

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 22 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560758

研究課題名（和文） 廃棄物スラグ融液内での不均一化学反応を伴う金属揮発ダイナミクス

研究課題名（英文） Dynamics on volatilization of metal compounds accompanied by heterogeneous chemical reactions in molten slag of wastes

研究代表者

松田 仁樹 (MATSUDA HITOKI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80115633

研究成果の概要（和文）：本研究は $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ 系スラグ融液内における酸化鉛と塩素および硫黄成分との塩化、硫化反応を伴う熔融スラグからの鉛化合物の揮発ダイナミクスを検討した。その結果、無機塩素化合物、および HCl 、 H_2S ガスの存在によって、熔融スラグ中の PbO はより低沸点の鉛化合物として熔融スラグからの揮発が促進された。さらに鉛化合物の揮発速度は高 CaO 含有量の熔融スラグほど大きくなった。

研究成果の概要（英文）：Dynamics studies on volatilization of lead compounds from $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ molten slag, accompanied by chlorination and sulfidation reactions of PbO with Cl and S compounds, were conducted. Results showed that the volatilization of lead compounds of lower boiling temperatures which were produced by the reaction of PbO with coexisting inorganic chlorides or HCl and H_2S gas was promoted. Results also showed that the rates of volatilization of lead compounds were higher from molten slag of lower viscosity with higher CaO content.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：環境工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・反応工学・プロセスシステム

キーワード：反応速度、廃棄物、熔融スラグ、重金属、揮発分離

1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国をはじめ、欧米諸国では都市ごみ、バイオマス等のガス化あるいは燃焼過程で大気中に放出される低沸点金属による環境汚染が問題にされている。一方、都市ごみ等の焼却灰中には銅、鉛、亜鉛等の有価金属等は鉱石あるいはそれ以上の高濃度で含まれており、固体残渣からこれらの金属の効率的な回収が求められている。

これに対して、我が国では都市ごみ等の中

間処理において固体残渣の“減溶化（スラグ化）”と“金属分離”を目的として灰熔融あるいはガス化熔融処理等が行われている。このとき鉛、亜鉛などの低沸点金属の多くはスラグ熔融過程で気相中に揮散してスラグ成分と分離されるが、熔融温度、雰囲気、スラグ組成、スラグ共存成分等の条件によっては金属の一部はスラグ内に残留し、スラグからの環境溶出が懸念されている。

都市ごみ熔融スラグでは、 CaO/SiO_2 比が大きいスラグほどスラグ中の金属残留濃度は

低くなることが知られている。さらに、高温、低酸素雰囲気では熔融スラグからの鉛の揮発が促進されること、さらにスラグ中のSiO₂含有率が多いほど鉛の揮発率は低下することなどが報告されている。

しかしながら、これらの研究のほとんどは熱力学平衡計算に基づく金属化合物の揮発挙動の検討に限られたものであり、都市ごみ熔融スラグからの金属揮発挙動の速度論的観点からの検討はほとんど見当たらない。このような状況に鑑み、固体廃棄物の熔融処理によって“金属分離”と“スラグ安定・無害化”を同時達成するためには熔融スラグ内の金属化合物の化学反応を伴う揮発ダイナミクスを解明し、揮発速度因子と熔融条件の定量的把握が求められている。

2. 研究の目的

固体廃棄物の熔融過程では、金属化合物は熔融雰囲気ガスあるいは炭素、塩素、硫黄系の共存成分と還元反応あるいは塩化、硫化反応を起こし、このとき生成金属化合物の熔融スラグからの揮発特性は熔融条件に依存する。すなわち、熔融条件によっては金属、あるいは塩素、硫黄分はスラグ固体体内に残留し、これを抑制するにはスラグ熔融過程における金属化合物の揮発速度の正確な把握が必要となる。

本研究は、固体廃棄物等に含まれる有用金属を効率的に乾式分離して資源回収するために、廃棄物熔融過程において金属成分のスラグ融液（液相）内あるいはスラグ融液-気相界面での化学反応、ならびに液相、気相中の移動速度を考慮に入れて熔融スラグからの金属化合物の揮発ダイナミクスを解明することを目的とする。

