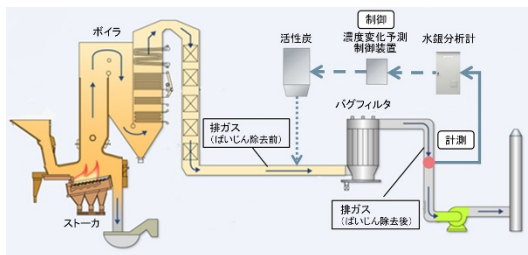


# ごみ焼却施設における排ガス中の水銀除去システム

## Mercury Removal System for MSW Incineration Flue Gas



尾田 誠人\*1  
Masato Oda

岡本 直樹\*1  
Naoki Okamoto

佐久間 哲哉\*2  
Tetsuya Sakuma

内田 泰治\*3  
Taiji Uchida

勝木 将利\*4  
Masatoshi Katsuki

鈴木 匠\*4  
Takumi Suzuki

水銀及び水銀化合物の人為的な排出及び放出から人の健康及び環境を保護することを目的とした“水銀に関する水俣条約”が2017年8月16日に発効し、大気汚染防止法の一部を改正する法律(以下“改正大防法”)及び関係法令が2018年4月1日から施行された。改正大防法の施行に伴い、水銀排出基準の遵守、排ガス中の水銀濃度の定期的な測定等が義務付けられ、ごみ焼却施設を含む廃棄物処理施設においても新設・既設を問わず、対応が求められることとなった。三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)(以下、当社)では、水銀排出抑制の社会的ニーズを鑑み、安価で排出基準の厳しい新設にも対応可能な水銀除去システムを開発した。

## 1. はじめに

### 1.1 水銀形態と測定法

改正大防法の概要を表1に示す。

表1 改正大防法の概要(廃棄物焼却炉)

項目		新設	既設
廃棄物焼却炉	対象	火格子面積2m <sup>2</sup> 以上 又は 焼却能力200kg/d以上	該当
	排出基準値(μg/m <sup>3</sup> N) ※O <sub>2</sub> 12%換算値	30	50
	施行開始日	2018年4月1日	
	測定頻度	排ガス量4万m <sup>3</sup> N/h以上:3回以上/年 未満:2回以上/年	
	測定対象	全水銀 (粒子状+ガス状)	

改正大防法の測定対象である全水銀のうち、粒子状水銀は、排ガス中のダストに含まれる水銀及びその化合物の総称として定義されており、系外排出前のバグフィルタ等の集塵設備で容易に捕集が可能である。

一方、ガス状水銀は、排ガス中に気体として存在する水銀及びその化合物の総称として定義されており、集塵設備のみで除去することは困難である。そのため、ガス状水銀は、系外へ排出される可能性があり、本規制において新たに対策を要する。

水銀測定法は、表2に示すとおり、環境省告示第94号に規定されており、粒子状水銀・ガス状

\*1 三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)サービス事業部メンテナンス技術部

\*2 三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)プラント事業部プラント設計部 グループ長

\*3 三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)プラント事業部プラント設計部

\*4 三菱重工工業(株)総合研究所化学研究部 主席研究員

水銀共に吸引ガス流量・吸引ガス量が定められている。本規定から規制対象となる測定値は、水銀分析計が示す瞬時値ではなく、単位時間に採取した試料ガス中に含まれる平均水銀濃度の換算値となる。

表2 水銀測定法(環境省告示第94号抜粋)

項目	粒子状水銀	ガス状水銀
吸引ガス流量	10~40L/min	0.5~1.0L/min
吸引ガス量	1000L程度	100L程度

## 1.2 ごみ焼却施設

ごみ焼却施設の概略処理工程を図1に示す。ごみの焼却に伴い発生する焼却排ガスは、冷却設備・減温塔を経由し、バグフィルタで酸性ガスやダストが除去され、脱硝後に系外へ排出される。活性炭供給により水銀を吸着・除去する方式では、水銀濃度の早期検知と活性炭供給量の調整による系外排出の抑制が重要となる。しかしながら、従来の水銀分析計は、バグフィルタ前段の高ダスト環境下では適用が困難であり、これまでは主に監視用として煙突入口に設置されていた。そのため、制御として用いる場合は、設置位置だけでなく、水銀分析計自体の応答時間もあいまって迅速な対応が困難であることが課題であった。

