

## ごみ焼却施設から発生する主灰を貯留中に起こる小規模爆発の要因究明

加田平賢史、増田淳二

## Investigation of a cause of minute explosion in bottom ash pit of municipal waste incineration plant

Kenshi KATAHIRA, Junji MASUDA

## Abstract

A cause of minute explosion in bottom ash pit of municipal waste incineration plant was investigated. Hydrogen and methane were generated from bottom ash. As the amount of methane generation from bottom ash was low, hydrogen would be a cause of minute explosion in bottom ash pit. Reaction of hydrogen generation was promoted by high temperature. The amount of hydrogen generation from bottom ash would depend on the pH of the surrounding liquid. Bottom ash contains alkaline elements richly, and it is difficult to remove metal aluminum from bottom ash. To limit hydrogen generation from bottom ash is very hard in the current system that bottom ash after combustion is cooled off by dropping into the flight tank.

**Key words: bottom ash, municipal waste incineration, explosion, hydrogen, metal aluminum**

## I はじめに

ごみを焼却した際に発生する焼却灰(燃えがら(主灰)とばいじん(飛灰))は、適切な処理を行った後に搬出され、埋立処分される。しかし搬出前の主灰や飛灰を焼却工場内で貯留している際に、爆発が起きる事例[1-2]が報告されている。

昭和58年の某市ごみ焼却場における爆発事例[1]は、飛灰バンカーにおいてブリッジ現象を解消すべく点検口から鉄棒を使用して灰だまりを突き崩そうとした際に発生した。事故後の原因究明において、飛灰に水分を加えると可燃ガスである水素が発生することが明らかとなった。また、乾燥状態では水素は発生しなかった。飛灰中の金属アルミニウムが排ガス処理用アルカリ剤と反応して水素が発生したと考えられた。金属アルミニウムがアルカリ液中で水素を発生する反応としては、以下の化学式を例に挙げている。



平成7年の神奈川県清瀬市の清掃工場における爆発事例[2]は、灰落としシュートで断続的に水を流しながら長い突きノミでクリンカーを突き崩していた際に発生した。発生ガスの調査を行ったところ、主灰がpH12の水と共存すると水素が発生することが明らかとなった。灰落としシュートから注入した水に主灰中のアルカリ成分が溶け出して高アルカリとなり、その高アルカリの水とクリンカーや主灰中に含まれる高温のアルミニウムが化学反応して水素が発生したと推測された。

このように、上記の爆発事例では両者とも主灰または飛灰中のアルミニウムがアルカリ性の溶液と反応して水素が発生したと推測されている。特に主灰はアルカリ成分を多く含むことから、水と接触すると水が強いアルカリ性を示すようになり、主灰中のアルミニウムが反応して水素が発生しやすい環境にあるといえる。主灰の灰ピットで見られる小規模の爆発現象に水素が関係している可能性が考えられる。なお、水素の爆発限界は、4～75% [3]と非常に範囲が広い。

大阪市・八尾市・松原市環境施設組合の焼却工場では灰ピット(貯留槽)を開放系にして対応しているが、主灰の灰ピットでは小規模な爆発現象が見られる場合があり、爆発の原因究明と対策が必要となっている。そこで本研究では、主灰から発生するガスを確認して貯留槽での小規模爆発の原因を解明するとともに、ガス発生 の要因を調査した。また貯留槽での小規模爆発に影響する因子についても検討し、爆発を抑制するための対策についても言及した。

## II 実験方法

## 1) 試料

大阪市・八尾市・松原市環境施設組合のA工場において、平成26年7月から平成28年12月までの間で各年度に3回ずつ、フライト槽に落下後にフライトコンベアにより灰ピットに搬送される途中の主灰を採取した。また、平成27年には焼却後すぐのフライト槽に落下前の主灰

