都市ごみ焼却排ガスの総合処理技術

Technology of Exhaust Gas Treatment System of Municipal Solid Waste Incineration Plant

白石 幸弘*, 秩父 薫雅*, 河端 博昭*
Yukihiro SHIRAIISHI, Shigenori CHICHIBU, Hiroaki KAWABATA

Key Words : Bag House Filter, Dioxins, Heavy Metals, Activated Coke, Catalyst

1. はじめに

最終処分場の確保が困難になっているわが国において、廃棄物を衛生化・減容化できる焼却処理は中間処理方式の主流になっている。しかし、環境保全の高まりから、焼却処理に伴う燃焼排ガスのばいじん、NO_x、SO_x、HClやダイオキシン類、重金属類など多種の環境汚染物質に対して一層の高度処理が強く求められている。

特に、ダイオキシン類はその毒性が強いため、欧米を中心に規制が進められており¹⁾、わが国においても'90年12月に厚生省より「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」が通知され、排出低減への取り組みが新たに行われ²⁾、最近では都市ごみ焼却炉のダイオキシン類対策は世界のトップレベルに達している³⁾。

また、排ガス中の重金属類に関しても欧米では規制対象物質として環境への負荷低減に努めており⁴⁾、今後わが国においても排ガス対策が強く求められるようになるであろう。

ごみ処理は、生活環境の快適性を維持するうえで不可欠と考えられ、環境保全の観点からは、これら未規制物質を含む汚染物質の一層の排出抑制が重要な課題であり、高度排ガス処理技術の確立が強く望まれている。

当社は、都市ごみ焼却プラント、下水污泥焼却プラント等の環境装置メーカーとして、環境保全に貢献するため、燃焼技術、排ガス処理技術および灰処理技術を

含めた総合的処理システムの開発を進めており、本稿では、バグフィルターを核とした総合的排ガス処理技術について、得られた知見を報告する。

2. 実験装置

実験装置のフローを図1に示す^{5,6)}。

実験は当社が納入した既設の流動床式焼却炉から発生した燃焼排ガスの一部を分岐し、実験装置ラインに導いて行った。酸性ガス除去システムは、バグフィルター上段に供給された消石灰スラリー噴霧による「半乾式法」と、消石灰粉末添加による「乾式法」の二通りのシステムが行えるようラインを形成した。

バグフィルター上段側に添加剤供給装置を設け、バグフィルター後段には活性コークス充填塔(内容積W=400, D=600, H=450mm)と脱硝触媒装置(内容積W=300, D=300, H=1800mm)をそれぞれ設置した。

本実験で使用したバグフィルターの概要を表1に、外観を図2に示す。実験中の運転条件を表2に示す。ろ布材質はフェルトろ布を使用し、ダストの払い落とし方式はパルスジェットタイプを採用した。集塵温度は

図1 実験装置フローミート

1994年 1月 31日 受付
* (株)神戸製鋼所 都市環境本部 環境エンジニアリング部
(〒651 神戸市中央区脇浜町 1-3-18) TEL. 078-261-5729

表 1 バグフィルターの概要

外形寸法	1m [□] ×9m ^H
処理風量	1,000m ³ _N /h
ろ布本数	9本
ろ布材質	耐熱性フェルトろ布
払落し方式	パルスジェット方式 (ろ布 3本 /1パルス)

図 2 バグフィルター外観

表 2 バグフィルター運転条件

排ガス量	600~1,000m ³ _N /h
集塵温度	140~190℃
ろ過速度	0.6~0.9m/min
圧力損失	100~230mmAq

バグフィルター本体内部の温度を代表点とした。

また、バグフィルターによる除去効率向上のための添加剤を、バグフィルター上段側に供給した。

ダイオキシン類とは、ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン(PCDDs)とポリ塩化ジベンゾフラン(PCDFs)の、それぞれ75および135種類の同族体とその異性体を含む化合物の総称である。その毒性は異性体により異なるため、もっとも毒性が強い2,3,7,8-T₄CDDを基準とし、表3のように相対的に評価されている。本稿では、表より算出された濃度を毒性等価換算濃度(TEQ)、塩素数4以上の同族体の和を総量とした。

ダイオキシン類のサンプリングはフローシートに示すようにバグフィルター前後、活性コークス充填塔後および脱硝触媒装置後でそれぞれ行い、その測定方法は(財)廃棄物研究財団の“廃棄物処理におけるダイオキシン類測定分析マニュアル”に従った。

