

紫外線照射による一般廃棄物焼却飛灰中の鉛不溶化促進手法の検討

福岡大学工学部 学生会員 須本祥太 隈本祥多
福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗
(独)国立環境研究所 正会員 肴倉宏史 藤森 崇

1. はじめに 生活を営む上で排出される家庭ごみは、清掃工場で焼却処理されて一般廃棄物焼却主灰や一般廃棄物焼却飛灰(以後、焼却飛灰)となり埋立処理されている。これらの焼却残渣には、高濃度のダイオキシン類や重金属等が含まれているため、キレートを用いた薬剤による不溶化手法が施されている。しかしながら、このキレート処理は高コストであることや、長期の安定性が問題視されており、新しい安定化技術の開発が求められている¹⁾。そのような中、本研究では紫外線の光エネルギーに着目し、キレート処理に変わる新しい重金属不溶化技術の開発を行っている。これまでの研究において、一般廃棄物焼却主灰及び飛灰に紫外線を照射させることで、鉛の溶出濃度を低減できることを明らかにしており、そのメカニズムは光触媒反応によるものと結論付けている²⁾。本研究では、これまでの研究成果を応用させ短期間で鉛不溶化効果を得るための手法について検討を行ってきた。本報告では、紫外線照射エネルギー、試料の含水比、セル内のガス雰囲気は鉛不溶化効果促進に与える影響について報告する。

2. 実験概要 図-1 に光触媒反応による不溶化メカニズムについて示す。まず、紫外線を焼却飛灰中に存在する金属酸化物半導体である酸化チタンに照射することで、酸化チタン内部の電子が励起され、バンドギャップに移動する。次に、励起電子、正孔による酸化還元反応によってできた酸化力の強い物質によって溶解度の低い鉛化合物へと形態変化していると考えられている^{2),3)}。図-2 に本実験で用いた気体封入型紫外線照射装置を示す。この装置は、セル内に紫外線を満遍なく照射させることが可能であり、照射実験中に炭酸化が起こらないようにするためセル内を密閉することができ、任意の気体で置換できるという特徴を持つ。表-1 に本実験で用いた 10W 及び 20W の紫外線ランプ(TOSHIBA FL 10BLB)を示す。

2-1 紫外線照射エネルギーの影響 紫外線照射エネルギーが、光触媒反応促進に寄与するかを検証するため、焼却飛灰に 10W 20W の紫外線を照射させ所定の日数経過後、溶出試験を実施した。実験手順は、図-2 に示す 1 つのセル内に焼却飛灰 3g を薄く敷き装置に設置した。次に、表-2 に示す実験条件に従い、既定の日数照射させ、鉛が溶出しやすい pH12 の溶媒を用い、1 時間振とうを行った。その後、ろ過を行い検液作製し、ICP プラズマ発光分析装置を用い鉛を定量(JIS K 0120 54.3)した。

2-2 含水比及び置換条件の影響 光触媒反応の重要なプロセスであるヒドロキシラジカル反応(図-1)に着目し、自然状態(w=0%)及び湿潤状態(w=40%)に設定した焼却飛灰を用い、H₂O が不溶化に与える影響を検証した。また、スーパーオキシドイオン反応(図-1)に着目し O₂ が不溶化に与える影響を検証した。溶出試験手順については 2-1 と同様である。

