

10万Bq/kgを超える放射性物質に汚染された廃棄物の処分の方法について

放射性物質汚染対策特措法の廃棄物の処分基準（案）に基づき、遮断型処分場を基に、今後詳細な処分方法を検討する。

1 想定される廃棄物による対応の違い

	特措法に基づく遮断型処分	(参考) ピット処分
想定濃度	最大でも数 100 万 Bq/kg 程度の汚染レベルを想定	最大 1000 億 Bq/kg の汚染レベルを想定
想定物質	セシウムを基本とした機能を有することが必要	複数の物質の挙動全てに対応できる機能が必要

2 構造の比較

	特措法に基づく遮断型処分	(参考) ピット処分
構造	コンクリート製の外周仕切設備を設けた遮断型処分場で処分埋立処分を終了する場合（小区画に係る埋立処分の終了を含む。）には、十分な放射線防護の効力を有する覆い等により開口部を閉鎖	深さ 50m 未満の地下に外周仕切設備（コンクリートピット）を設けて処分
イメージ		

※ 遮断型処分場の構造基準

- 遮断型最終処分場は、廃棄物中の有害物質を自然から隔離するために、処分場内への雨水流入防止を目的として、覆い（屋根等）や雨水排除施設（開渠）が設けられる。
- 産業廃棄物を貯留して周辺環境と遮断する設備として、外周仕切設備（一軸圧縮強度が 25N/mm^2 以上の水密性鉄筋コンクリートで厚さが 35cm 以上）が設けられる。
- 埋立面積 50m^2 又は埋立容量 250m^3 を超える場合には、内部仕切設備（外周仕切設備と同等の仕様）を設け、1 区画が埋立面積 50m^2 又は埋立容量 250m^3 を超えないように区画割をしなければならない。
- 埋立処分が終了した区画は、外周仕切設備等と同様仕様の覆いにより完全密封する。

災害廃棄物の広域処理における溶融処理の考え方について（案）

（広域処理推進ガイドラインに追加すべき内容）

1. 災害廃棄物の溶融処理について

災害廃棄物の広域処理を行う際、受入側地方公共団体において通常の焼却処理ではなく溶融処理が導入されている場合には、処理後には溶融スラグと溶融飛灰が生じることになる。溶融飛灰については、通常の焼却処理同様、処分の安全性を確認する必要がある一方、溶融スラグについては再生利用の観点も考慮する必要がある。

そこで、溶融炉から生じる溶融飛灰の処理と溶融スラグの再生利用の考え方について整理する（溶融スラグ、ガス化溶融炉の概要についてはそれぞれ別添 1, 2 を参照）。

2. 溶融飛灰の処分の考え方

溶融飛灰の安全な処分の観点からは、広域処理推進ガイドラインで既に示している、「Ⅲ 災害廃棄物の焼却処理に関する評価」と同様に、溶融飛灰の濃縮率を設定し、すべての放射性物質が飛灰に移行するものとの安全側の仮定を置いて、飛灰中の放射性セシウム濃度を算定し、これが8,000Bq/kg以下であること確認することとなる。

この場合の溶融飛灰の発生割合は、どの種類の炉でも3%を超えている（別添 3 表 2 参照）ことから、ガス化溶融炉の放射性セシウムの濃縮率をストーカ式の焼却炉と同じ33.3倍とすれば安全側で評価できる。ただし、飛灰の発生を抑制しスラグの生成を増やすために溶融飛灰を再度炉に投入している場合は、濃縮率はこれより高くなる場合があるため、該当する施設は投入廃棄物量に対する溶融飛灰の発生割合を確認することが望ましい。

3. 溶融スラグの再生利用の考え方

溶融スラグの再生利用の観点については、広域処理推進ガイドラインで既に示している、「Ⅱ 災害廃棄物の再生利用に関する評価」を参考に、製品としてのスラグ中の放射性セシウム濃度がクリアランスレベル100Bq/kgを満足する場合について評価すると、次のようになる。

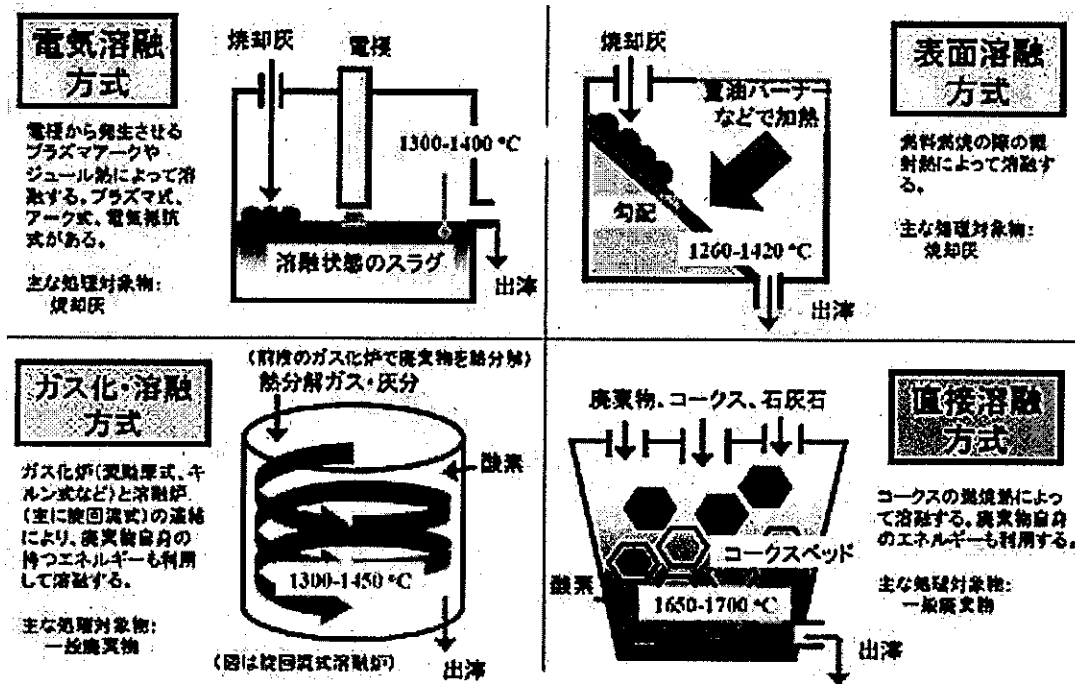
- ① 既存の溶融炉における実測データによれば（別添3表4参照）、溶融スラグへの放射性セシウムの分配率（廃棄物中に含まれる放射性セシウムがスラグに移行する割合）は、流動床式で約8%、シャフト式で約3%となっている。いずれの方式でも放射性セシウムの9割以上は溶融飛灰に移行しており、スラグに移行する割合は低い。
- ② 一方、これらの施設における溶融スラグの発生割合（投入廃棄物量に対するスラグ発生量の割合）は、流動床式で約5%、シャフト式で約10%となっており（別添3表2参照）、分配率と考え合わせると、溶融スラグ中の放射性セシウム濃度は、流動床式の場合、投入廃棄物中の放射性セシウム濃度から増加する可能性があるが、シャフト式の場合は、相当程度低下することが見込まれる（別添3表4参照）。
- ③ 例えば、広域処理対象となる岩手県の災害廃棄物の放射能濃度の測定結果は、可燃物で不検出～104 Bq/kgであり、シャフト式であれば全量災害廃棄物であっても、溶融スラグはクリアランスレベルを十分満足できると考えられ、また、流動床式であっても適切な災害廃棄物の混焼割合を設定すればクリアランスレベルを満足できると考えられる。