具体的には、都市ごみ等に多く含まれる鉛を例に挙げて、SiO₂-Al₂O₃-CaOの静止系熔融スラグ中でのこれらの金属酸化物とHCl-N₂、H₂S-N₂系混合ガス、あるいは固体塩素化合物、硫黄化合物のスラグ共存成分との化学反応を伴う金属の揮発速度を実験によって求める。本検討により、静止スラグ融液からの金属の高効率揮発分離によるスラグ中の金属低減化、および塩素あるいは硫黄分のスラグ中への溶解の抑制によるスラグの安定・無害化のための金属揮発の“速度因子”と“熔融条件”を見出すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は平成22～24年度の3年間において、都市ごみ等の熔融処理を想定してSiO₂-Al₂O₃-CaOスラグ融液-気相界面または熔融スラグ内での金属酸化物と塩素、硫黄成分との塩化、硫化反応を伴う熔融スラグからの金属の揮発ダイナミクスの解明を目指す。

本研究では、SiO₂-Al₂O₃-CaO熔融スラグに

対してHCl-N₂、H₂S-N₂ガス雰囲気下、およびCaCl₂などの固体成分が共存する場合の金属化合物の揮発速度と熔融雰囲気、熔融温度、ガス流量、スラグ組成等との関係を定量的に明らかにする。

図1に、本研究のイメージ図を示す。

(1) スラグ試料

本研究では都市ごみ熔融スラグの組成を模擬したCaO-SiO₂-Al₂O₃系熔融スラグを調製

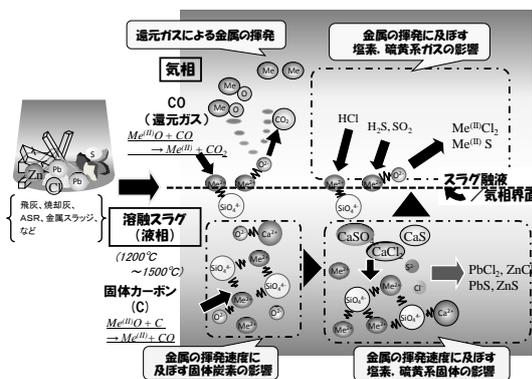


図1 本研究のイメージ

し、熔融スラグからのPbOの揮発実験に供した。実験試料は市販のCaCO₃、SiO₂およびAl₂O₃の各粉末（特級試薬、和光純薬工業製（株））ならびに市販の鉛ガラス（PbO含有量30 wt%、佐竹ガラス（株））をメノウ鉢で碎いて微粉末にしたものを適宜、混合した。スラグ試料はPbO含有量2000 mg・kg⁻¹で一定とし、CaO、SiO₂、Al₂O₃の重量比を種々変化させることでスラグ組成を調整した。

(2) 実験装置および方法

図2に本研究で用いた加熱熔融実験装置の概略図を示す。本装置はガス調製部、反応・揮発部（電気炉加熱部分）及び揮発鉛捕集部（反応・揮発部以降5%硝酸溶液まで）から構成されている。電気炉の最高到達温度は1873 Kであり、炉心寸法は50 mm φ × 300 mmである。アルミナ製反応管（50 mm φ × 42 mm φ × 1000 mm）はその中心が電気炉の炉心中央の位置となるよう設置し、両端を水冷した。

実験はスラグ試料2.0 × 10⁻³ kgをアルミナ製試料ポート（内寸法：13 mm × 8 mm × 90 mm）に装填した後、試料ポートをアルミナ製反応管（内径42 mm × 長さ1000 mm）の入口部より所定の一定温度（1673～1773 Kに保った反応管中心部に設置し、試料ポート中のスラグ試料を熔融させた。熔融スラグ試料は実験時間0～3000 sの範囲で一定時間ごとに反応管から取り出した。本条件ではスラグ試料は加熱開始後、約10 minで十分均一に熔融することが確認されたため、加熱開始後10 minの時点からスラグ熔融期間中、N₂: 80 % - O₂: 20 %をN₂-HCl、N₂-H₂Sに切り替えて一定流速で流通させた。