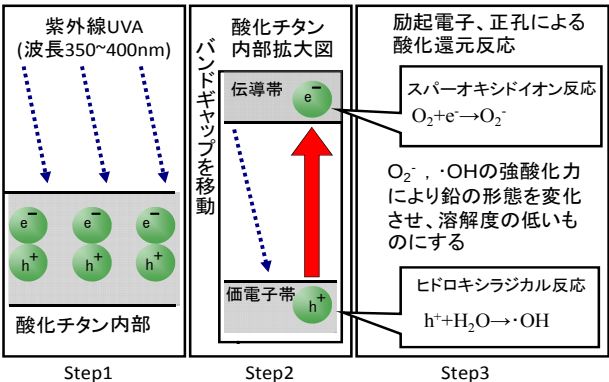


図-1 光触媒反応による不溶化メカニズム

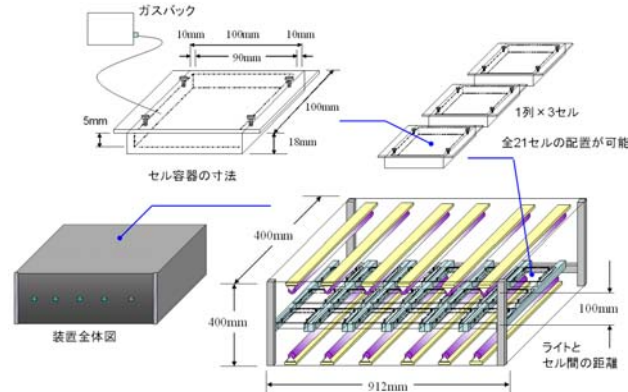


図-2 気体封入型紫外線照射装置

表-1 紫外線ランプの特徴

紫外線照射エネルギー	紫外線強度 (mW/cm ²)	紫外線照度 (LUX)
10W	0.99	84.03
20W	1.01	105.8

表-2 実験条件

試料	含水比	置換条件	紫外線波長	紫外線照射エネルギー	L/S	照射日数	pH	振とう時間
焼却飛灰	自然状態(w=0%) 絶乾状態(w=40%)	O ₂ N ₂	UVA	10W 20W	50	3,7,14,28,42,56	12	1

3. 実験結果

3-1 紫外線照射エネルギーが不溶化効果に与える影響

表-3 に各実験条件における最終 pH を示す。全ての実験条件において最終 pH は全て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。図-3 に紫外線照射エネルギーに着目した場合の溶出濃度低減効果を示す。両条件において照射に伴う鉛の溶出濃度低下が確認できる。しかし、紫外線強度の違い(10W 及び 20W)については、明確な差は見られていないと考えられる。光触媒反応には紫外線強度が寄与すると報告もあるため⁴⁾、紫外線強度の影響については今後更なる検討が必要である。

3-2 飛灰中の含水比が不溶化効果に与える影響

図-4 に含水比に着目した場合の溶出濃度低減効果、及び湿潤状態(w=40%)の焼却飛灰中の含水比の変化を示す。両条件において、溶出濃度低減効果は表れているが、特に、湿潤状態(w=40%)における溶出濃度低減効果が顕著に表れている。これは、前述したように焼却飛灰に含まれる H₂O がヒドロキシラジカル反応(図-1)を促進し、自然状態(w=0%)よりも・OH が多く発生し・OH の持つ強酸化力により低溶解度の鉛化合物を形成したと推察できる。また、含水比が急激に減少している照射 3 日までに溶出濃度低減が顕著に表れていることから、飛灰に含まれる H₂O が不溶化効果に影響を与えていると考えられる。

3-3 セルの内ガス雰囲気が一不溶化効果に与える影響 図-5 及び図-6 にセル内のガス雰囲気に着目した場合 (O₂ 及び N₂ 雰囲気下)の溶出濃度低減効果について示す。自然状態(w=0%)の場合 (図-5)においては、N₂ 置換において溶出濃度低下が表れた。これは、過去の研究により報告されている N₂ によるバンドギャップ縮小効果^{3),5)}が、O₂ によるスーパーオキシドイオン反応(図-1)よりも大きいと考えることができる。また、湿潤状態(w=40%)の場合(図-6)においては、両置換条件において明白な違いは表れなかった。これは、置換条件が与える影響よりも H₂O が与える溶出濃度低減効果が大きいためであると推察できる。3-2 3-3 の実験結果のまとめとして、表-4 に各実験条件における Pb の溶出濃度低減率について示す。表に示されているように、H₂O が不溶化促進に与える影響は大きく、自然状態(w=0%)の焼却飛灰においては、N₂ により不溶化促進効果が得られている。

4. まとめ (1)紫外線照射エネルギー10W 及び 20W において溶出濃度低下に明白な差は表れなかった。(2)焼却飛灰中の H₂O は、ヒドロキシラジカル反応を促進し、溶出濃度低下に寄与する。(3) O₂ または N₂ でセル内を満たした場合、O₂ によるスーパーオキシドイオン反応よりも N₂ によるバンドギャップ縮小効果が著しく表れ、光触媒反応が促進される。(4)セル内を N₂ で満たした場合及び湿潤状態(w=40%)の焼却飛灰を用いた場合に不溶化促進効果が最も得られる。