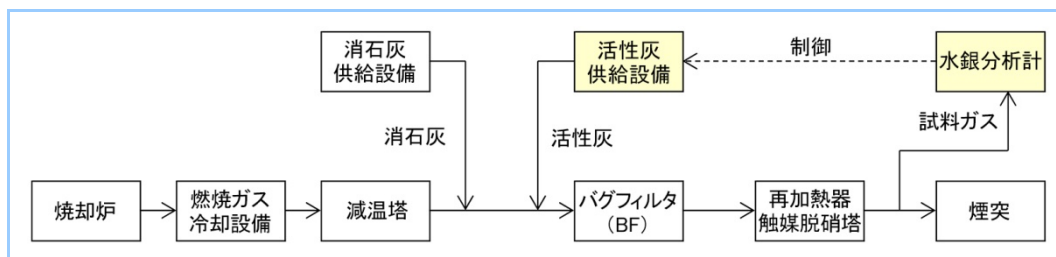


図1 ごみ焼却施設の概略処理工程

## 2. 水銀除去システム

### 2.1 システム概要

システムとして考慮した場合、図2に示すとおり、バグフィルタ前段で水銀濃度を検知し、活性炭供給量を調整するフィードフォワード制御を採用することで早期応答が期待できる。しかしながら、当社は図3に示すとおり、バグフィルタ後段で水銀濃度を検知し、活性炭供給量を調整するフィードバック制御を敢えて採用している。次項にて、本システムの中核となる水銀分析計及び本システムの特徴を示す。

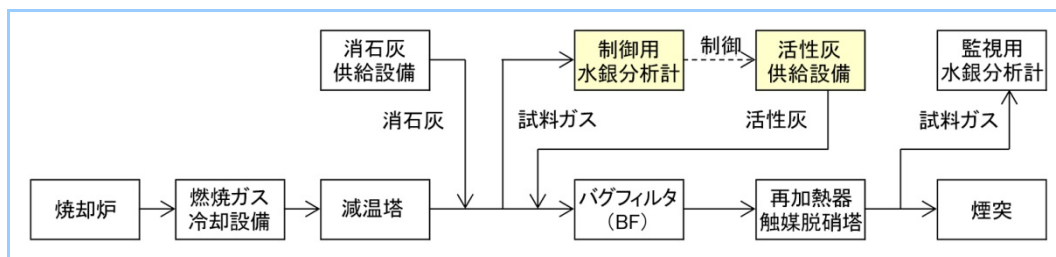


図2 フィードフォワード制御方式

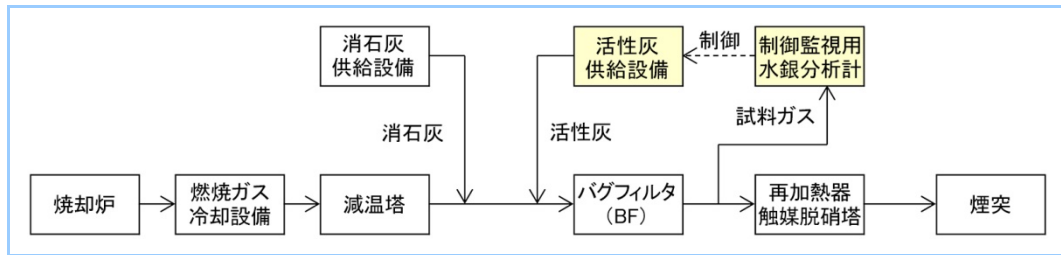


図3 フィードバック制御方式(当社システム)

## 2.2 水銀分析計と本システムの特徴

各水銀分析計の仕様比較を表3に示す。従来、ごみ焼却施設で使用されていた一般的な水銀分析計(表3“水銀分析計Ⅰ”)は、計器内部の除塵フィルタや試料ガスの導入配管が燃焼排ガス中に含まれるダストで閉塞するため、バグフィルタ前段の高ダスト環境下では適用が困難であった。そのため、これまでは主に監視用として煙突入口に設置されていたが、制御として用いる場合は、応答時間に伴う遅れが課題であった。