なお、溶融スラグは、そのまま利用されるのではなく、別添4に示すように、コンクリート骨材やアスファルト混合物として利用される場合も多く、その場合は、最終的に利用される製品（コンクリート、アスファルト）として、クリアランスレベルを満足すべきものであることに留意が必要である。

また、別添3に記載したように、ここでは溶融副資材（コークス、石灰等）の寄与は考慮されていないので、今後のデータ蓄積に応じて、適宜検討を加えることが必要である。

溶融スラグの概要

溶融スラグとは、廃棄物を約 1,300 度以上の高温に保った炉の中で溶融し、これを空气中や水中で冷却固化して得られる生成物を言う。炉の形式や熱の与え方の違いにより、様々な溶融方式があり（図 1）、そのいずれかによって、ほとんどの廃棄物を溶融スラグ化することが可能である。



出典：国立環境研究所ニュース、第 27 巻、4 号、環境問題基礎知識

図 1 様々な溶融方式

溶融処理技術は、特に、一般廃棄物（自治体が収集する廃棄物で、家庭ごみを中心）の処理において、溶融炉を焼却炉に併設したり（焼却灰溶融の場合）、焼却炉に置き換える形で（ガス化・溶融や直接溶融の場合）、近年急速に普及している。一般廃棄物溶融スラグの発生量は年間約 60 万トンで、一般廃棄物焼却灰（約 600 万トン）の 10%にも相当する。また、溶融施設の数は、一般廃棄物で 158 施設、下水汚泥、産業廃棄物を含めると約 200 施設*と見積もられている（数字はいずれも 2005 年：(社) 日本産業機械工業会調べ）。

【引用文献】

国立環境研究所ニュース、第 27 巻、4 号、環境問題基礎知識

* (社) 日本産業機械工業会の最新データ（2011 年版）によると溶融施設数は 237 施設

ガス化溶融炉について

ガス化溶融とは、ごみを熱分解し、生成した可燃性ガスとチャー（炭状の未燃物）をさらに高温で燃焼させ、その燃焼熱で灰分・不燃物等を溶融する技術であり、ダイオキシン類の発生を抑制し、廃棄物を減容化するとともに溶融固化物であるスラグも回収・リサイクルできる点が特長である。

ストーカ式などの廃棄物焼却施設においては、処理残さである焼却灰を溶融して資源化する場合、そのための焼却残さ溶融施設等を併設して処理する必要があるのに対し、ガス化溶融施設では、一つのプロセスでこの機能を達成することができる。

ガス化溶融施設は、1980年代以降のダイオキシン問題や最終処分場の逼迫を背景に、2000年代に入り相当数の施設が稼動し始めた。

ガス化溶融施設の種類を表1に示す。ガス化溶融施設は、ガス化と溶融を1つの炉で行う一体方式と別々に行う分離方式に大別される。加熱方式には、廃棄物を熱分解する際に、高温のガスで直接加熱する直接式と間接的に加熱する間接方式とがある。一体方式にはシャフト式があり、分離方式で直接加熱方式としては流動床式があり、間接加熱方式としてはキルン式がある。

表1 ガス化溶融施設分類

方式	代表的な形式	加熱方式
一体方式	シャフト式	直接
分離方式	流動床式	直接
	キルン式	間接

出典：(社)全国都市清掃会議「ごみ処理施設整備の計画・設計要領（2006改訂版）」

(1) シャフト式

図1にシャフト式ガス化溶融設備のフローを示す。

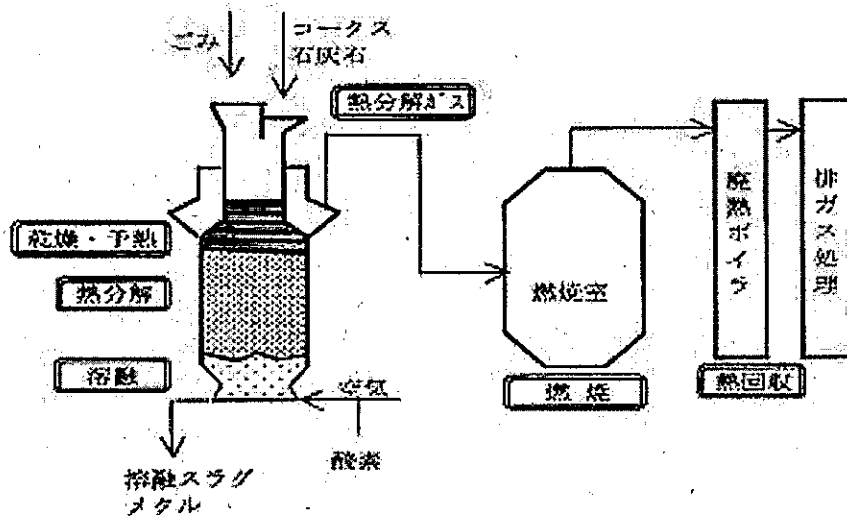
シャフト式ガス化溶融設備の特徴は、高炉技術を廃棄物焼却に応用した技術となっている点である。その代表的な処理工程では、ごみが、コークス、石灰石とともに炉の頂部から投入され、シャフト炉下部から上昇してくる高温排ガスで熱分解を受ける。不燃物は、熱分解カーボンとコークスを熱源として、1500℃以上の高温で溶融される。

シャフト式は、キルン式、流動床式とは異なり、シャフト炉の中でガス化と溶融を行う一体式となっている。その技術的な工夫としては以下の3点が挙げられる。

- [1] シャフト炉から発生する未燃物である飛灰を捕集し、シャフト炉下部から吹き込んで再利用することでコークス量を削減する。
- [2] 廃棄物を間欠的に投入することによって発生蒸気と発電の安定性を確保し、熱分解コ

ントロールを行う。

[3] コークスを熱源として用いるのと同時に、廃棄物を効率的にガス化するために、炉底部に形成させたコークス層の上に廃棄物を堆積させ、均一な空隙を持つ廃棄物層を形成させる。



