一般廃棄物焼却灰からの水素ガス発生に及ぼす影響因子に関する基礎的研究

九州大学工学部 ○学生会員 三宅雅靖
九州大学大学院工学研究院 正会員 小宮哲平
九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡隆行

１．はじめに

我が国では一般廃棄物の約 75%が焼却処理され、年間約 448 万 t の一般廃棄物焼却残渣が発生し、その約 26%は再生利用されているが、残りの約 74%は最終処分場で埋立処分されている [1]。一般廃棄物焼却灰（以下、焼却灰と呼ぶ）は 4%程度の金属アルミニウムを含み、かつ強アルカリ性を示すため、焼却灰と水が接触すると、焼却灰中の金属アルミニウムと水の水和反応により、水素ガスが発生することが知られている [2]。また水和反応が進行すると、金属アルミニウム表面に水和物の層が形成され、金属アルミニウムと水の接触が妨げられることで、水素ガス発生が減少すると考えられている [3]。焼却灰から水素ガスを効率良く回収できれば、循環型社会の構築や新たなエネルギー源としての利用が期待できる。本研究では、水素ガス発生に影響を及ぼす因子の検討と水素ガス発生促進処理効果の検討を目的とする。

２．固液混合実験

２．１　試料

S 清掃工場にて焼却処理され、N 処分場にて埋め立てられる直前の焼却灰を 1 日風乾し、さらに 65℃で 1 日乾燥させ、実験に用いた。基本性状を**表-1** に示す。

焼却灰中の金属アルミニウムは 50μm 以上のものが存在する [4),5)]。水素ガス発生促進の方法として、焼却灰を 50μm 以下に粉砕することで、焼却灰中の金属アルミニウムを露出させ、水との接触を促すことができると考え、振動ミル(TI-100)を用いて 45μm 以下まで粉砕処理した。

表-1　試料の基本性状

項目	値
風乾前含水率(%)	21.7
真密度(g/cm³)	2.36
熱灼減量(%)	4.85
全アルミニウム含有量(%)	7.0
金属アルミニウム含有量(%)	3.9

２．２　実験方法

水素ガス発生に影響を及ぼす因子として、温度、液固比、撹拌強度が考えられる。本実験では、それらを変化させたケースと粉砕処理を行ったケースで固液混合実験を行った。**表-2** に実験条件を示す。焼却灰の量は 450g(ケース 6 及び 7 では 300g)とした。

表-2　実験条件

ケース	温度(℃)	液固比	撹拌強度(rpm)	粉砕処理
1	40	5	600	無
2	50			
3	60			
4	50	3		
5		5	400	
6			800	
7			600	有

図-1 に実験装置の模式図を示す。ファーメンタ(MBF-500ME)で焼却灰と純水を撹拌により固液混合した。ファーメンタのガス流出口から水素ガス濃度センサ(BCP-H2)と微小ガス流量計(MGC-1V3PMMA)を接続し、水素ガス濃度(1 分毎)と全ガス流出量(3.3ml の流出毎)を計測し、系外に流出する水素ガス量を把握した。実験後の系内の水素ガス濃度をガスクロマトグラフィ(検出器:TCD)で求め、系内水素ガス残存量を求めた。系外水素ガス流出量と系内水素ガス残存量の和を水素ガス発生量とした。3 つの撹拌翼の取付間隔は 2.5cm としたが、ケース 3、6、7 は全ての撹拌翼が水に浸るように 1.5cm とした。固液混合を行う前に系内のガスを窒素ガスで置換(1L/分、5 分)した。実験期間は水素ガスの発生が止まるまでとした。

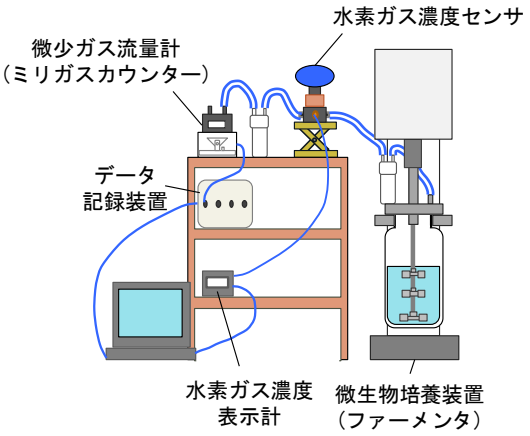

図-1　実験装置模式図

２．３　水素ガス発生の影響因子の検討

水素ガス発生量と全ガス流出量を比較すると、両者はほぼ等しかったことから、発生したガスはほぼ全量水素であると考えられるため、全ガス流出量は水素ガス発生量に等しいと捉えた。