表3 水銀分析計の仕様比較

水銀分析計	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
測定方法	還元気化紫外線 吸光光度法	希釈+還元気化 紫外線吸光光度法	還元気化紫外線 吸光光度法
測定対象	ガス状水銀	ガス状水銀	ガス状水銀
測定レンジ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	0~1000	1~20000	0~1000
還元方法	乾式還元剤	乾式還元剤	乾式還元剤
応答時間 (90%応答)	90s ※分析計入口起点	30s ※分析計入口起点	20s ※分析計入口起
測定精度	FS $\pm$ 1%	FS $\pm$ 2%	FS $\pm$ 1%
バグフィルタ前段 適用可否	× ダスト対策要	○	× ダスト対策要
導入コスト (相対値)	1.0	4.0	1.1
10年間の維持 管理費(相対値)	1.0	3.1	1.0

水銀規制に伴い、新たに開発された希釈や除塵機能を付帯した特殊な水銀分析計(表3“水銀分析計Ⅱ”)は、バグフィルタ前段の高ダスト環境下においても適用が可能であり、フィードフォワード制御による早期応答が期待できる。しかしながら、これらの特殊水銀分析計はダスト対策の機能付帯に伴い、一般的な水銀分析計と比較して、導入コストが高額となる。また、バグフィルタ前段では酸性ガス等の共存成分が十分に除去されていないため、内部部品の劣化が著しく、維持管理に高額の費用を要する。その上、フィードフォワード制御方式を採用する場合は、バグフィルタ前段の制御用水銀分析計の他に、バグフィルタ後段では監視用の水銀分析計が別途必要のため、導入コストは一層高額となる(図2)。

上記問題から当社では安価な一般の水銀分析計を改良することで、従来の課題であった応答時間の短縮を図った(表3“水銀分析計Ⅲ”)。本分析計は、バグフィルタ後段直近に設置することで、希釈や除塵等の特殊機能の付帯は不要であり、改良に伴う追加費用は従来品(表3“水銀分析計Ⅰ”)の1割に抑えられている。ダストや酸性ガス等の共存成分においては、バグフィルタ後段では十分に除去されているため、従来品同等の費用で長期の維持管理が可能となる。また、本システムでは、バグフィルタ後段直近に設置した本分析計にて制御と監視を兼用することで新たに監視用の水銀分析計を必要としない(図3)。

当社システムでは、上記改良品(表3“水銀分析計Ⅲ”)を採用したことで、安価かつ特殊水銀分析計をバグフィルタ前段に適用した場合と同等もしくはそれ以上の早期応答が可能となる。次項にて本システムの実証試験の結果について報告する。

### 3. 実証試験

#### 3.1 実証試験概要

改正大防法施行以前に建設されたごみ焼却施設A工場にて、本システムの実証試験を実施した。A工場の炉形式は連続式ストーカ炉であり、活性炭供給設備は常設されていない。そのため、2号炉のみに本システム(改良した水銀分析計と活性炭供給設備)を仮設した。1号炉・2号炉共に煙突入口の水銀濃度は、既設の水銀分析計にて確認を行った。実証試験における1号炉・2号炉の概略処理工程を図4に示す。実証試験では、自主規制値として煙突入口水銀濃度1時間移動平均値(O<sub>2</sub> 12%換算値)(以下“1時間移動平均値”)にて、新設にも適用可能な30 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ 以下の達成可否を検証した。また1号炉の1時間移動平均値と比較することで本システムの有効性を評価した。