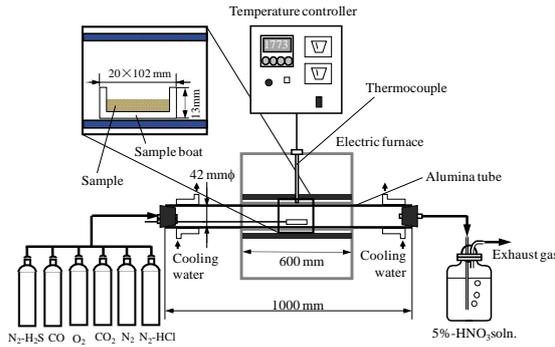


図2 実験装置

(3) スラグ中の残存金属の分析

所定の加熱時間後、試料ボートを反応管から取り出し、イオン交換水を満たした金属製容器内に投入してスラグ試料を急冷・凝固させた。加熱・熔融過程で揮発した鉛は反応管出口部内壁面、反応管出口ガス流路内壁面に付着する熔融固化物、および流通ガス中の揮発分として洗気瓶（5%硝酸水溶液）にて捕集した。試料ボート中に残留したスラグ試料は試料ボートごとに全量を乳鉢で粉砕した後、HF/HNO₃の混酸を用いて酸分解した。HF/HNO₃の混酸は濃度60~62%のHNO₃と濃度46~48%のHFをそれぞれ10×10⁻³ m³および蒸留水20×10⁻³ m³の割合で混合して調整した。HF/HNO₃混酸に溶解して得られたスラリーは濾過した後、ICP-OES (VISTA-MPX, Varian Inc.)を用いて鉛濃度測定を行い、本測定にて得られた鉛濃度から熔融時間ごとのスラグ試料中の鉛含有量を求めた。

4. 研究成果

(1) N₂-HCl 雰囲気における熔融スラグからの鉛化合物の揮発挙動

表1に本実験に用いたCaO-SiO₂-Al₂O₃スラグ試料 (Slag I, Slag II, Slag III) の組成と文献値から求めた熔融スラグの粘度推算値を示す。

表1 CaO-SiO₂-Al₂O₃スラグ試料の組成

Slag Sample	CaO [wt%]	SiO ₂ [wt%]	Al ₂ O ₃ [wt%]	CaO/SiO ₂ [-]	$\mu_{\text{slag}}^{\text{*)}$ [Pa·s]
Slag I	40	40	20	1.0	0.83
Slag II	30	30	40	1.0	1.40
Slag III	20	60	20	0.3	20.4

^{*)}J. S. Machin and T. B. Yee

熔融スラグからの鉛の揮発速度は熔融スラグ中の鉛の濃度に比例するとして、(1)式のように表した。

$$-dW_{\text{PbO}}/dt = k_T (A/V) W_{\text{PbO}} \quad (1)$$

ここに、 W_{PbO} はスラグ中の鉛濃度 [kg-PbO/kg-slag]、 k_T は見かけの揮発速度定

数 [m·s⁻¹]、 A はスラグ揮発面積 [m²]、 V はスラグ容積 [m³]、 t [s] は時間を表す。 A/V は熔融スラグ揮発面積 (A)/熔融スラグ容積 (V) = (熔融スラグ厚み)⁻¹ を表す。熔融スラグ厚みは実験終了後、試料ボート中のスラグ固化物に対する実測値を用いた。

① 熔融スラグからの鉛化合物の揮発速度

図3に、スラグ試料 (Slag I) をスラグ熔融完了後 (スラグ試料の加熱開始10分後)、1773 K、N₂-HCl 雰囲気下 ($p_{\text{HCl}} = 0.0017, 0.005, 0.0067$ atm) に保持したときのスラグ中の鉛化合物の初期鉛含有量 $W_{\text{PbO},0}$ に対する鉛残存量 W_{PbO} の割合の時間変化を示す。