出典：(社)全国都市清掃会議「ごみ処理施設整備の計画・設計要領(2006改訂版)」

図1 シャフト式ガス化溶融炉システムのフロー例

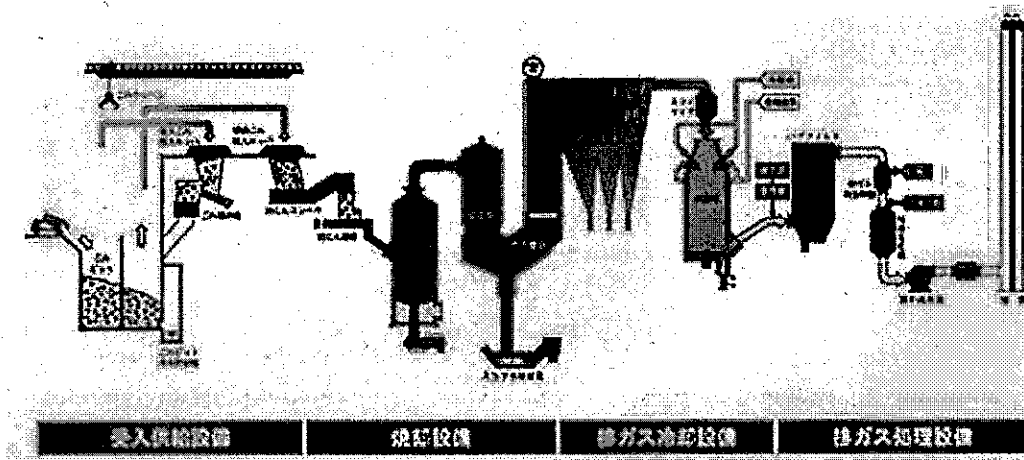
(2) 流動床式

図2に流動床式ガス化溶融施設のフローを示す。

この方式では、ごみを流動床式ガス化炉(充填した砂に空気を吹き込んで砂を流動状態にした炉)に投入して、その一部を部分燃焼させ、燃焼熱を利用して可燃物を可燃ガスと灰に熱分解する。可燃ガス、未燃分を後段の溶融炉で完全燃焼させ、その燃焼熱によって灰を溶融スラグ化する。

流動床式ガス化溶融施設の主な特長として以下の点が挙げられる。

- [1] 砂は熱容量が大きいため高負荷で処理することできるとともに、堅型炉であることから、省スペース化を図ることができる。
- [2] ごみ中の鉄、アルミは合金メタルにならず、またガス化炉内の砂で磨かれるとともに酸化されずに分離できるため、資源価値の高い金属として回収できる。



出典：(株)神鋼環境ソリューション「流動床式ガス化溶融炉」

図2 流動床式ガス化溶融施設のプロセスフロー

(3) キルン式

図3にキルン式ガス化溶融設備のフローを示す。

この方式では、ロータリーキルンと呼ばれる回転式の炉の中で廃棄物を間接的に加熱して分解し、後段の溶融炉で溶融する。廃熱は回収されて利用されるほか、溶融後に得られたスラグも回収して、路盤材等にリサイクルすることができる。

キルン式ガス化溶融設備の特徴は、ごみの滞留時間が1～2時間と長く、時間をかけてガス化を行うことから、廃棄物の組成の変動の影響をあまり受けずに均質的な熱分解生成物を得られることである。また、キルン式ガス化設備の必要熱量は概ねごみ発熱量の20～30%であり、次式で表される。

$$(\text{必要熱量}) = (\text{ごみ中の水分蒸発潜熱}) + (\text{ごみ自体の温度上昇顕熱}) + (\text{熱分解熱})$$

この必要熱量を得るためには、以下の3つの方法があり、これらの組合せによるものもある。

- [1] 燃焼溶融炉出口排ガスから熱回収する
- [2] 熱分解ガスを燃焼させた排ガスを熱源とする
- [3] 外部燃料を燃焼させた排ガスを熱源とする

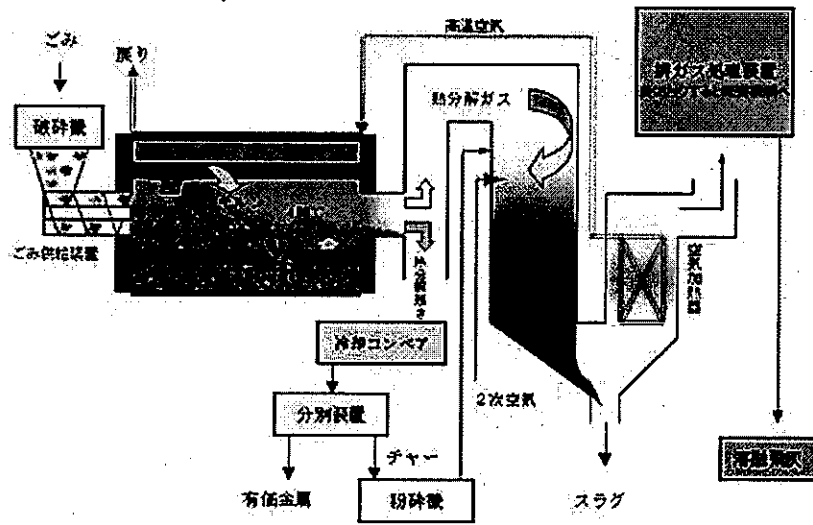


図3 キルン式ガス化溶融炉システムのフロー例

【引用文献】

国立環境研究所、環境技術解説

溶融スラグ、溶融飛灰の放射性物質濃度の推計方法

焼却灰等の放射性物質濃度は、処理する廃棄物の放射性物質濃度に、対象とする焼却灰等（スラグや溶融飛灰等）への濃縮率と放射性物質の分配率（移動率）を乗じて推計することが考えられ、スラグ、溶融飛灰の放射性物質濃度は以下のように定義できる。

スラグの放射性物質濃度

＝災害廃棄物の放射性物質濃度×放射性セシウムのスラグへの濃縮率

×放射性セシウムの溶融飛灰への分配率

＝災害廃棄物の放射性物質濃度×（1/スラグの発生割合）

×放射性セシウムの溶融飛灰への分配率

ここに、スラグの発生割合＝スラグ発生量／ごみ焼却量

溶融飛灰の放射性物質濃度

＝災害廃棄物の放射性物質濃度×放射性セシウムの溶融飛灰への濃縮率

＝災害廃棄物の放射性物質濃度×（1/溶融飛灰の発生割合）

ここに、溶融飛灰の発生割合＝溶融飛灰発生量／ごみ焼却量

※ 溶融飛灰への分配率が極端に高く、すべての放射性物質が溶融飛灰に移行するものと安全側の仮定

以下では、統計データ^{1,2}及び環境省が16都県から提供を受けた廃棄物処理施設の放射性物質濃度測定結果等をもとに、溶融方式別の発生割合、分配率を整理し、スラグ、溶融飛灰の放射性物質濃度の推計方法について考察する。

なお、以下の推計においては、溶融副資材（コークス、石灰等）の寄与は考慮されていないが、正確にはこれらの寄与について考慮することが必要となる。したがって、今後のデータ蓄積に応じて、適宜この推計方法について検討を加えることが必要である。