(乾灰)も採取した。主灰は 19 mm 以下に分級したものを実験に供した。

## 2) 金属アルミニウムによる水素発生の確認

金属アルミニウムがアルカリ性の水に接触することで、水素が発生するとされているが、pH 等の条件によってどの程度発生量が変化するかを調査した。アルミ箔(金属アルミニウム)を一定量(約 0.1 g)切り取り、空気 100 mL とともに 3 L 容量のポリ四フッ化エチレンバッグに封入した。蒸留水に水酸化ナトリウムを添加して pH をそれぞれ 9、10、11、12、13、13.4 に調整したアルカリ溶液を、それぞれのバッグ内に 10 mL 加えた。1 時間後、2 時間後、3 時間後にバッグ内の気体をガスタイトシリンジで 1 mL 採取し、TCD(熱伝導度型検出器)付きガスクロマトグラフで水素濃度を測定した。各条件での実験は 2 回ずつ行った。

## 3) 主灰から発生するガスの測定

A 工場で平成 26 年 11 月に採取した主灰をふるいで 19 mm 以下とし、その日のうちに以下の実験を行った。

3 L 容量のポリ四フッ化エチレンバッグに、主灰を 100 g と空気 250 mL を封入して蒸留水を 10 mL 添加した後 20 で保存した。1 日後にバッグ内の気体をガスタイトシリンジでそれぞれ 1 mL 採取し、TCD 付きガスクロマトグラフで水素濃度を測定した。また他に爆発原因のガス発生がないかの確認のために、FID(水素炎イオン化型検出器)付きガスクロマトグラフでメタン、エタン、エチレン、プロパン、プロピレン、イソブタン、ノルマルブタンを測定した。

## 4) 乾灰から発生する水素の測定

乾灰に水分を添加することで水素が発生するかを調査した。3 L 容量のポリ四フッ化エチレンバッグに、乾灰を 100 g と空気 250 mL を封入し、蒸留水を 0、10、20、30、40 mL 添加した後 20 で保存した。1 日後にバッグ内の気体をガスタイトシリンジでそれぞれ 1 mL 採取し、TCD 付きガスクロマトグラフで水素濃度を測定した。各条件での実験は 2 回ずつ行った。

## 5) 水素発生量への温度影響

主灰からの水素の発生量に、温度環境が影響するかを調査した。3 L 容量のポリ四フッ化エチレンバッグに、19 mm 以下の主灰を 100 g と空気 250 mL を封入し、4、20、40 で保存した。1 日後にバッグ内の気体をガスタイトシリンジでそれぞれ 1 mL 採取し、TCD 付きガスクロマトグラフで水素濃度を測定した。各条件での実験は 2 回ずつ行った。

## 6) 主灰下層への水素蓄積の確認

水素は軽くしかも分子拡散速度が非常に速い[4]ため、

今回のような発生量では開放空間において爆発限界である 4% 以上となることはほとんどないと考えられる。しかし、主灰の貯留槽において水素が原因と考えられる小規模な爆発現象がしばしば観測されている。この原因として、水素が貯留中の主灰の下層で拡散されずに蓄積していることが推測される。

そこで、採取してきた主灰をふるいで 19 mm 以下とした後バット上に開放系で放置し、2 日後と 3 日後、6 日後に検知管(測定範囲 0.05 ~ 0.8%)の先を主灰の下層まで挿入して蓄積されている水素が存在するかを調査した。また、検知管での測定時の主灰を採取し、水分を測定した。なお、バット中の主灰の層の厚さは 2.5cm であった。

## III 結果と考察

### 1) 金属アルミニウムによる水素発生の確認

金属アルミニウムにアルカリ溶液を添加した際に発生した水素の測定結果を表 1 に示す。表に示すように、pH が 12 以上になると金属アルミニウムが反応して水素が発生することが確認された。添加したアルカリ溶液の pH が高いほど、水素濃度が高かった。また、発生水素濃度は時間が経ってもほとんど増加しないことから、その化学反応は初期の早い段階である程度終了することが推測された。実際、pH13.4 の場合には、3 時間後には金属アルミニウムはほとんど溶解していた。

