エージング処理を施した一般廃棄物焼却主灰の環境安全性の評価

福岡大学工学部　学生会員　平川裕也　宮田省吾　山口和貴
福岡大学工学部　正会員　佐藤研一　藤川拓朗　古賀千佳嗣
(独)国立環境研究所　正会員　肴倉宏史

1. はじめに　我が国では、年間 500 万トンの焼却残渣(一般廃棄物焼却主灰や飛灰)が発生し、これらは管理型処分場にて埋立処理されている。最終処分場の新規建設が困難になってきている社会の趨勢を鑑みると、今後は循環型社会に相応しい循環資源戦略が必要であり、発生量の多い焼却主灰を土木資材等として積極的にリサイクルしていくことが求められる。そのような中、本研究では廉価でドイツやオランダにおいては既に実績のあるエージング処理[1)]による不溶化方法(焼却灰中の重金属を自然降雨による洗い出しや CO_2 を利用し炭酸金属化させて不溶化を図る手法[2)])に着目し、焼却主灰の地盤材料としての特性や重金属等の不溶化効果を明らかにすることを目的としている。本報告では、1) 環告 46 号法試験を用いてエージング日数に伴う不溶化効果の把握、2) カラム試験を用いた実環境に近い条件におけるエージング処理効果の把握、3) 周辺環境の変化に伴う pH 変動に対するエージング処理効果の把握について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料　本実験で用いた試料は、2014 年 9 月に a 市のリサイクルセンターから排出された焼却主灰である。エージングを 0 日(以下、焼却主灰 a-Age0)、30 日(以下、焼却主灰 a-Age30)、90 日(以下、焼却主灰 a-Age90)の日数で施し、エージング日数に伴う溶出特性の変化を検討した。なお、焼却主灰はエージングの際に飛散を抑えるために数 cm の覆土をしている。**表-1** に化学組成を示す。実験試料は各々の試験規定に倣い、最大粒径をカラム試験は 4.75mm、pH 依存性試験は 0.85mm に粒度調整したものを実験に使用した。

表-1　化学組成

項目	単位	試料 焼却主灰 a-Age0	試料 焼却主灰 a-Age30
SiO	%	28.9	31.8
CaO	%	25.8	24.0
Al_2O_3	%	13.4	13.0
Fe_2O_3	%	5.0	8.2
MgO	%	2.9	2.3
Na_2O	%	2.4	1.1
K_2O	%	3.3	3.0
ZnO	%	0.3	0.7
TiO_2	%	2.1	1.2
CuO	%	0.1	0.4
PbO	%	0.1　未満	0.1　未満

2-2 実験条件

1) 上向流カラム通水試験　**図-1** にカラム試験装置、**表-2** にカラム試験の実験条件を示す。本研究では、ISO/CEN 規格に基づき試験を行った。試料を 5 層に分け、最終充填高さが 30±5cm になるように充填した。突固めは直径 3cm、重さ 125g のランマーを高さ約 20cm から各層 3 回落下させ、供試体作製後、カラムの下端から飽和速度約 20mL/min で飽和させ、2 日間以上静置させている。飽和過程終了後、通水速度が 12±1.6mL/h となるように調整を行い、通水を開始し、浸出液の採取は所定の分画で行った。なお、採水タンク内は空気に接触して浸出液の pH に影響を与えることがないように、窒素で封入している。採取した浸出液は吸引濾過を行い、EC(電気伝導度)、pH、Pb(鉛)、Cr^{6+}(六価クロム)の測定を行った。Pb は ICP プラズマ発光分析装置を用い、Cr^{6+}は分光光度計を用いて定量した。

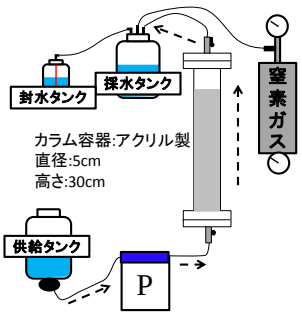


図-1　カラム試験装置

表-2　実験条件（カラム試験）

試料名	焼却主灰 a-Age0	焼却主灰 a-Age30	焼却主灰 a-Age90
最大粒径	4.75mm		
溶媒	蒸留水		
充填高さ	30±5cm		
充填方法	5層×3回 各層ランマー		
通水速度	12±1.6mL/h		
分画	24時間、48時間、72時間、96時間、7日、14日、21日、28日、35日		