1 スラグ、溶融飛灰の発生量及び発生割合

「ごみ焼却施設台帳(平成21年度版)」をもとに、ガス化溶融施設のスラグ及び溶融飛灰の発生割合を整理した。

同台帳によると、全連続燃焼方式により廃棄物を処理している施設は全国で626施設あり、このうちガス化溶融施設を有している施設は101施設である。溶融方式別にはシャフト式48施設、流動床式36施設、キルン式14施設、その他3施設となっている。これらの

¹ ごみ焼却施設台帳(平成21年度版)、(財)廃棄物研究財団、平成23年3月

² 2010年度版 エコスラグ有効利用の現状とデータ集、(社)日本産業機械工業会エコスラグ利用普及委員会、平成23年6月

うち、ごみ焼却量及び（溶融）スラグ排出量、溶融飛灰排出量が把握可能であったのは、表1に示すように68施設であった。

表1 廃棄物処理量等のデータが得られた施設数

溶融方式 \ 施設数	全データ※	スラグ等発生量 把握可能
シャフト式	48 施設	33 施設
流動床式	36 施設	26 施設
キルン式	14 施設	9 施設
その他	3 施設	
計	101 施設	68 施設

※「ごみ焼却施設台帳(平成21年度版)」より、全連続燃焼方式の焼却施設のうちガス化溶融施設を有する施設を抽出。

ごみ焼却量及びスラグ排出量等が把握可能であった68施設のデータは別紙1のとおりである。これらのデータより、スラグ及び溶融飛灰の発生割合を次のように定義すると、それぞれの発生割合は表2のとおりとなる。

$$\text{スラグ発生割合} = \text{スラグ発生量}[\text{t/年}] / \text{ごみ焼却量}[\text{t/年}]$$

$$\text{溶融飛灰発生割合} = \text{溶融飛灰発生量}[\text{t/年}] / \text{ごみ焼却量}[\text{t/年}]$$

表2に示すように、スラグの発生割合は、シャフト式で9.6%であり、流動床式はシャフト式の約1/2の4.6%であった。溶融飛灰の発生割合は各溶融方式とも3~4%前後である。

なお、スラグの発生割合をメーカー団体にヒアリングした結果を表2に()書きで示しているが、今回整理した結果とほぼ同程度の発生割合であった。

表2 スラグ、溶融飛灰の発生割合

溶融方式	スラグ (ヒアリング)	溶融飛灰
シャフト式	9.6% (11%)	4.0%
流動床式	4.6% (5%)	3.8%
キルン式	6.8% (7%)	3.4%

2 スラグ、溶融飛灰の分配率

分配率算定のためには、放射性物質濃度（ここでは放射性セシウム濃度）のデータが必要である。ここでは16都県からデータ提供を受けた各施設の放射性セシウム濃度測定結果を用いた。

別紙2は16都県のガス化溶融施設全24施設に、スラグ及び溶融飛灰の放射性セシウム濃度測定結果をマッチングして整理したものである。このうち、スラグ、溶融飛灰の放射性セシウム濃度が共に測定されており、かつ検出限界値以上の値が測定された施設は計8施設、19データであった（表3）。

別紙2よりスラグ及び溶融飛灰の放射性セシウム濃度の傾向を概観すると、以下のとおりとなる。

- ・シャフト式における放射性セシウム濃度は、溶融飛灰においては百オーダーから数千オーダーと差が大きい。スラグについてはいずれの施設においても数十 Bq/kg 程度であり、スラグへの残留濃度は一定量程度に収まっている。
- ・この傾向は、溶融飛灰の放射性セシウム濃度が極端に高い流山クリーンセンターを除けば流動床式においても見られ、スラグの放射性セシウム濃度は100～200Bq/kg程度でほぼ同レベルである。

表3 放射性セシウム濃度データが得られた施設数及びデータ数（16都県）

溶融方式 \ 施設数	施設数	データ数
シャフト式	4 施設	7
流動床式	4 施設	12
キルン式	0 施設	0
計	8 施設	19

放射性セシウムのスラグ及び溶融飛灰への分配率を次のように定義すると、スラグ、溶融飛灰の分配率は、別紙2及び表4のように整理できる。

なお、キルン式については、放射性物質濃度のデータが得られなかったため、分配率は空欄としている。さらに、表4には濃縮率も合わせて示した。

スラグの放射性物質量[Bq/日]=

スラグの放射性セシウム濃度[Bq/t]×スラグ発生量[t/日]

溶融飛灰の放射性物質量[Bq/日]=

溶融飛灰の放射性セシウム濃度[Bq/t]×溶融飛灰発生量[t/日]

放射性物質総量[Bq/日]=

スラグの放射性物質量[Bq/日]+溶融飛灰の放射性物質量[Bq/日]

$$\begin{aligned} \text{放射性セシウムのスラグへの分配率[\%]} &= \frac{\text{スラグの放射性物質質量[Bq/日]}}{\text{放射性物質総量[Bq/日]}} \\ \text{放射性セシウムの溶融飛灰への分配率[\%]} &= \frac{\text{溶融飛灰の放射性物質質量[Bq/日]}}{\text{放射性物質総量[Bq/日]}} \end{aligned}$$

表4 スラグ、溶融飛灰の放射性物質濃度推計のためのパラメータ

溶融方式	スラグ		溶融飛灰	
	発生割合	分配率	発生割合	分配率
シャフト式	9.6%	3.1%	4.0%	96.9%
流動床式	4.6%	8.4%	3.8%	91.6%
キルン式	6.8%	—	3.4%	—

これらのパラメータ（濃縮率、分配率）を用いることにより、対象とする災害廃棄物の放射性物質濃度が分かれば、ガス化溶融施設において処理後のスラグ、溶融飛灰の放射性物質濃度を推計することが可能と考える。

【再掲】

スラグの放射性物質濃度

$$\begin{aligned} &= \text{災害廃棄物の放射性物質濃度} \times \text{放射性セシウムのスラグへの濃縮率} \\ &\quad \times \text{放射性セシウムの溶融飛灰への分配率} \\ &= \text{災害廃棄物の放射性物質濃度} \times (1/\text{スラグの発生割合}) \\ &\quad \times \text{放射性セシウムの溶融飛灰への分配率} \end{aligned}$$

ここに、スラグの発生割合 = スラグ発生量 / ごみ焼却量

溶融飛灰の放射性物質濃度

$$\begin{aligned} &= \text{災害廃棄物の放射性物質濃度} \times \text{放射性セシウムの溶融飛灰への濃縮率} \\ &= \text{災害廃棄物の放射性物質濃度} \times (1/\text{溶融飛灰の発生割合}) \end{aligned}$$

ここに、溶融飛灰の発生割合 = 溶融飛灰発生量 / ごみ焼却量

※ 溶融飛灰への分配率が極端に高く、すべての放射性物質が溶融飛灰に移行するものと安全側の仮定

災害廃棄物を受け入れた場合のスラグの放射能濃度の評価

熔融スラグの再生利用については、「一般廃棄物の熔融固化物の再生利用に関する指針」（環境省、平成 19 年 9 月）により技術的な指導が行われている。

同指針によれば熔融スラグの用途は以下のものとされている。

- ①路盤材（下層路盤材、上層路盤材）、加熱アスファルト混合用骨材
- ②コンクリート用熔融スラグ骨材（コンクリート二次製品用材料含む）
- ③埋め戻し材、路床材等