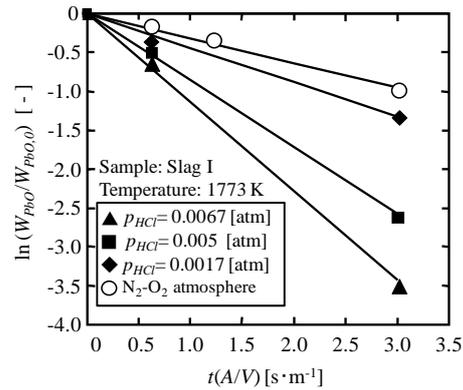


図3 Slag Iに残存する鉛の時間変化(パラメータ: HCl分圧)

本図において、各種 HCl 分圧の下で得られる実験データはいずれも(1)式を積分して得られる $\ln(W_{\text{PbO}}/W_{\text{PbO},0})$ vs. $t(A/V)$ の関係で表されることから、熔融スラグからの鉛の揮発速度は鉛濃度のみかけ1次で表記されることがわかった。

図には N₂-O₂ 雰囲気下での Slag I の熔融時における PbO の揮発データも示されている。本図より、N₂-O₂ 雰囲気での PbO の CaO-SiO₂-Al₂O₃ 熔融スラグからの揮発結果と同様、N₂-HCl 雰囲気下でも $\ln(W_{\text{PbO}}/W_{\text{PbO},0})$ vs. $t(A/V)$ において良好な直線関係が認められていることから、本熔融スラグからの鉛化合物の揮発速度は見かけ上、(1)式で表わされることが考えられる。このとき、 $\ln(W_{\text{PbO}}/W_{\text{PbO},0})$ vs. $t(A/V)$ の直線の傾きより算出した見かけの揮発速度定数 k_T は N₂-O₂ 雰囲気と比べて N₂-HCl 雰囲気ではいずれも大きくなっており、さらに k_T は HCl 分圧が増加するほど大きくなることがわかった。

② 鉛化合物の揮発速度とスラグ組成の関係

図4に、Slag I、Slag II および Slag III の3種類のスラグ試料の N₂-HCl 雰囲気下、1773 K の熔融条件における鉛化合物の見かけの揮発速度定数と HCl 分圧の関係を示す。

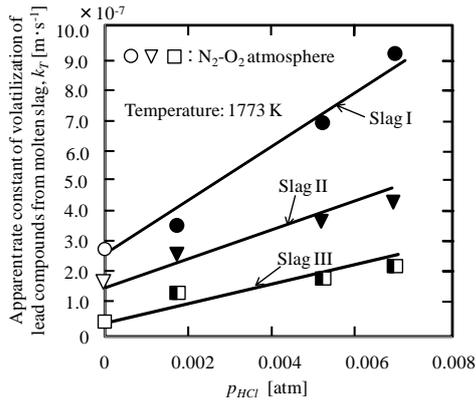


図4 鉛化合物のSlag I, Slag II, Slag IIIからの見かけの揮発速度定数とHCl分圧の関係

本図において Slag I、Slag II および Slag III のスラグ試料に対して鉛の見かけの揮発速度定数 k_T はいずれの溶融スラグでも HCl 分圧 p_{HCl} の増加とともに直線的に増加することが認められた。具体的には、HCl 分圧 $p_{HCl} = 0.0067$ atm における Slag I、II および III からの鉛の見かけの揮発速度定数 ($k_T \approx 9.15 \times 10^{-7}$, 4.38×10^{-7} , $2.21 \times 10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) は N_2 80 vol%- O_2 20 vol% 雰囲気下、同一温度 1773 K における PbO の見かけの揮発速度定数 $k_T \approx 2.74 \times 10^{-7}$, 1.59×10^{-7} および $4.16 \times 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ のそれぞれ 3.34, 2.75 および 5.31 倍程度となった。また本図において、溶融スラグからの鉛の見かけの揮発速度定数 k_T vs. HCl 分圧 p_{HCl} の関係はスラグごとに異なり、本実験では同一 HCl 分圧条件において k_T の値は Slag I > Slag II > Slag III の順となった。