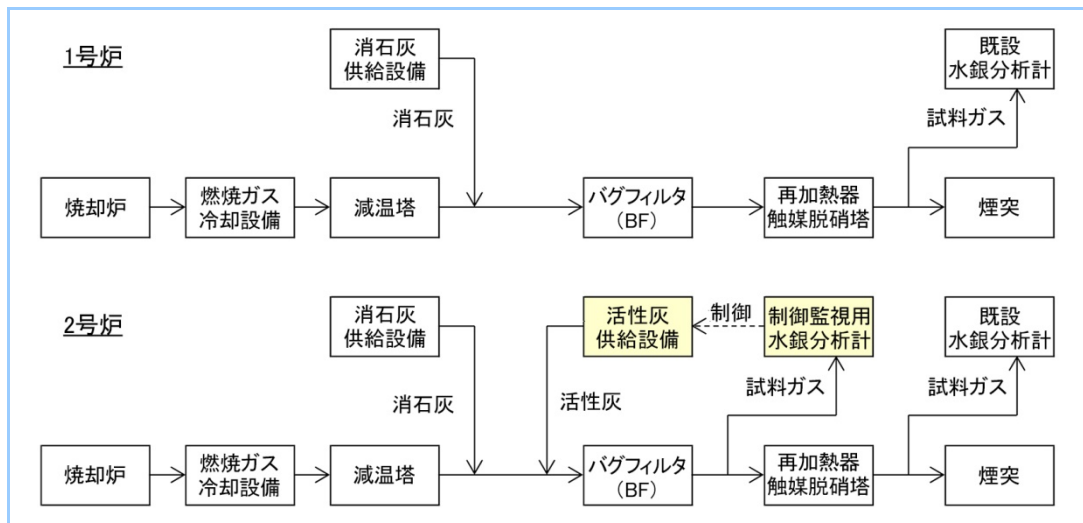


図4 実証試験概略処理工程(上:1号炉, 下:2号炉)

#### 3.2 実証試験条件

実証試験の試験条件を表4に示す。各試験の概要は以下のとおり。

表4 実証試験条件

試験区分	活性炭(一般種)				試験期間	備考
	供給量		供給開始水銀濃度	供給停止水銀濃度		
(-)	常時	ピーク	( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	(日)	(-)
I	—	X	a	b	19	
II	—	Y	a	b	7	活性炭供給量変更(X>Y)
III	—	Z	a	b	6	活性炭供給量変更(Y>Z)
IV	—	X	a/2	b/2	11	ON-OFF 設定値変更
V	—	X	a	b	6	
VI	Z/5	X	a	b	25	活性炭含有消石灰併用

試験 I ~ III・V: 活性炭の常時供給は行わず、水銀濃度が $a\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  以上になった際に、活性炭の供給を開始、水銀濃度が $b\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  未満( $a > b$ )になった際に、活性炭の供給を停止する ON-OFF 制御試験。活性炭供給量は固定値とし、 $X > Y > Z\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$  とした。

試験IV: 試験 I 同様の ON-OFF 制御試験であるが、活性炭の供給を開始・停止する水銀濃度を $a/2, b/2\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  に変更した試験。

試験VI: 施設で使用している消石灰を活性炭含有消石灰に変更し、1号炉・2号炉共に常時少量( $Z/5\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$  相当量)の活性炭を供給。2号炉のみ、試験 I 同様、水銀濃度が $a\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  以上

になった際に、ピーク用活性炭を $X\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  供給し、水銀濃度が $b\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  未満になった際に、ピーク用活性炭の供給を停止する試験。

次項に各試験の結果及び1号炉・2号炉の比較を示す。

### 3.3 実証試験結果

各試験における2号炉の1時間移動平均最大値及び活性炭供給設備の起動回数を表5、各試験における1号炉・2号炉の1時間移動平均値の比較を図5に示す。2号炉の1時間移動平均最大値において、 $30\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  を超過したのは、試験Ⅱ ( $67\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )のみであった。本結果は、活性炭供給量が不足し、高濃度の水銀を含有する燃焼排ガスが長時間継続して排出されたためである。一方、活性炭供給量が最少の試験Ⅲにおいては、 $30\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  以下を満足している。これは、他の試験と比較して燃焼排ガスに含有する水銀が低濃度であったためである。

表5 2号炉の1時間移動平均最大値及び活性炭供給設備起動回数

試験区分		I	II	III	IV	V	VI
1時間移動平均最大値	( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	26	67	8	8	9	10
試験期間	(日)	19	7	6	11	6	25
活性炭供給設備	起動回数	39	19	22	31	22	9
	日平均	2.1	2.7	3.7	2.8	3.7	0.4