また、再生利用に当って土壌や地下水の汚染等を生じることがないように、熔融スラグに係る目標基準が設定されている。これらは、日本工業規格と同レベルのものであり、これを満たせば当該用途に用いる場合に安全と考えられるものである。

- ①路盤材、加熱アスファルト混合物用骨材

日本工業規格 A5032 に適合していること。

- ②コンクリート用熔融スラグ骨材

日本工業規格 A5031 に適合していること。

- ③埋め戻し材、路床材等

日本工業規格 A5032 の 4.2(有害物質の溶出量と含有量)の基準に適合していること。

また、利用に当たっては、用途に応じて、強度、耐久性等の品質も満たす必要がある。

上記の日本工業規格については、重金属の溶出、含有量基準に適合していること、また物性（化学成分、物理性状、膨張性、アルカリシリカ反応性、粒度）について規定されている。

なお、再生利用される際のそれぞれの製品の混合率については以下のようなガイドラインの事例がある。これらの有効利用方法は自治体の公共事業に用いられる際には地域によって異なる基準が用いられているのが実情であるが、本資料が一応の目安となる。

表1 スラグの再利用用途別の混合率等

再利用用途	混合率	備考
①プレキャストコンクリート製品の細骨材	熔融スラグ細骨材混合率は、質量比 50%以下とすることを標準とする。 (JIS A 5031 解説)	熔融スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の水セメント比は 55%以下とする。
②アスファルト混合物	熔融スラグ細骨材混合率は、質量比 10%以下とすることを標準とする。	配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験により行い、マーシャル特性値から最適アスファルト量を求める
③埋め戻し材等	熔融スラグは砂状であるため、スラグ単独または砂と混合して利用する。	スラグ単独で使用する場合は締め固め度が小さい傾向があるため、施工時に注意する必要がある。

出典) 熔融スラグの有効利用に係るガイドライン、ゼロエミッション社会を目指す技術開発委員会、
廃棄物・熔融スラグ利用技術専門部会

上記のガイドラインに従うとした場合、プレキャストコンクリート製品に含まれる熔融スラグの割合は 50%以下であるから、コンクリート製品の放射線濃度は熔融スラグの放射線濃度の 1/2 以下となると判断される。同様にアスファルトの放射線濃度は熔融スラグの放射線濃度の 1/10 以下となる。さらに、埋め戻し材はスラグ単独で用いられる場合には希釈の効果はないことになる。

製品の安全度の評価は、上記の計算によって再製品中でどの程度の再生スラグが利用されるか（混入率）を評価して、製品中の濃度をクリアランスレベルと比較することで評価できる。

広域処理推進ガイドラインで示しているとおり、製品中の放射性物質濃度がクリアランスレベル（100Bq/kg）を満足していれば、広く一般に再生利用できることになるが、このクリアランスレベルを基準に考えると、プレキャストコンクリート製品に質量比 50%でスラグを再利用する場合、スラグの放射性物質濃度は 200Bq/kg まで利用可能。また、アスファルト混合物としての再利用する場合、スラグの質量比を 10%とすると、スラグの放射性物質濃度は 1,000Bq/kg 以下まで利用可能である。

放射性物質を含む可燃性廃棄物（廃稲わら等）の焼却について

1. 焼却処理の必要性

放射性物質を含む可燃性廃棄物については、処理を行うまでの一時保管が長期化すると、火災や腐敗等の問題が生じるおそれがある。特に火災が発生した場合には、大気中への放射性セシウムの拡散は制御できず、その後の環境移動や濃縮も起こることとなる。こうした移動による影響が懸念されるため、制御可能な方法での処理をできる限り速やかに行うことが必要である。

適切な排ガス処理設備を備えた焼却処理施設において、放射性物質を含む廃棄物が安全に焼却でき、排ガス処理で放射性セシウムを十分除去できることは、別添に示すように、災害廃棄物安全評価検討会において確認がなされてきており、多くの施設の実測データにより裏付けがなされている。

したがって、放射性物質を含む可燃性廃棄物については、焼却による減容化を行った上で、焼却灰を適正に処分することが、環境中に拡散した放射性物質による被ばくリスクを低減する上で有効と言える。

一方で、可燃性廃棄物のうち例えば廃稲わらでは、生活ごみに比べて高濃度の放射性物質を含む場合もあることから、これらの焼却については安全性を確認していく必要がある。

そこで、以下に、安全性の確認を行いつつ、放射性物質を含む可燃性廃棄物の焼却処理を進めていくための考え方を整理する。

2. 放射性物質を含む廃棄物の焼却実績

環境中に広く拡散した放射性物質は、市町村等が収集・処理を行う廃棄物にも混入しており、結果的に、多くの一般廃棄物焼却施設において、放射性物質を含む廃棄物の焼却処理を余儀なくされている。

その結果、これまでの実測データから、市町村等の一般廃棄物焼却施設においては、別紙に示すとおり、放射性物質濃度の高い場合で、平均数百 Bq/kg ～4 千 Bq/kg 程度の放射性セシウムを含む一般廃棄物を焼却していると推計される（飛灰の実測値及び飛灰への濃縮率から算定）。

また、別紙に示すように、これらの焼却施設における排ガスのモニタリングデータ（実績）は、排ガス中の放射性セシウム濃度はいずれも不検出となっており、少なくとも平均 4 千 Bq/kg 程度までの一般廃棄物は安全に焼却できている状況と言える。

また、実際の焼却では、廃棄物の放射性物質濃度は相当程度ばらつきがあ

ることから、これらの施設では、より高濃度の放射性物質を含む廃棄物も部分的に焼却されていると想定される。

3. 焼却に伴う排ガスの監視について

放射性セシウムを含む廃棄物を焼却した場合、放射性セシウムは飛灰（ばいじん）に多く含まれることが知られており、国立環境研究所の取りまとめた「放射性物質の挙動から見た適正な廃棄物処理処分（技術資料）」によれば、セシウムや塩化セシウムの物性、これまでの調査結果等から、以下のことが言える。

- ① セシウム及び塩化セシウムの沸点は、それぞれ約 650℃、約 1300℃であることから、集塵装置において約 200℃以下に制御されている排ガス処理過程では、ほぼばいじんに凝集・吸着すると考えられる。
- ② これまでの煙突出口における排ガスの測定でも、放射性セシウムは、サンプリング装置において最も上流部の円筒ろ紙部のみで検出されており、以降の吸収びん、活性炭部で検出された例はなく、ほぼガス態では存在しないことを示している。
- ③ ばいじんの平均粒径は、数十ミクロンメートルと言われるが、バグフィルターはサブミクロンメートルの粒子をカットできることから、バグフィルターの性能が十分発揮されていれば、ほぼ完全に放射性セシウムを除去できる。
- ④ 廃棄物処理施設におけるばいじん濃度の規制値は、規模によって 0.04～0.15g/m³ であるが、ばいじん中の放射性セシウム濃度を 8,000～100,000Bq/kg と仮定すれば、これは放射性セシウム濃度にして 0.32～15Bq/m³ 程度と推定され、ばいじん濃度の規制値が遵守されていれば、放射性セシウムの濃度限度は遵守されているものと考えられる。

