

紫外線照射による焼却飛灰中の鉛不溶化促進手法と長期安定性の検討

福岡大学 学生会員 下永瀬真実 隈本祥多
福岡大学 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 私たちが生活する上で排出する家庭ごみや事業系ごみを清掃工場で焼却処理した際に発生する一般廃棄物焼却残渣は、自治体の最終処分場で埋立処理されている。一般廃棄物焼却残渣は高濃度の重金属を含有するため、現在ではキレート処理やセメント固化といった不溶化処理が施された後に埋立てられている。しかしこれらの不溶化処理方法は、安全面やコスト面で課題が残されている¹⁾。このような背景から、現在では焼却灰の発生抑制および有効利用に関して様々な研究が行われている。そのような中、著者ら²⁾はこれまでに紫外線を用いた焼却灰中の鉛不溶化技術の開発を行い、紫外線 (UV-A) を照射させることで、鉛溶出濃度を低減できることを明らかにしており (図-1 参照)、この反応を光触媒反応と結論付けている。しかしながら鉛を不溶化させるまでに日数を要するため、実用化に向けた短期間での不溶化処理が課題となっている。そのため本研究は、1) 短期間による鉛不溶化促進手法の検討、2) 不溶化効果の長期安定性について検討を行った。本報告では特に紫外線波長、飛灰中の含水比の影響と再溶出特性について報告する。

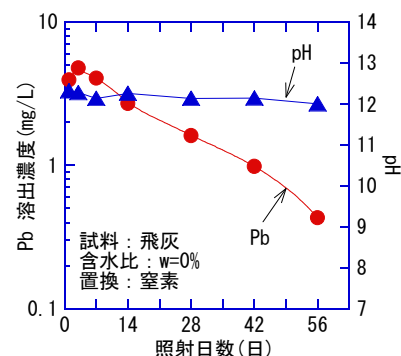


図-1 UVA を用いた不溶化処理²⁾

2. 実験概要 本研究の UV による不溶化は光触媒反応を利用したものであり、焼却飛灰に含まれる金属酸化物半導体 (特に TiO_2) を利用して活性酸素を発生させ、飛灰中の鉛を不溶化 (溶解度の低い鉛化合物へと形態変化) させるものである³⁾。写真-1 に本実験で用いた紫外線照射装置を示す。この装置は 1 列に 3 つのセルを並べ、灰粒子に上下方向から紫外線を満遍なく照射することが可能である。また、照射実験中に炭酸化が起こらないようにするためにセル内に置換させたい気体を封入できるという特徴を有している。なお、今回は全てのケースにおいて窒素で置換を行っている。

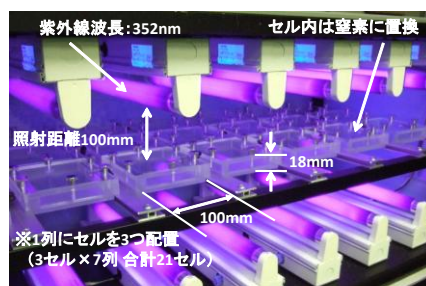


写真-1 実験に使用した紫外線照射装置

2-1 紫外線波長の影響 紫外線波長が光触媒反応促進に寄与するかを検証するため、UVA(TOSHIBA- FL20S BLB), UVB(TOSHIBA 殺菌ランプ GL20)のランプを用いた。表-1 に本実験で用いた紫外線ランプの特徴を示す。表-2 に示す実験条件に従い、セル内の焼却飛灰に所定日数 UV を照射させた。その後、鉛が溶出しやすい pH12 の溶媒を用い、L/S=50 の下 1 時間振とう、ろ過を行い検液を作製し、ICP プラズマ発光分析装置を用いて鉛を定量した。

表-1 紫外線ランプの特徴

	波長 (nm)	照度 (Lux)
UVA	352	84.3
UVB	253.7	434

表-2 紫外線波長に着目した実験条件

試料	含水比 (%)	置換条件	紫外線波長	1回のサンプル量 (g)	照射日数 (日)
焼却飛灰	0	N_2	UVA UVB	3	0, 7, 14, 42, 56