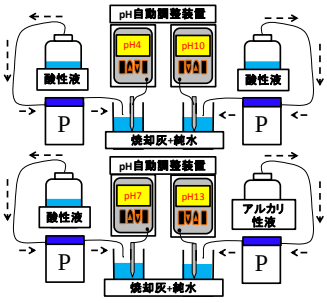


図-2　pH 自動調整装置

表-3　実験条件（pH 依存性試験）

試料名	焼却主灰 a-Age0	焼却主灰 a-Age30	焼却主灰 a-Age90
最大粒径	0.85mm以下		
溶媒	純水		
pH	4,7,10,13		
試験方式	連続調整方式		
液固比 (L/kg)	10		
試験日数 (day)	2		

2) pH 依存性試験　エージング処理された焼却主灰の周辺環境の変化に伴う pH 変動に対する溶出特性を把握するために pH4, 7 ,10 ,13 と設定して Pb と Cr^{6+} の溶出濃度を測定した。調整薬には 5M HNO_3(硝酸)、1M HNO_3(硝酸)、5N NaOH(水酸化ナトリウム)**図-2** に pH 自動調整装置、**表-3** に pH 依存性試験の実験条件を示す。試験方式は連続調整方式のため、事前に予備実験をして pH 調整薬の添加量を把握し、48 時間攪拌後の液固比が 10 となるよう純水と焼却主灰の分量を調整する。調整後、攪拌を 48 時間行ない、遠心分離機にかけ、濾過をし、pH を測定する。Pb と Cr^{6+}の分析方法はカラム試験と同様に、ICP プラズマ発光分析装置と分光光度計を用いている。

3. 実験結果及び考察

3-1 エージングによる不溶化効果の把握　**表-4** に環告 46 号法試験結果を示す。エージング日数の増加に伴い、焼却主灰の pH は低下し、Pb と Cr^{6+}の溶出濃度はともに低下する傾向を示した。特に、エージング 90 日においては、土壌環境基準値以下まで溶出濃度を抑制することが可能となり、エージングによる不溶化効果が確認された。

3-2 カラム試験からみたエージング処理焼却主灰の溶出特性　**図-3** に浸出液の pH 測定結果を示す。エージング日数の増加に伴い、初期の pH が低下していることから、エージングによる炭酸化の効果が確認できる。また、いずれの条件とも液固比の増加に伴い浸出液の pH は低下する傾向を示し、その低下はエージング日数が長いほど顕著であることが分かる。**図-4**(a), (b)に Pb のカラム試験結果を示す。エージング 0 日の焼却主灰は、初期の溶出濃度こそ低いものの、液固比が増加しても一定して鉛の溶出が見られる。これに対しエージング処理した焼却主灰は、いずれも溶出初期に濃度が上昇し累積液固比 1 付近でピークを示すが、その後漸減する傾向が見られた。その結果、累積溶出量からも分かるように、エージング 0 日の累積溶出量が特出して高いことが見て取れる。次に、**図-5**(a), (b)に Cr^{6+}のカラム試験結果を示す。Cr^{6+}は Pb と同様な溶出挙動が見られ、エージング日数に関係なく累積液固比 1～2 付近でピークを示した後、溶出濃度は漸減することが分かる。累積溶出量についても、エージング日数が増加するほど溶出量が低下する傾向を示し、エージング処理による不溶化効果が表れているものと考えられる。

表-4　環告 46 号法結果

試料	pH	Pb (mg/L)	Cr^{6+} (mg/L)
焼却主灰 a-Age0	12.44	0.17	0.11
焼却主灰 a-Age30	12.29	0.14	0.06
焼却主灰 a-Age90	12.21	0.01	0.04
土壌環境基準	—	0.01	0.05