このようなスラグの違いによる鉛の見かけの揮発速度定数 k_T への影響をさらに詳細に調べるために、図5に k_T の値を溶融スラグ粘度に対してプロットして示した。図には比較のために N_2 - O_2 雰囲気下、1773 K での PbO の揮発結果も示している。

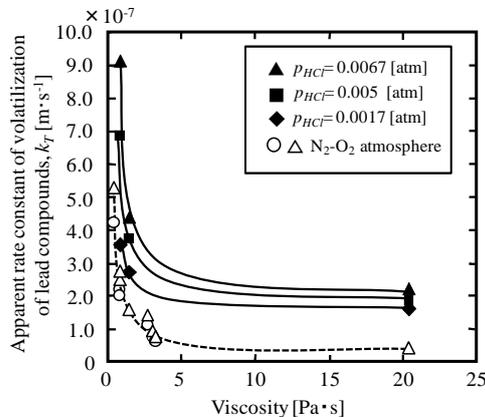


図5 鉛化合物の溶融スラグからの見かけの揮発速度定数と溶融スラグ粘度の関係

本図より、 N_2 - O_2 雰囲気のとおり同様、 N_2 -HCl 雰囲気においても鉛の見かけの揮発速度定数 k_T は溶融スラグの粘度が低いほど大きくなることが認められた。また本図において、とくに本実験で用いた溶融スラグ Slag I および Slag II では k_T の溶融スラグ粘度に対する変化は大きかった。

一般に、CaO 組成比の大きい溶融スラグほどスラグ粘度は低下することから、溶融スラグ内の PbO あるいは PbCl_2 の溶融スラグ内の物質移動抵抗が小さくなり、結果的にこれらの鉛化合物の溶融スラグからの揮発速度は増加すると考えられた。

(2) N_2 - H_2S 雰囲気における溶融スラグからの鉛化合物の揮発挙動

N_2 - H_2S 雰囲気における溶融スラグからの鉛化合物の見かけの揮発速度を測定するために、上記(1)で $\text{CaO}/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 組成を調整した Slag I~Slag III をスラグ試料に用いて、(1)と同様の手法によって鉛化合物の揮発実験を行った。

① 溶融スラグからの鉛化合物の揮発速度と H_2S 分圧の関係

図6に、 N_2 - H_2S 雰囲気下、1173 K において Slag I、Slag II および Slag III の溶融過程で揮発する PbS の見かけの揮発速度定数 k_T と H_2S 分圧 $p_{\text{H}_2\text{S}}$ の関係を示す。本図には比較のために N_2 - O_2 雰囲気 ($p_{\text{H}_2\text{S}}=0$) での各種溶融スラグからの PbO の見かけの揮発速度定数 k_T (○, ▽, □) も示した。