2-2 試料含水比の影響 光触媒反応のプロセスの一つであるヒドロキシラジカル反応に着目し、表-3 に示す実験条件のように自然状態(w=0%)及び湿潤状態(w=10, 20, 30, 40%)に設定した焼却飛灰を用いて、灰中の水分 (H_2O) が不溶化に与える影響を検証した。

表-3 飛灰の初期含水比に着目した実験条件

試料	飛灰の含水比 (%)	置換条件	紫外線波長	1回のサンプル量 (g)	照射日数 (日)
焼却飛灰	0 10 20 30 40	N_2	UVA	3	0, 3, 7, 28, 42, 56

2-3 再溶出の検討 既存の不溶化技術の最大の課題の一つに再溶出の懸念が挙げられる。ここで、再溶出とは一度不溶化した重金属類があらゆる環境下において何らかの形で再び溶出してしまふことと定義している。実験手順は、含水比 40%の焼却飛灰を 56 日間 UV 照射させた後、試料を取り出し、所定の期間気中に放置させ 2-1 と同様に溶出試験を行った。

3. 実験結果及び考察 表-4 に各実験条件における溶媒の最終 pH を示す。全ての実験条件において最終 pH は高アルカリ環境下であり、炭酸化による鉛の溶出濃度低下は起こりにくい状況であることが分かる。

3-1 紫外線波長が不溶化効果に与える影響 図-2 に紫外線波長に着目した鉛溶出濃度の低減効果を示す。

UVB(253.7nm)のように波長の短いものは既存のアク

リルセルでは透過率が悪く光が届かない可能性があるため、石英材質のセルを用いて波長の影響を検討した。結果より、UVB は UVA に比べ僅かながら鉛溶出濃度の低減効果が得られた。光触媒反応は、反応を起こす（電子を励起させる）最低限の波長（380nm）だけを必要としそれ以下の波長の影響は受けないとされている³⁾。今回、僅かながら波長の違いが見られた理由は、表-1 から分かるように UVB の照度が UVA よりも約 5 倍程度大きいことから、セル内の飛灰の隅々まで効率よく光が照射されたためではないかと捉えている。

3-2 飛灰中の含水比が不溶化効果に与える影響 図-3 に飛灰の含水比に着目した Pb 溶出濃度低減効果を示す。すべての条件において効果的に Pb 溶出濃度の低下が見られ、その低下は含水比の増加に伴って顕著であることが分かる。ここで、w=40%における含水比の推移に着目すると照射 7 日までに著しく含水比の低下が見られ、同様に Pb 溶出濃度も照射 7 日までに著しく低下していることが分かる。このことから、飛灰中に含まれた水分が光触媒反応の過程において強酸化力を持つヒドロキシラジカルを生成し（正孔が飛灰中の水を酸化させる反応： $\text{H}_2\text{O} + \text{h}^+ \rightarrow \cdot\text{OH} + \text{H}^+$ ）、反応を促進させたと考えられる。よって焼却飛灰中の H_2O は Pb の不溶化効果の促進に寄与する重要な因子であると考えられる。

3-3 紫外線照射を用いた不溶化技術の再溶出の検討 図-4 に 56 日間 UV 照射させた後、所定の期間、気中に放置させた Pb 溶出濃度を示す。照射後に気中に曝すことで再溶出どころかむしろ、Pb 溶出濃度はさらに低下する傾向にあることが分かる。これは表-4 に示す pH から分かるように、UV 射時の pH よりも気中に放置時の pH が極めて低くなっていることから、焼却飛灰が気中の CO_2 を吸収するエージング効果が働き、Pb 溶出濃度が低下したと考えられる。この結果から、紫外線照射を用いた本不溶化技術は、不溶化処理後に再溶出する可能性は低いと考えられる。

4. まとめ 1) UVB は UVA に比べ僅かながら Pb 溶出濃度の低減効果が得られた。これは照度の影響と考えられる。2) 焼却飛灰を加水することで鉛の不溶化効果は促進し、その傾向は含水比が高いほど顕著である。3) 紫外線照射後に気中に放置した飛灰は炭酸化が進行し、鉛の濃度はさらに低下する傾向にあることから、再溶出の可能性は低いと考えられる。