これらを踏まえれば、ばいじん濃度を監視することにより、放射性セシウムの除去に関して排ガス処理が適正に機能していることを確認できると言え、ばいじん濃度の監視装置として焼却施設で導入されているダストモニターを用いれば、排ガス処理の連続監視を行うことができる。

メーカーによれば、ダストモニターの精度として、規制値以下である数 mg/m³～数十 mg/m³ 程度のばいじん濃度のモニタリングは十分可能であり、また、集塵装置に支障が生じ、ばいじん濃度が有意に上昇した場合などの異常を検知することも可能とのことである。

4. 放射性物質を含む可燃性廃棄物の焼却に係る当面の方針（案）

上記を踏まえて、放射性物質を含む可燃性廃棄物の焼却については、当面、

次の方針とすることが適当と考えられる。また、試験焼却等の実施に当たっては、実測データの蓄積とともに、国立環境研究所等の研究機関と十分連携することにより、焼却処理における放射性セシウムの挙動等に関する知見の蓄積を図り、今後、汎用性の高い焼却処理のガイドラインを整備することが必要と考えられる。

- ① 放射性物質を含む可燃性廃棄物について、現在保管が行われている地域の市町村及び都道府県の協力を得て、国のモデル事業として、以下の方針により試験焼却を実施する。
- ② 適切な排ガス処理設備を備えた既存の一般廃棄物焼却施設において、まずは、焼却実績のある放射性物質濃度のうち、安全側で 8,000Bq/kg 以下の可燃性廃棄物について、きめ細かな排ガスのモニタリングを行いつつ、試験焼却を行う。その際、次のステップに備えて、当該施設における排ガスの処理効率や排水への移行についても、十分な確認を行うものとする。
- ③ 排ガスのモニタリングは、通常排ガス測定に加えて、ダストモニターによるオンライン連続モニタリングを導入し、ばいじんの濃度を常時監視することにより、適切な排ガス処理性能が維持されていることを確認しつつ、試験焼却を行う。
- ④ ②及び③の試験焼却データを評価し、当該施設における焼却処理の安全性を確認した上で、焼却対象となる廃棄物の放射性物質濃度の範囲内で、8,000Bq/kg を超える廃棄物について、徐々に濃度を上げた試験焼却を行う。
- ⑤ ④の試験焼却データを評価し、当該施設における焼却処理の安全性を確認した上で、焼却対象となる廃棄物全体の処理計画を策定し、本格的な焼却を行う。
- ⑥ その際、当該焼却施設にて従来から焼却している廃棄物との混合割合や、放射性物質濃度の異なる対象廃棄物の混合方法については、焼却灰の放射性物質濃度を念頭に置き、当該地域における最終処分まで含めた処理の最適化が図られるよう留意するものとする（例えば、比較的濃度の低い廃棄物の場合、焼却灰が 8 千 Bq/kg を超えないように、また、比較的濃度の高い廃棄物の場合、焼却灰が 10 万 Bq/kg を超えないように管理するなど。）。

放射性物質を含む廃棄物の焼却処理における排ガスの安全性について

1. 可燃物の焼却による放射性セシウムの挙動について

災害廃棄物安全評価検討会では、当初、放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物を焼却した際の放射性セシウムの挙動に関して、以下に示す実証試験等の結果をもとに、焼却処理の安全性について検討を行った。

- ① 廃棄物焼却炉の実証試験で、バグフィルターにより99.9%以上のセシウム137が除去されることが確認されている¹。
- ② 別の廃棄物焼却炉の実証試験で、バグフィルター、湿式ガス洗浄装置、触媒脱硝装置という組み合わせにより、99.99%の除去効率があることが確認されている²。
- ③ 放射性物質が汚泥から検出されている焼却施設（汚泥処理施設）において、排ガスの放射能濃度を測定したところ不検出という結果が得られている³。

2. 放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の焼却処理の方針について

検討会では、1. に示した知見を踏まえ、放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の焼却処理の方針を取りまとめ、「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」（平成23年6月23日 環境省）において、下記のとおり具体的な考え方が示された。

- ▶ 木くず等の可燃物について、十分な能力を有する排ガス処理装置が設置されている施設で焼却処理が行われる場合には、安全に処理を行うことが可能である。
- ▶ 具体的には、排ガス処理装置としてバグフィルター及び排ガス吸着能力を有している施設では焼却可能である。また、電気集塵機など他の排ガス処理装置を設置している施設については、試験的に災害廃棄物を焼却して排ガス中の放射性物質の濃度を測定するなどによって、安全性を検討することとする。

次に、福島県内焼却施設の協力の下で得られた測定結果（表1）を踏まえて、電気集塵機の安全性について検討を行い、「福島県内の災害廃棄物の処理における焼却施設及びモニタリング」（平成23年8月9日 環境省）において、下記の考え方が示された。

- ▶ 電気集塵機を設置している焼却施設について、併せて活性炭吹込装置など

1 災害廃棄物安全評価検討会（第2回）資料9

2 災害廃棄物安全評価検討会（第3回）資料6-3

3 災害廃棄物安全評価検討会（第3回）資料6-2

の排ガス吸着能力を有する設備を設置しているものは、排ガス濃度のモニタリングにより安全性を確認しつつ災害廃棄物の焼却を行うことが可能である。

3. 排ガス中の放射能濃度測定について

環境省では、福島県内の焼却施設の協力の下、一般廃棄物焼却施設の排ガス中の放射性セシウムの放射能濃度等を測定し、逐次その結果を検討会に報告してきており、これらのデータからも、十分な能力を有する排ガス処理装置が設置されている施設では、安全に焼却できることが確認されている（表1）。

4. 16 都県の一般廃棄物焼却施設における排ガスのモニタリング結果について

環境省では、「一般廃棄物処理施設における放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の処理について」（平成23年8月29日 環境省）において、一般廃棄物処理施設における放射性物質のモニタリングの方針を示している。この方針に従い、各施設で排ガス等のモニタリングが行われており、一般廃棄物焼却施設の排ガスに関するモニタリング結果について、11月14日時点で11都県42施設から報告を受けている（表2）。

これらの施設の排ガスについて、放射性セシウムの放射能濃度は、42施設中40施設で不検出となっており、最大でも $2.9\text{Bq}/\text{m}^3$ （Cs134とC137の合計）であった。これは、モニタリングの目安としている「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示」別表第二で定められた濃度限度（三月間の平均濃度について、放射性物質ごとにそれぞれの放射性物質ごとに定められた濃度（セシウム134で $20\text{Bq}/\text{m}^3$ 、セシウム137で $30\text{Bq}/\text{m}^3$ ）に対する割合の和が1となる）を大きく下回っており、実態として、一般廃棄物焼却施設の排ガス処理装置が十分機能していることが確認されている。