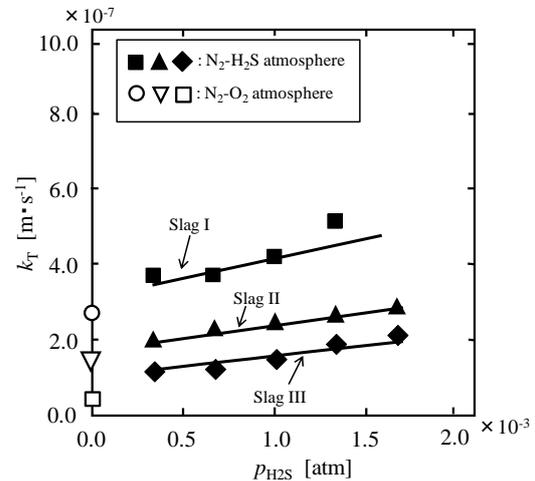


図6 鉛化合物の見かけの揮発速度定数、 k_T と H_2S 分圧の関係

本図より、Slag I、Slag II および Slag III のいずれに対しても N_2 - H_2S 雰囲気での PbS の見かけの揮発速度定数 k_T は N_2 - O_2 雰囲気での PbO の見かけの揮発速度定数に比べて大きく、また本 H_2S 分圧の範囲では見かけ上、 $p_{\text{H}_2\text{S}}$ にほぼ比例して増大することが認められた。このように、 N_2 - H_2S 雰囲気において PbS の見かけ

の揮発速度定数 k_T が H_2S 分圧 p_{H_2S} の増加とともに増大する理由としては、 N_2-HCl 雰囲気下での $PbCl_2$ の揮発のときと同じように、気相-溶融スラグ界面での PbO と H_2S の化学反応速度に関係するものと考えられた。

② N_2-H_2S 雰囲気と N_2-HCl 雰囲気下での鉛化合物の揮発速度の比較

図7に、 H_2S 分圧を HCl 分圧と同一に設定し ($p_{H_2S}=p_{HCl}=1.7 \times 10^{-3}$ atm)、温度 1673、1723 および 1773 K に変化させたときの N_2-H_2S 雰囲気における Slag II の溶融過程での PbS の見かけの揮発速度定数 k_T と N_2-HCl 雰囲気における $PbCl_2$ の見かけの揮発速度定数を比較して示した。図中には N_2-O_2 雰囲気下、1773 K で測定した Slag II の溶融過程での PbO の見かけの揮発速度定数の値 (∇) も示している。さらに参考のために、Slag I の N_2-O_2 雰囲気における溶融過程での PbO の見かけの揮発速度定数の活性化エネルギー ($195.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) を用いて、Slag II に対して便宜的に適用したときの溶融温度 1673、1723 K における Slag II からの PbO の揮発に対する k_T の推算値 (∇) を示した。

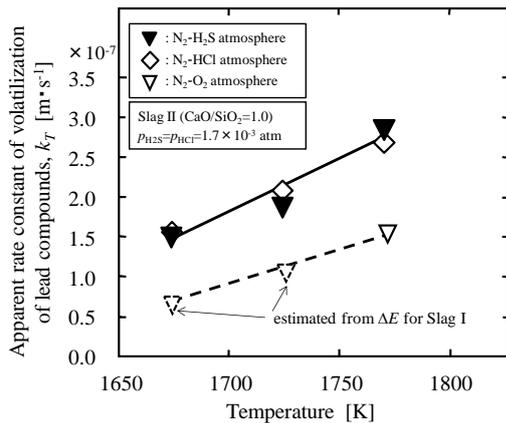


図7 N_2-HCl および N_2-H_2S 雰囲気下での鉛化合物の溶融スラグ (Slag II) からの見かけの揮発速度定数 ($p_{H_2S}=p_{HCl}=1.7 \times 10^{-3}$ atm)

本図より、Slag II の溶融過程では PbS および $PbCl_2$ の見かけの揮発速度定数はいずれも 1673、1723 および 1773 K においてほぼ同じ値を示すことが認められた。また本結果より求めた N_2-H_2S 雰囲気での PbS の見かけの揮発速度定数の活性化エネルギーは $134.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ となり、この値は N_2-HCl 雰囲気での Slag II の溶融過程における $PbCl_2$ の見かけの揮発速度定数の活性化エネルギー $121.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ と比較的近い値を示した。

また本図より、 N_2-H_2S および N_2-HCl 雰囲気の見かけの揮発速度定数は N_2-O_2 雰囲気のそれに比べて約2倍以上大きくなっている。このことより、 O_2 には PbO の揮発の障害作用があると考えられる。 N_2-H_2S および N_2-HCl 雰囲気