### 2) 主灰から発生するガスの測定結果

主灰に蒸留水を添加したものからは、水素とメタンが検出された(表 2)。主灰 1 g あたりの発生量は、ガス濃度が封入した空気 250 mL に対しての値であることから、逆算して求めた。メタンは微量であり、また爆発限界は 5 ~ 15% [5]であるため、貯留槽での爆発には関係ないと

表1 金属アルミニウムにアルカリ溶液を添加した実験の結果

添加液 pH	水素ガス濃度 (%)		
	1時間後	2時間後	3時間後
9	<0.1	<0.1	<0.1
	<0.1	<0.1	<0.1
10	<0.1	<0.1	<0.1
	<0.1	<0.1	<0.1
11	<0.1	<0.1	<0.1
	<0.1	<0.1	<0.1
12	0.7	0.9	0.9
	1.1	1.2	1.2
13	21	17	13
	23	23	23
13.4	60	60	58
	62	59	59

表 2 主灰から発生するガスの測定結果

ガス濃度 (%)		主灰1gあたり発生量(mL)	
水素	メタン	水素	メタン
18	0.047	0.54	0.0012
17	0.043	0.53	0.0011

考えられる。またエタン、エチレン、プロパン、プロピレン、イソブタン、ノルマルブタンは検出されなかった。これに対し、水素は発生量が多く、爆発限界は 4~75% [3] であることから、貯留槽の小規模爆発の原因であることが推測される。

### 3) 乾灰から発生する水素の測定結果

乾灰から発生した水素の測定結果を表 3 に示す。表 3 より、蒸留水の添加量が 0 mL の場合では水素は検出されなかったが、蒸留水を添加すると水素が発生し、蒸留水の添加量が多くなるにつれて水素の濃度が高くなった。そのため、焼却後の主灰は、水と接触することで水素を発生するようになることがわかる。ただし、蒸留水添加量が 20 mL 以上では、濃度の差は小さい。主灰 100 g に蒸留水を 20 mL 添加した場合の主灰の含水率は約 16.7% と計算されるが、その含水率でも水素が発生するには十分であり、それ以上含水率があがっても水素

表 3 乾灰から発生する水素の測定結果

蒸留水 (mL)	水素ガス濃度 (%)	乾灰1gあたり発生量(mL)
0	<0.1	-
	<0.1	-
10	35	1.3
	36	1.4
20	54	2.9
	66	4.9
30	64	4.5
	66	4.9
40	70	5.8
	68	5.4

の発生には大きく影響しないと考えられる。

### 4) 水素発生量への温度影響

温度環境を変えた主灰からの発生水素濃度の測定結果を表 4 に示す。表に示している日付は主灰の採取日であり、それぞれ採取日当日から実験を開始した。平成 26 年 11 月採取の試料では、設置ミスにより保存温度 4 の実験は 1 つ測定できなかった。

表より、採取日によって発生量に違いはあるが、温度が高いほど発生水素濃度が高くなっていった。そのため、温度が高いほど水素が発生する反応が進むと考えられる。主灰はフライト槽に落下させて冷却しているが、それでもまだ熱を保持したまま貯留槽へと運ばれた場合には、水素が発生する可能性が高くなると推測される。

### 5) 主灰下層への水素蓄積の結果

結果を表 5 に示す。表 5 には、調査時の主灰の含水率も示した。

表 5 より、2 日後においても水素濃度が 0.8% 以上と高かった。しかし 3 日後に主灰が乾燥して含水率が下がると、水素濃度も減少する傾向を示し、6 日後には検出されなくなった。これは、調査時の主灰から発生している水素を測定しているだけの可能性はある。しかし 3 日後においても検知管で十分検出できるだけの水素が存在しており、また金属アルミニウムによる実験で水素が発生する化学反応は初期の早い段階である程度終了することが推測されたため、調査時にそれだけの量の水素が発生しているとは考えにくい。また水素は拡散速度が非常に速く [4]、実験も開放系で行っていることから、一部は調査時に発生している水素を検出しているとしても、発生した水素が主灰の下層に蓄積される状況にあった