謝辞:本研究は「平成 23 年度 福岡大学白石学術研究基金事業」の一環で行ったものであり、ここに記して関係者各位に謝辞を表します

表-3 各実験条件における最終 pH

照射日数 (日)	pH					
	紫外線照射エネルギー		試料の含水比		ガス雰囲気下	
	10W	20W	自然状態 (w=0%)	湿潤状態 (w=40%)	O ₂	N ₂
0	12.380	12.380	12.513	12.490	12.513	12.490
3	12.373	12.397	12.260	11.990	12.380	12.110
7	12.277	12.257	12.210	11.890	12.330	12.020
14	12.080	12.097	12.095	11.780	12.480	12.055
28	11.820	11.993	12.165	11.875	12.400	11.975
42	11.810	12.033	12.290	11.935	12.355	11.940
56	11.640	11.937	12.035	11.750	12.015	11.725

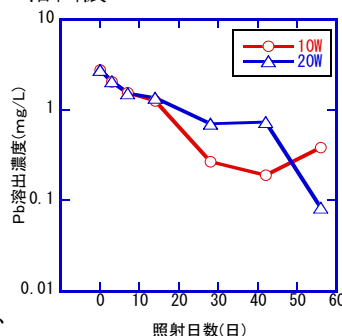


図-3 Pb の溶出に及ぼす紫外線照射エネルギーの影響

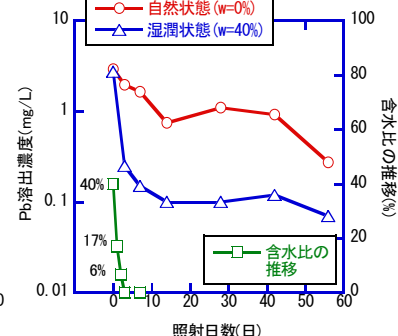


図-4 Pb の溶出に及ぼす含水比の影響 (N₂ 置換)

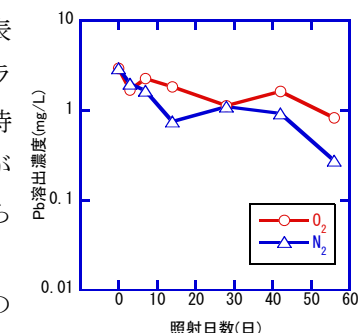


図-5 Pb の溶出に及ぼすガス雰囲気の影響 (自然状態 w=0%)

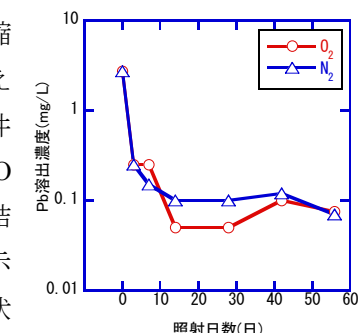


図-6 Pb の溶出に及ぼすガス雰囲気の影響 (湿潤状態 w=40%)

表-4 各実験条件の低減率 (%)

検討項目	含水比	
	自然状態 w=0%	湿潤状態 w=40%
雰囲気下	O ₂	71.9
	N ₂	90.6
		97.4

※100-(照射 56 日の Pb の溶出濃度 / 初期の Pb の溶出濃度) × 100

参考文献 1) 山本ら:飛灰の液体キレート剤による鉛安定化機構,第 11 回廃棄物学会論文集,pp892-894,2000. 2) 例えば隈本ら:一般廃棄物焼却残渣中の TiO₂ 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,pp293-294. 3) 図解雑学,光触媒,佐藤しんり編著,ナツメ社,2004. 4) 藤嶋ら,光触媒のしくみ,日本実業出版,pp128-129,2000 5) 吉田英史:「紫外線照射による一般廃棄物焼却残渣中の鉛不溶化効果に与えるガス雰囲気の影響」,平成 21 年度福岡大学社会デザイン工学科,卒業論文