のように O_2 を含まない系では PbO は溶融スラグ成分との結合性が低く、溶融スラグ内の移動速度は相対的に速いと考えられる。一方、溶融スラグ-気相界面で $PbCl_2$ 、 PbS の低沸点鉛化合物が生成することで鉛の揮発速度は増大する。これら2つの効果によって N_2-H_2S および N_2-HCl 雰囲気と N_2-O_2 雰囲気における鉛の揮発速度に大きな相違が生じたものと考えられた。

(3) 無機塩化物の添加による溶融スラグからの鉛化合物の揮発挙動

ここでは $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 溶融スラグ中の PbO の揮発速度に及ぼす無機塩化物の影響を実験的に調べた。無機塩化物は $NaCl$ 、 KCl および $CaCl_2$ を選び、溶融炉内には溶融雰囲気ガスとして N_2 、 N_2-O_2 および $N_2-CO-CO_2$ を流通させた。

実験装置ならびに実験方法は (1) および (2) に準じた。スラグ試料は CaO (30 wt%)、 SiO_2 (50 wt%)、 Al_2O_3 (20 wt%) の混合物を用い、無機塩化物はあらかじめスラグ試料に一定量添加した。無機塩化物の添加量は (2) 式に示すように、無機塩素化合物中の Cl と PbO のモル比を変化させた。

$$R_{Cl} [-] = M_{Cl} [\text{mol}] / M_{PbO} [\text{mol}] \quad (2)$$

ここに、 M_{Cl} は無機塩素化合物中の Cl モル量、 M_{PbO} はスラグ中の PbO のモル量を表す。

① 無機塩素化合物の添加による鉛化合物の揮発挙動

図8に、窒素雰囲気、溶融温度 1773 K において、 $NaCl$ 、 KCl および $CaCl_2$ を添加したときの溶融スラグからの鉛化合物の揮発量の経時変化を示す。本実験では PbO に対する Cl のモル比、 R_{Cl} は $R_{Cl}=27$ に設定した。

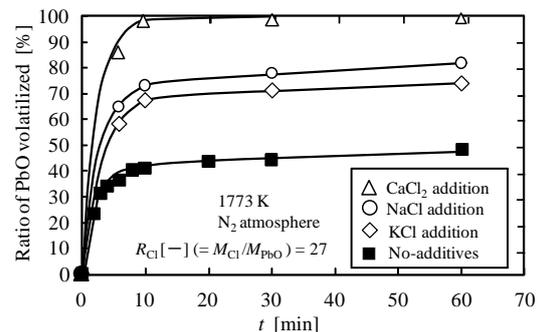


図8 無機塩素化合物の添加による溶融スラグからの鉛化合物の揮発量の時間変化。

本図より、いずれの場合も溶融開始から約10分で鉛は急速に揮発している。とくに、鉛の揮発量は無機塩化物を添加しない場合は揮発率約40%に対して、無機塩化物を添加すると $CaCl_2$ では95%に達している。一方、10分以

降では鉛の揮発率は低下しているが、この一つの理由として、PbOは高温においてCaO-SiO₂-Al₂O₃のスラグ構造体に取り込まれやすいことが考えられる。なお、無機塩化物を加えたときの鉛揮発量はCaCl₂>NaCl>KClの順になることがわかった。これは無機塩化物中のCl結合力に関係すると考えられた。