表-3 に実験終了後の積算水素ガス発生量と実験終了後の積算水素ガス発生量の 80%に至るまでに要した時間を示す。

ケース 1～3 より、60℃のケースで最も積算水素ガス発生量が多かった。温度が高いほど積算水素ガス発生量が増加することが確認された。

表-3　水素ガス発生量及び速度

ケース	1	2	3	4	5	6	7
実験終了後の積算水素ガス発生量(L/kg)	8.38	7.72	9.25	11.73	10.52	11.28	8.68
実験終了後の積算水素ガス発生量の80%に至るまでに要した時間(時間)	70.6	75.4	129.6	112.8	127.2	67.2	0.5

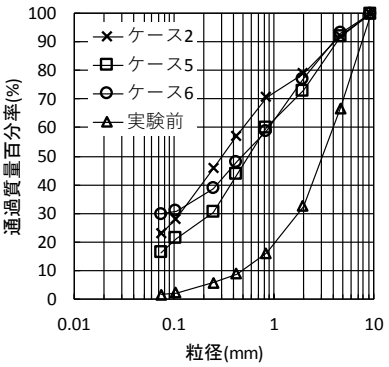

図-2　実験前後の粒度分布

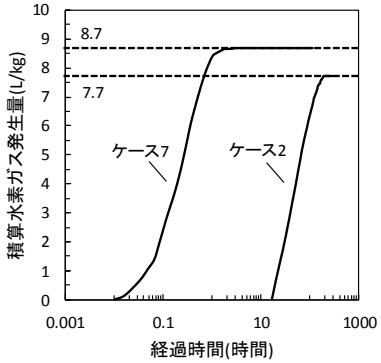

図-3　粉砕処理の効果

ケース 2 と 4 より、液固比を小さくしても、積算水素ガス発生量は減少しなかった。また、実験終了後の積算水素ガス発生量の 80%に至るまでに要した時間はケース 2 で 75.4 時間、ケース 4 で 112.8 時間であった。このことから、水素ガスの回収後の廃液処理量を少なくできる液固比 3 の方が良いと考えられた。

ケース 2、5 及び 6 より、撹拌強度が大きい方が積算水素ガス発生量が増加する傾向が見られた。**図-2** に実験後の焼却灰の粒度分布を示す。撹拌強度が大きくなると、焼却灰の粒径が小さくなっていることから、撹拌翼による焼却灰の破砕が生じていたことが示唆される。また、実験中に焼却灰が浮遊せずに沈殿している量の減少が目視で確認された。これらの 2 点より、撹拌強度が大きい方が金属アルミニウムと水の反応が起こりやすい環境であったと言える。

２．４　水素ガス発生促進効果の検討

表-3、図-3 に粉砕処理有無の 2 ケースの実験結果を示す。実験終了後の積算水素ガス発生量の 80%に至るまでに要した時間は、粉砕処理無(ケース 2)では 75.4 時間であったのに対し、粉砕処理有(ケース 7)では 0.5 時間であった。粉砕処理により水素ガス発生速度が 151 倍と大幅に向上した。粉砕処理による積算水素ガス発生量の大幅な増加は見られなかった。このことから、粉砕処理を行うことは、特に水素ガス発生速度を加速させる上で効果的である。

３．結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

1) 反応温度が高く、撹拌強度が大きい方が、水素ガス発生量は増加する。
2) 液固比 3 と 5 では水素ガス発生量に大きな違いは見られず、固液混合後の廃液処理量を少なくする観点から液固比は 3 の方が良いと考えられる。
3) 粉砕処理を行うことは水素ガス発生速度を加速させる上で効果的である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP16H04438 の助成を受けたものである。(株)タクマの皆様には当技術の実用化の観点から技術的助言を頂いた。記して謝意を表す。

[参考文献] 1)環境省, 環境統計集（平成 28 年版）, 4 章, pp.172, 2016. 2)高月紘, 集じん灰バンカー爆発事故の教訓, 廃棄物学会誌 Vol.5, pp.441-448, 1994. 3) 兒島洋一ら, アルミニウムの腐食のおはなし　その 6 , Furukawa-Sky Review, No.7, pp.38-44, 2011. 4)酒匂一樹ら, 都市ごみ焼却灰中の水素ガス発生に寄与する金属の存在形態に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 57(7), pp.887-888, 2013. 5) Amirhomayoun Saffarzadeh, et al., Aluminum and aluminum alloys in municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash: A potential source for the production of hydrogen gas, International Journal of Hydrogen Energy, 41, pp.820-831, 2016.