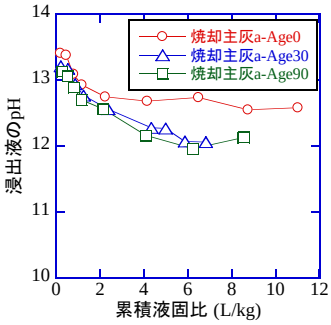
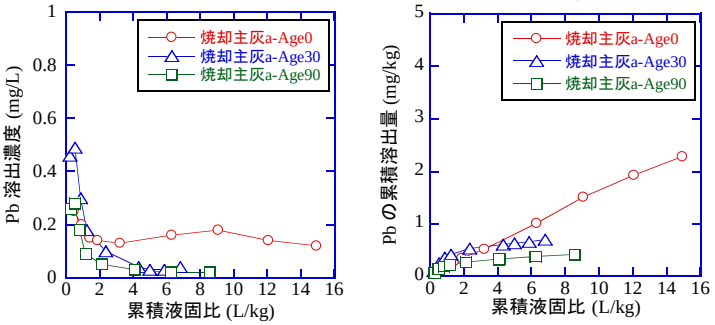
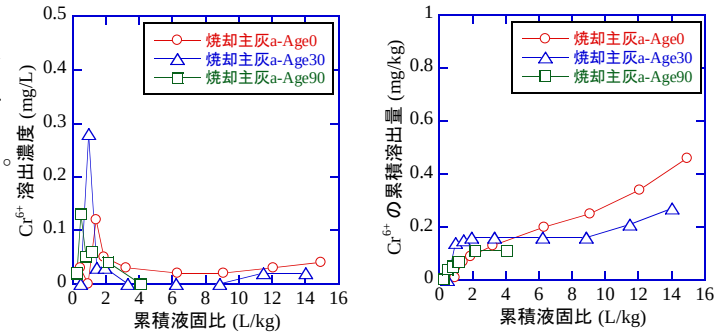


図-3　浸出液の pH 測定結果



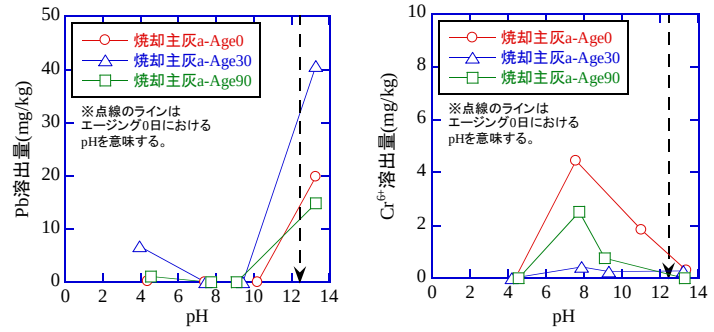
(a) Pb 溶出濃度　(b) Pb 累積溶出量

図-4　Pb の溶出濃度と累積溶出量（カラム試験）



(a) Cr^{6+}溶出濃度　(b) Cr^{6+}累積溶出量

図-5　Cr^{6+}の溶出濃度と累積溶出量（カラム試験）



(a) Pb　(b) Cr^{6+}

図-6　pH 依存性試験結果

3-3 周辺環境の変化に伴う不溶化効果の把握

図-6 に pH の変動に伴うエージング処理の効果を把握するために実施した pH 依存性試験結果を示す。周辺環境の変化に伴う pH の変動が生じた際、Pb については、pH が中性域にシフトするほど Pb 溶出量は低下することが分かる。またアルカリ側にシフトした場合においても、エージング 90 日の溶出量が最も低いことから、エージング処理により溶出量を抑制できることが分かる(エージング 30 日で高い値を示した理由は現在検討中)。一方 Cr^{6+}は、pH が中性付近に移行するほど、溶出量は増加する傾向にあるが、エージング 0 日と比べて溶出量は低下する傾向にあり、エージング処理の効果が表れていることが判明した。

4. まとめ　1) エージング日数の増加にともない Pb と Cr^{6+}の溶出濃度は低下し、エージング 90 日において土壌環境基準値以下まで不溶化することが判明した。2) カラム試験より、エージング処理した焼却主灰の Pb と Cr^{6+}は、いずれも溶出初期にピーク濃度を示した後、溶出濃度は漸減する傾向にあることが判明した。3) pH 依存性試験より、周辺環境の変化によって pH が変化する状況においても、Pb, Cr^{6+}は共にエージング処理による不溶化効果が期待できることが判明した。

【参考文献】1) 都市ごみ処理における焼却処理と埋立処分のインターフェイス(それぞれの役割)を考える，第 14 回廃棄物学会研究発表会，小集会発表資料，2003. 2) 成岡ら:エージングによる一般廃棄物焼却灰の無害化，鳥取県衛生環境研究所報，第 53 号, pp.10-14, 2012.