② 鉛の揮発とR_{Cl}の関係

図9に、各種無機塩化物の添加量を増加させたときの溶融スラグからの溶融時間10分後の鉛揮発率を示す。

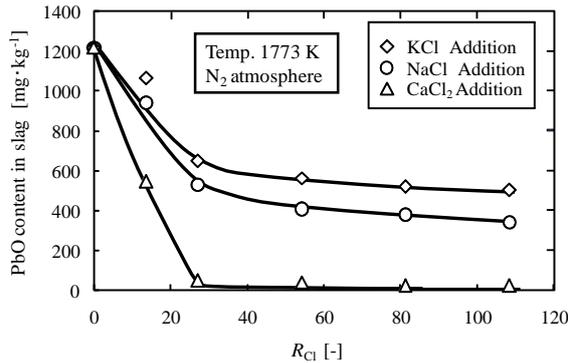


図9 溶融時間10分における鉛の揮発量とR_{Cl}の関係

本図より、溶融スラグ中のPbO含有量はいずれも無機塩化物の添加量が多くなるほど低下していることがわかる。とくに、R_{Cl}=27までは添加量とともに鉛の揮発量はほぼ直線的の増大している。また、CaCl₂の添加量をR_{Cl}=27にした場合は、PbOはほぼ100%揮発した。一方、NaClおよびKClを添加した場合は、CaCl₂を添加した場合よりも鉛の揮発率は低かった。すなわち、NaClおよびKClを加えた場合はR_{Cl}=110まで添加量を増加しても溶融時間10分後における鉛の揮発は不完全であった。これらの結果は①で得られた結果とも整合することが認められた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① Kageyama Hiroki, Osada Shohichi, Nakata Hiroyuki, Kubota Mitsuhiro, Matsuda Hitoki, Effect of Coexisting Inorganic Chlorides on Lead Volatilization from CaO-SiO₂-Al₂O₃ Molten Slag under Municipal Solid Waste Gasification-Melting Conditions, Fuel, 査読有, Vol. 103, 2013, pp.94-100
- ② 景山広樹, 長田昭一, 窪田光宏, 松田仁樹, N₂-H₂S 雰囲気におけるCaO-SiO₂-Al₂O₃溶融スラグからの鉛の揮発挙動, 廃棄物資源循環学会誌, 査読有, Vol. 24, No. 1, 2013, pp.1-6
- ③ 景山広樹, 河内山拓哉, 長田昭一, 河口祐輝, 窪田光宏, 松田仁樹, 都市ご

み溶融を模擬したCaO-SiO₂-Al₂O₃系溶融スラグからの酸化鉛の揮発速度解析の検討, 廃棄物資源循環学会誌, 査読有, Vol. 22, No. 1, 2011, pp.52-60

- ④ Shima, Daisuke, Kageyama Hiroki, Osada Shohichi, Kubota Mitsuhiro, Matsuda Hitoki, Effect of Coexisting FeO on Volatilization of PbO from CaO-SiO₂-Al₂O₃-FeO Molten Slag in N₂ Atmosphere, J. Chem. Eng., Japan, 査読有, Vol. 44, No. 10, 2011, pp.757-763
- ⑤ 河内山拓哉, 景山広樹, 長田昭一, 窪田光宏, 松田仁樹, N₂-HCl雰囲気におけるCaO-SiO₂-Al₂O₃溶融スラグからの鉛化合物の揮発挙動, 廃棄物資源循環学会誌, 査読有, Vol. 22, No. 6, 2011, pp.354-360

[学会発表] (計2件)

- ① Matsuda Hitoki, Kageyama Hiroki, Kawaguchi Yuuki, Osada Shohichi, Kubota Mitsuhiro, Volatilization of lead compounds from CaO-SiO₂-Al₂O₃ molten slag in different gas atmospheres, Proc. 7th International Conference/Exhibition on Combustion, Incineration/Pyrolysis, Emission and Climate Change, 査読有, 2012/9/4-7, Ilsan KINTEX(Seoul, Korea), WTE-64
- ② Kageyama Hiroki, Osada Shohichi, Nakata Hiroyuki, Kubota Mitsuhiro, Matsuda Hitoki, Effect of Coexisting Inorganic Chlorides on Lead Volatilization from CaO-SiO₂-Al₂O₃ Molten Slag under Municipal Solid Waste Gasification-Melting Conditions, Proc. 2nd International Symposium on Gasification and Its Application, 査読有, 2010/12/5-8, LUIGANS(Fukuoka), B14

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 仁樹 (MATSUDA HITOKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80115633

(2) 研究分担者

窪田 光宏 (KUBOTA MITSUHIRO)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 60345931

(3) 連携研究者 なし