表 5 主灰下層の水素の測定結果

	含水率 (%)	水素ガス濃度 (%)
2日後	32	>0.8
3日後	26	0.05
6日後	14	<0.05

表 4 温度を変えた場合の主灰から発生する水素の測定結果

保存温度 (°C)	水素ガス濃度 (%)								
	平成26年			平成27年			平成28年		
	7月	9月	11月	7月	8月	11月	7月	10月	12月
4	12	5	12	7	8	9	20	14	15
	13	8	-	8	5	9	18	19	14
20	15	16	18	11	12	15	27	24	23
	21	10	17	10	13	14	28	19	23
40	59	17	32	27	26	30	58	43	36
	33	21	15	23	25	34	52	40	38

ために検出されたと考える方が妥当である。この水素の下層への蓄積には、2日後の含水率が32%と高い場合には水素濃度が0.8%以上と高かったことから、主灰の含水率が影響していると推測される。つまり2日後には0.8%以上もあった水素が3日後には0.05%にまで減少しているのは、含水率が減少したためにそれまで下層にあった水素が気中に放出された現象であると考えられる。

#### IV おわりに

本研究では、主灰を貯留中に発生する小規模爆発の要因について調査した。その結果、主灰から水素とメタンが発生していることを確認した。ただし、メタンは発生量が少ないため、貯留槽での小規模爆発は水素が原因であると考えられた。焼却後の主灰はそのままでは水素を発生することはないが、水と接触すると主灰中のアルカリ成分が溶け出してアルカリ性の溶液となり、その溶液と主灰中のアルミニウムが反応して水素が発生していると考えられた。

また、主灰が接する溶液のpHが高いほど水素の発生量は多くなった。主灰中には多量のアルカリ成分が存在し、また金属アルミニウムの除去も困難であるため、フライト水槽に主灰を浸して冷却する現在のシステムでは、主灰からの水素の発生を抑制することは非常に難しいと考えられる。

水素は拡散速度が非常に速い<sup>[4]</sup>が、主灰の含水率が高いと主灰の下層に蓄積されることが推測された。貯留槽での小規模爆発は、この蓄積された水素に、何らかの拍子で引火して爆発していると考えられる。この引火は、クレーンで主灰を攪拌する際などに発生する静電気が原因だと思われる。

以上のように、主灰からの水素の発生は抑制しにくく、また発生した水素も蓄積されるため、貯留槽での小規

模爆発を防ぐことは非常に難しい。そのため、貯留槽での小規模爆発を抑制するには、水素への引火や爆発が発生しない環境作りを目指す必要がある。設備の改造を伴わずに実行できることとしては、発生した水素がすぐに拡散されるよう、貯留中の主灰を随時クレーンで攪拌することが有効であると考えられる。主灰の攪拌頻度を高めることで、水素の集積を防ぐことができ、また主灰が冷めやすくなるなどの効果も期待できる。

**謝辞** 本研究は、平成26年度から平成28年度にかけて、大阪市・八尾市・松原市環境施設組合施設部建設企画課(平成26年度当時は大阪市環境局施設部建設企画課)からの受託研究として行いました。本研究を実施するにあたり、大阪市・八尾市・松原市環境施設組合施設部建設企画課の方々に大変お世話になりましたことを深謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 高月紘. 集じん灰バンカー爆発事故の教訓. 廃棄物学会誌 1994; 5: 441-447.
- 2) 安田憲二, 竹生田秀夫, 宮川隆, 清水保夫. 神奈川県的一般廃棄物焼却施設における水素ガス爆発事故. 安全工学 1997; 36(3): 183-187.
- 3) 三宅淳巳. 水素の爆発と安全性. 水素エネルギーシステム 1997; 22(2): 9-17.
- 4) 水素・燃料電池実証プロジェクト. 正しく知りたい、水素の”安全性”. JHFC コラム - 水素の話, 第3回. <http://www.jari.or.jp/portals/0/jhfc/column/story/03/>
- 5) 国立医薬品食品衛生研究所. 国際化学物質安全性カード. ICSC 番号 0291.