表1 環境省による放射能測定結果

【第4回災害廃棄物安全評価検討会資料3】

＜電気集塵機＋活性炭吹込＞

(主灰及び飛灰の放射能濃度測定結果)

試料名	採取場所	試料採取日	測定日	γ線スペクトロメトリー							単位: Bq/kg
				¹³¹ I	¹³² I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁸ Cs	^{132m} Te	^{130m} Ag	
主灰	伊達地方衛生処理組合 清掃センター	23. 7. 5	23. 7. 11	** (33)	** (23)	6100 ± 50	6900 ± 50	** (18)	** (666)	** (23)	
		23. 7. 6	23. 7. 11	** (25)	** (15)	4700 ± 30	5200 ± 30	** (12)	** (466)	** (12)	
		23. 7. 5	23. 7. 11	** (110)	** (68)	36000 ± 200	39000 ± 100	** (53)	4200 ± 340	100 ± 23	
飛灰	伊達地方衛生処理組合 清掃センター	23. 7. 6	23. 7. 11	** (78)	** (56)	36000 ± 100	39000 ± 100	** (36)	3900 ± 560	94 ± 19	
		23. 7. 7	23. 7. 11	** (29)	** (19)	2200 ± 30	2500 ± 30	** (14)	** (546)	** (19)	
		23. 7. 8	23. 7. 11	** (25)	** (16)	2500 ± 30	2800 ± 30	** (12)	** (436)	** (16)	
主灰	須賀川地方環境保護組合 須賀川地方衛生センター	23. 7. 7	23. 7. 11	** (24)	** (19)	3900 ± 40	4300 ± 30	** (17)	1500 ± 200	39 ± 7.2	
		23. 7. 8	23. 7. 11	** (66)	** (44)	15000 ± 100	16000 ± 90	** (34)	1900 ± 380	** (45)	

注) 1. 分析結果は、計数値がその計数誤差の3倍を超えるものについては有効数字2桁で表し、それ以下のものについては**で示した。() 内は、検出下限値である。

2. 誤差は計数誤差のみを示した。

3. 測定結果については、減衰補正を行っていない結果である。

4. 上記数値の他、人工放射性核種は検出されなかった。

(排ガスの放射能濃度測定結果)

試料名	採取場所	試料採取日	測定日	γ線スペクトロメトリー							単位: Bq/m ³
				¹³¹ I	¹³² I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁸ Cs	^{132m} Te	^{130m} Ag	
排ガス分析試料	伊達地方衛生処理組合 清掃センター	23. 7. 5	23. 7. 11	** (0.022)	** (0.023)	0.83 ± 0.026	0.89 ± 0.022	** (0.022)	** (0.70)	** (0.029)	
		23. 7. 6	23. 7. 11	** (0.021)	** (0.018)	1.4 ± 0.03	1.5 ± 0.02	** (0.016)	** (0.56)	** (0.023)	
		23. 7. 7	23. 7. 11	** (0.021)	** (0.020)	0.34 ± 0.016	0.35 ± 0.013	** (0.017)	** (0.62)	** (0.027)	
23. 7. 8	23. 7. 11	** (0.018)	** (0.021)	0.36 ± 0.015	0.35 ± 0.011	** (0.016)	** (0.57)	** (0.021)			

注) 1. 分析結果は、計数値がその計数誤差の3倍を超えるものについては有効数字2桁で表し、それ以下のものについては**で示した。() 内は、検出下限値である。

2. 誤差は計数誤差のみを示した。

3. 測定結果については、減衰補正を行っていない結果である。

4. 上記数値の他、人工放射性核種は検出されなかった。

(主灰及び飛灰の放射能濃度測定結果)

測定結果

単位: Bq/kg

試料名	採取場所	試料採取日	測定日	γ線スペクトロメトリー						
				¹³⁷ I	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS
主灰	福島県からかわクリンセンター	23. 7. 13	23. 7. 19	** (51)	** (34)	8500 ± 70	9400 ± 60	** (24)	** (920)	** (31)
		23. 7. 14	23. 7. 19	** (58)	** (39)	9800 ± 80	11000 ± 70	** (28)	** (1100)	** (36)
		23. 7. 13	23. 7. 19	** (98)	** (65)	37000 ± 100	41000 ± 100	** (50)	3400 ± 630	73 ± 20
飛灰		23. 7. 14	23. 7. 19	** (93)	** (62)	35000 ± 100	38000 ± 100	** (45)	4100 ± 580	85 ± 18

注) 1. 分析結果は、計数値がその計数値の3倍を超えるものについては有効数字2桁で表し、それ以下のものについては**で示した。() 内は、検出下限値である。
 2. 誤差は計数誤差のみを示した。
 3. 測定結果については、減衰補正を行っていない結果である。
 4. 上記核種の他、人工放射性核種は検出されなかった。

(排ガスの放射能濃度測定結果)

測定結果

単位: Bq/m³

試料名	採取場所	試料採取日	測定日	γ線スペクトロメトリー						
				¹³⁷ I	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS	¹³⁷ CS
排ガス分析用試料	福島県からかわクリンセンター	23. 7. 13	23. 7. 19	** (0.019)	** (0.024)	** (0.045)	** (0.030)	** (0.022)	** (0.81)	** (0.028)
		23. 7. 14	23. 7. 19	** (0.018)	** (0.018)	** (0.038)	** (0.025)	** (0.016)	** (0.70)	** (0.026)

注) 1. 分析結果は、計数値がその計数値の3倍を超えるものについては有効数字2桁で表し、それ以下のものについては**で示した。() 内は、検出下限値である。
 2. 誤差は計数誤差のみを示した。
 3. 測定結果については、減衰補正を行っていない結果である。
 4. 上記核種の他、人工放射性核種は検出されなかった。

【第9回災害廃棄物安全評価検討会資料5】

<電気集じん器>

測定位置	Cs-134 (Bq/m ³)	Cs-137 (Bq/m ³)	Cs合計 (Bq/m ³)	除去率 (%)
電気集じん器 入口	33	42	75	99.47
煙突	0.2	0.2	0.4	

<バグフィルター>

測定位置	Cs-134 (Bq/m ³)	Cs-137 (Bq/m ³)	Cs合計 (Bq/m ³)	除去率 (%)
バグフィルター 入口	78	96	174	99.99
煙突	<0.008	0.007	0.015	

