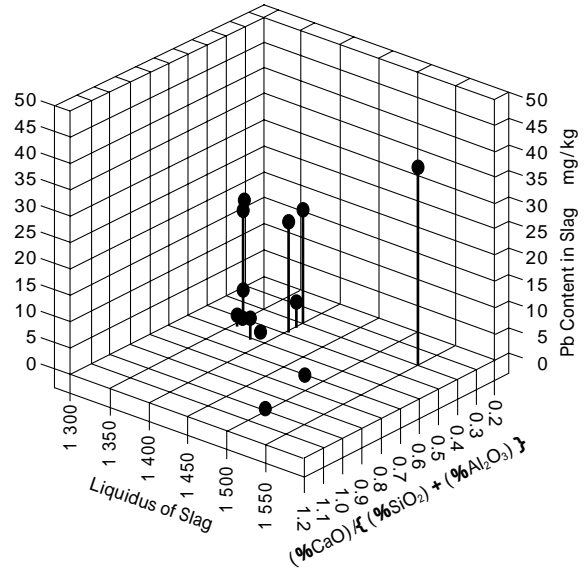
(1) Pb の揮発は、初期の溶融塩化物中からの揮発 (1st Stage) と、後期の溶融酸化物中からの揮発 (2nd Stage) の 2 段階で起こると推定された。

(2) Pb の揮発促進には、高温・長時間のほか、N<sub>2</sub> プラズマや C 添加などの還元性処理や、スラグの高塩基度化が効果的であることがわかった。

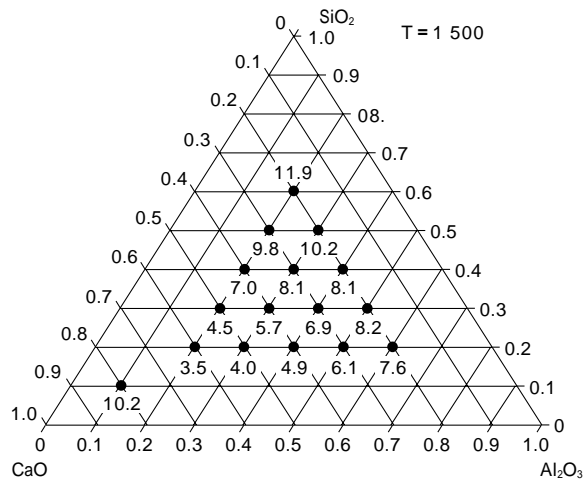
当社はすで実証炉による研究を終え、商業炉を納入し安定運転を達成しているが、より環境負荷の小さな、信頼性あるシステム構築は、膨大な基礎的知見の積み重ねの上で達成されるものであり、引き続き、基礎的・系統的な研究が必要である。

#### 参考文献

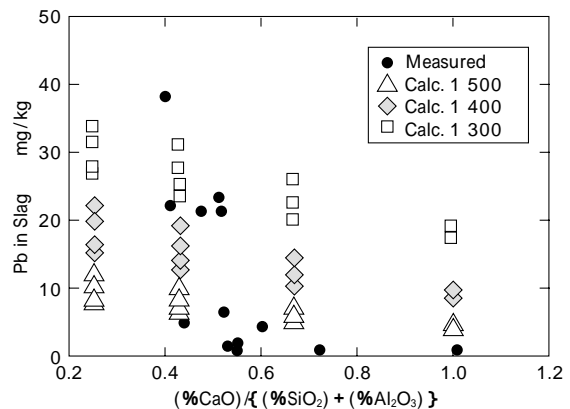
- 1) 東 康夫ほか:R&D神戸製鋼報, Vol.50, No.3(2000) p.78 .
- 2) 河端博昭ほか:第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集(1997) p.645 .
- 3) 石野俊夫:溶融塩物性表(1963) p.437. 電気化学協会溶融塩委員会
- 4) 加賀 彰ほか:第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集(1996) p.439 .
- 5) 徳田正則:廃棄物の溶融処理技術とスラグの有効利用(1996) p.17 鋼技術情報センタ
- 6) Ernest M. Levin et al.:Phase Diagram for Ceramists(1964) p.219 .The American ceramic Society.



第 6 図 スラグ中の Pb 含有量に及ぼすスラグ融点、塩基度の影響  
Fig. 6 Effect of liquidus and basicity of slag on Pb contents in slag



第 7 図 熱力学データベースによる Pb 含有量の計算結果  
Fig. 7 Pb contents in various slags calculated by thermodynamic database



第 8 図 熱力学データベースによる Pb 含有量の計算結果と実験結果の比較  
Fig. 8 Comparison between experimental results and calculation results of Pb contents in various slags

7) 溶鉄・溶さいの物性値便覧(1972) p.59 . 日本鉄鋼協会