謝辞 本研究は福岡大学総合科学研究「焼却灰の安定化と資源化(課題番号：

091501)」として実施された研究であり、関係各位に心より感謝申し上げます。

表-4 飛灰の初期含水比に着目した実験条件

照射日数 (日)	pH							放置日数 (日)	pH	
	含水比(%)					紫外線波長			再溶出 放置後	
	0	10	20	30	40	UVA	UVB			
0	12.51	12.45	12.45	12.27	12.46	12.38	12.23	0	11.75	11.75
3	12.26	12.08	11.96	12.03	11.99	—	—	3	—	—
7	12.21	11.98	12.00	11.94	11.89	12.41	12.18	7	11.76	11.71
14	—	—	—	—	—	—	11.91	14	—	—
28	12.17	11.56	11.76	11.74	11.88	—	—	28	—	—
42	12.29	11.67	11.69	11.81	11.94	—	11.86	42	10.48	—
56	12.04	11.64	11.62	11.63	11.75	12.25	11.67	56	10.68	—

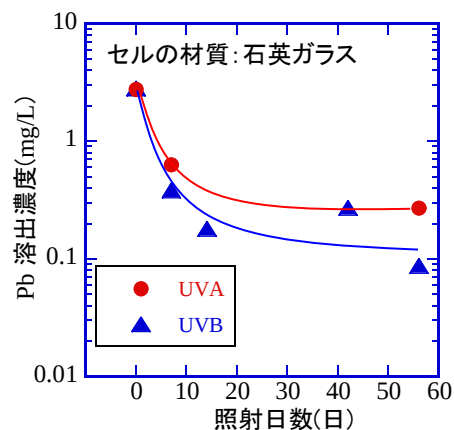


図-2 紫外線波長の影響

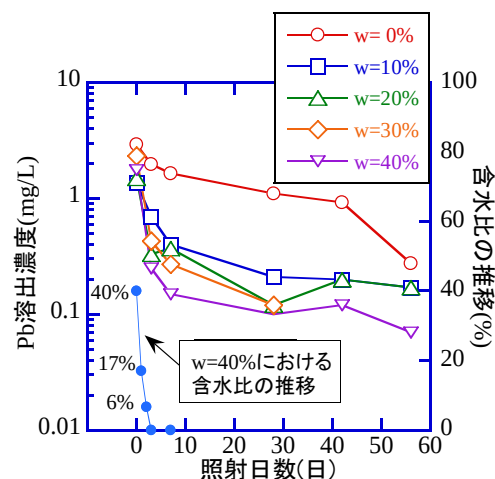


図-3 飛灰の初期含水比の影響

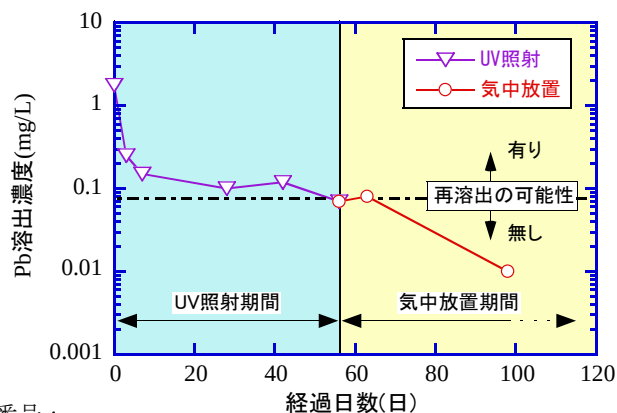


図-4 再溶出の検討

参考文献 1) 福田誠、木村智博、釜本英一、田口洋治：土壤重金属の不溶化技術，地盤工学会誌，Vol.58 No.9 ser.No.632, pp.52-53, 2010. 2) 例えば隈本ら：一般廃棄物焼却残渣中の TiO_2 が紫外線照射に伴う鉛不溶化効果に与える影響，土木学会第 66 回年次学術講演会, pp.293-294, 2011. 3) 特許第 4958928 号：焼却灰安定化法(佐藤・藤川), 2012. 4) 佐藤しんり：図解雑学光触媒，ナツメ社，2004.