備考：Cs-134は検出下限値未満であるため、検出下限値を用いてCs合計及び除去率を算定した。

表2 16都県の一般廃棄物焼却施設における排ガスのモニタリング結果

都県名	市町村(組合)・団体名	施設名	バグフィルターもしくは電気集塵機の有無*	排ガス吸着能力の有無*	測定日	排ガス						濃度(平均値)					
						測定結果(Ba/m ³)	排出濃度(Ba/m ³)			測定結果(Ba/m ³)							
						CO134	CO137	CO131	CO134	CO137	CO131	測定結果	CO134	CO137	CO131		
岩手県	宮古地区広域行政組合	宮古清掃センター	バグフィルター	有	9/14	ND	ND	ND	0.55	0.61	0.58	9/14	53	80	ND		
		一関清掃センターごみ焼却施設	電気集塵機	有	8/25	ND	ND	ND	0.64	0.52	0.58	10/1	3,400	4,000	ND		
	一関地区広域行政組合	大東清掃センターごみ焼却施設	バグフィルター	有	8/28	ND	ND	ND	0.72	0.43	0.7	10/27	3,700	9,400	ND		
					8/30	ND	ND	ND	0.58	0.73	0.72	10/27	1,000	1,300	ND		
宮城県	登米市	グリーンセンター	バグフィルター	有	8/28	ND	ND	ND	0.68	0.52	0.57	10/27	890	1,100	ND		
山形県	青陽広域行政事務組合	千代田グリーンセンター焼却処理施設	バグフィルター	有	8/27	ND	ND	ND	0.55	0.83	0.67	1/1	1,000	1,800	ND		
福島県	福島市	あぶくまクリーンセンター	バグフィルター	有	9/28(1号機)	ND	ND	ND				9/28	31,800	40,000	ND		
					10/28(1号機)	ND	ND	ND									
					9/28(2号機)	ND	ND	ND									
					10/28(2号機)	ND	ND	ND									
					ND	ND	ND	ND									
			あらかわグリーンセンター	バグフィルター	有	7/19	ND	ND	ND	0.46	0.65	0.015	7/19	87,000	41,000	ND	
						7/19	ND	ND	ND	0.035	0.025	0.018	7/19	35,000	38,000	ND	
						10/7	ND	ND	ND				10/7	29,500	37,400	ND	
						ND	ND	ND	1.100	0.806			29,500	28,800			
						7/11	0.83	0.89	ND				7/11	38,900	38,900	ND	
						7/11	1.4	1.5	ND				7/11	85,000	39,000	ND	
						11/1	0.5	0.5	ND				11/1	14,900	18,200	ND	
						7/11	0.34	0.25	ND			0.021	7/11	4,300	4,300	ND	
						7/11	0.28	0.35	ND			0.018	7/11	15,900	16,900	ND	
						9/1(1号機)	0.37	0.32	ND	0.25	0.29	0.44	9/1	12,000	14,000	ND	
					9/20(1号機)	0.5	0.38	ND	0.18	0.21	0.23	9/20	12,000	14,000	ND		
					9/12(2号機)	0.57	0.32	ND	0.25	0.29	0.44	9/12	8,400	11,300	ND		
					9/22(2号機)	0.32	0.32	ND	0.29	0.17	0.25	9/22	13,000	15,000	ND		
					9/2	0.2	0.2	ND	0.1	0.2			8,300	11,000	ND		
					10/14	ND	ND	ND	3	3	3	11/1	7,682	8,405	ND **		
					10/11	ND	ND	ND	1	1	1	10/25	4,400	5,600	ND		
					9/27	ND	ND	ND	1	1	1	10/18	8,410	16,500	ND		
					10/16	ND	ND	ND	1	1	1	10/14	1,140	8,720	21		
					ND	ND	ND	ND	1.2	1.2			4,700	5,700			
					10/21(1号機)	ND	ND	ND	1.8	2	3.1	11/1	3,210	3,920	ND		
					10/28(1号機)	ND	ND	ND	1.7	1.8	2.3						
					9/22	ND	ND	ND	0.5~1	0.5~1	0.5~1	10/28	1,320	1,650	ND		
					8/10(1号機)	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	8/19	819	930	ND		
					8/11(2号機)	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1						
					9/30(3号機)	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1						
					9/7	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/12	1,800	2,400	ND		
					10/25	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/25	2,050	2,550	ND		
									0.1	0.1							
					9/2	ND	ND	-	0.1	0.1	-	10/14	618	883	ND		
									0.5	0.4							
					7/21	ND	ND	ND	10	10	10						
					7/28(1号機)	ND	ND	ND	0.6	0.6	0.4	9/5	1,400	1,875	ND **		
					9/21(1号機)	ND	ND	ND	0.6	0.6	0.4	10/4	2,000	2,475	ND **		
					10/12	ND	ND	ND	0.2	0.4	0.2	10/11	950	1,100	ND		
					10/18	ND	ND	ND	-	-	-	10/18	1,390	1,730	ND		
					9/28(A号)	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	10/11	1,510	1,800	ND		
					9/28(B号)	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	10/13	1,040	1,280	ND		
					10/28(B号)	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	10/19	1,080	1,390	ND		
					9/6	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.3	9/7	8,740	9,750	ND		
					9/13	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	9/7	19,900	22,900	ND		
					10/28	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	9/28	3,070	3,590	ND		
					7/30	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	10/7	2,210	2,780	ND		
					10/24	ND	ND	ND	0.5	0.6	0.5	11/1	4,710	5,780	ND		
					7/19	ND	ND	ND	0.5	0.5	0.5	10/19	1,450	1,720	ND		
					10/21	ND	ND	ND	0.8	0.8	0.8	11/1	1,710	2,150	ND		
					8/22	ND	ND	ND	1	1	1	10/21	832	1,023	ND		
					10/21	ND	ND	-	0.7	0.6	-						
					9/2	ND	ND	-	1	1	-	10/20	998	1,210	-		
					8/29	ND	ND	-	1	1	-	10/20	762	933	-		
					8/23	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/20	857	925	ND		
					8/28	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/20	930	766	ND		
					8/20(3号機)	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/24	375	514	ND		
					7/21	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/17	1,210	1,690	ND		
					9/13	ND	ND	ND	0.18~0.49	0.17~0.59	0.18~0.63	10/14	19	30	ND		
					10/12	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	10/12	890	1,010	ND		
					7/22	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.1	9/5	490	572	ND		
					9/6	ND	ND	ND	1	1	1	9/16	881	801	ND		
									ろ紙部 0.2	ろ紙部 0.2	ろ紙部 0.2	8/5	816	858	ND		
									活性炭部 0.7	活性炭部 0.6	活性炭部 0.6						
									0.3	0.2	0.2						
					8/31	ND	ND	ND	2	2	2	9/12	820	720	ND		
					8/28(1号機)	ND	ND	ND	1.1	1.1	0.4	10/20	399	488	ND		
					8/28(2号機)	ND	ND	ND	1.4	1.4	1.3						
					8/25	ND	ND	ND	0.8	1	1	10/20	440	517	ND		

*.....ごみ焼却施設台帳(平成21年度版)(平成23年3月 廃棄物研究財団)及び聞き取りで確認した。
 排ガス吸着能力の有無については、HCL・NOX 対策として湿式ガス洗浄装置もしくは消石灰灰込み装置を有している、またはダイオキシン対策として活性炭吹込み装置もしくは活性炭系吸着塔を有しているかを確認した。

**.....溶融飛灰

***.....混合灰