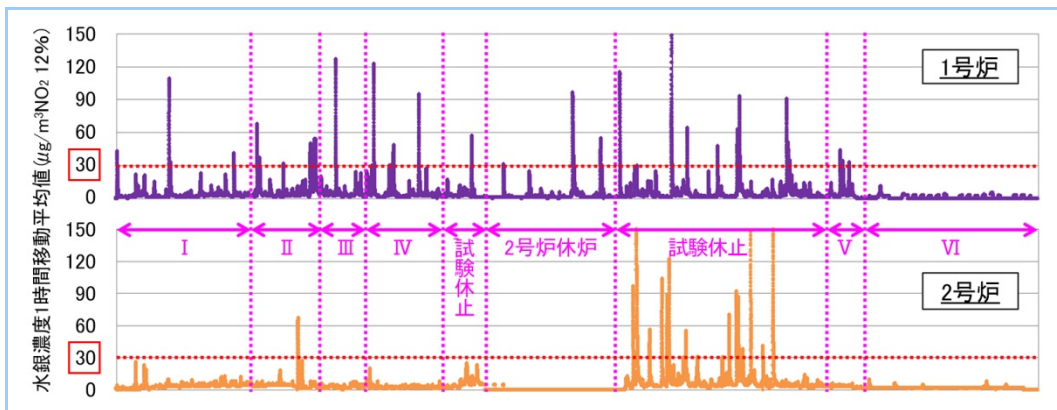


図5 1号炉・2号炉の1時間移動平均値の比較

上記結果より、燃焼排ガスに含まれる水銀濃度に応じて、活性炭供給量を調整することで過剰の活性炭の供給を抑制することが可能と考えられる。

試験Ⅵにおいては、少量の活性炭を常時供給することで1時間移動平均値は1号炉・2号炉共に大幅に低減しており、活性炭供給設備の起動回数も大幅に減少している。そのため、活性炭の常時供給を併用することで一層安定した処理が可能である。しかしながら、活性炭の常時供給は、活性炭使用量だけでなく、集塵設備から排出される飛灰量や飛灰処理に要する重金属捕集剤の使用量増加を伴い、運転管理費は増加する。運転管理費を考慮した場合、常時供給量は施設に応じて最小値に低減する必要がある。

本システムを仮設した2号炉の1時間移動平均値は、実証試験期間において概ね  $30\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  以下を達成しており、1号炉との比較及び2号炉の試験休止期間からも本システムの有効性が確認できる。

次に活性炭供給を行っていないブランク試験における水銀濃度瞬時値の最大値と水銀濃度瞬時値の上昇速度の関係を図6に示す。当然ながら、水銀濃度瞬時値の最大値が高いほど、水銀濃度上昇速度は速くなる。言い換えれば、水銀濃度上昇速度を基に水銀濃度瞬時値の最大値を予測することで、事前に活性炭供給量の調整が可能となる。

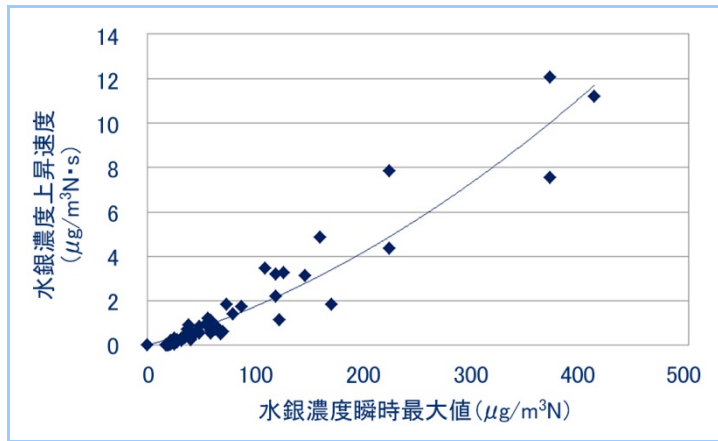


図6 水銀濃度最大値と水銀濃度上昇速度の関係

#### 4. まとめ

本システムは、実証試験の結果を基に改良を施し、一層安定かつ運転管理費が低減可能なシステムとして確立した。今後も継続して水銀排出抑制ニーズに対応する技術として、国内外での展開を図っていく所存である。