表 3 ダイオキシン類の毒性等価換算係数³⁾

		毒性等価換算係数(TEF)
T ₄ CDDs	2,3,7,8-	1
	others(21)	0
P ₅ CDDs	1,2,3,7,8-	0.5
	others(13)	0
H ₆ CDDs	1,2,3,4,7,8-	0.1
	1,2,3,6,7,8-	
	1,2,3,7,8,9-	
	other(7)	0
H ₇ CDDs	1,2,3,4,6,7,8-	0.01
	other(1)	0
O ₈ CDD(1)		0.001
T ₄ CDFs	2,3,7,8-	0.1
	others(37)	0
P ₅ CDFs	1,2,3,7,8-	0.05
	2,3,4,7,8-	0.5
	others(26)	0
H ₆ CDFs	1,2,3,4,7,8-	0.1
	1,2,3,6,7,8-	
	1,2,3,7,8,9-	
	2,3,4,6,7,8-	
	others(12)	0
H ₇ CDFs	1,2,3,4,6,7,8-	0.01
	1,2,3,4,7,8,9-	
	others(2)	0
O ₈ CDF(1)		0.001

毒性等価換算濃度(TEQ)= $\sum$ TEF×(concentration)

3. 実験結果

3.1 ダイオキシン類

3.1.1 バグフィルター運転条件における除去特性

消石灰粉末添加による「乾式十バグフィルター」システムおよび消石灰スラリー噴霧による「半乾式十バグフィルター」システムにおいて、集塵温度とバグフィルター前後におけるダイオキシン類除去率の関係を図3、バグフィルター出口ダイオキシン類濃度を図4に示す。ダイオキシン類は集塵温度が低いほど排ガス処理過程における生成が抑制され、排出量は低減することが報告されている⁷⁾。本実験では、190℃以下では集塵温度にかかわらず除去率は安定して95%以上が得られた。このとき、バグフィルター出口ダイオキシン類濃度は安定して総量30ng/m³_N以下、毒性等価換算濃度は0.3ngTEQ/m³_N相当であった。これはガイドラインにおける新設全連続式焼却施設の期待値0.5ng

図3 集塵温度とバグフィルターによるダイオキシン類除去率の関係

図4 集塵温度とバグフィルター出口ダイオキシン類濃度の関係

TEQ/m³_Nを充分下回っていた。

3. 1. 2 添加剤による除去効果

ダイオキシン類のより一層の高効率除去のため、バグフィルター上段側に添加剤等を供給し、バグフィルターによる吸着除去効果を向上させる方法が報告されている⁸⁾。当社でもバグフィルター上段に吸着機能を有する添加剤を供給し、バグフィルターによる除去効果の確認を実施した。この添加剤をバグフィルター上段側に2g/m³_N供給したときのバグフィルター出口ダイオキシン類濃度を図5および表4に示す。無添加時、バグフィルター出口ダイオキシン類濃度は集塵温度140,170℃とも30ng/m³_N程度に対して、添加剤を供給したときは20ng/m³_N程度まで低減した。集塵温度140℃における毒性等価換算濃度は0.32から0.26ng TEQ/m³_Nまで低減した。

また、添加剤によるダイオキシン類同族体の除去効果を図6に示す。無添加時と比較して添加剤を供給した場合は、すべての同族体で高除去率が得られた。これより、添加剤はバグフィルターによるダイオキシン類吸着除去に有効であることを確認した。

3. 1. 3 活性コークス充填塔や脱硝触媒装置による除去

ダイオキシン類をより一層高率に除去するため、バグフィルター後段に活性コークス充填塔や脱硝触媒装置を設置し、充填物や触媒によるダイオキシン類の除

図5 添加剤によるダイオキシン類除去効果

表4 添加剤によるダイオキシン類除去効果

Run No.	1	2	3	4
集塵温度(℃)	167	168	141	142
添加剤 (g/m ³ _N)	—	2	—	2
PCDDs (ng/m ³ _N)	7.9	5.9	8.2	5.4
			0.05(TEQ)	0.03(TEQ)
PCDFs (ng/m ³ _N)	20	11	22	15
			0.27(TEQ)	0.23(TEQ)
PCDDs+PCDFs (ng/m ³ _N)	28	17	30	20
			0.32(TEQ)	0.26(TEQ)

図6 添加剤によるダイオキシン類同族体の除去効果

去実験を行った。

まず、活性コークス充填塔によるダイオキシン類の除去特性について調べた。実験に使用した活性コークスの性状を表5に示す。バグフィルター集塵温度170℃、充填塔温度を150℃とし、充填塔SVを2,500, 4,000h⁻¹に設定した場合の実験結果を表6に示す。充填塔前後のダイオキシン類除去率はSVにかかわらず70%程度が得られた。SV4,000h⁻¹のとき、充填塔前後におけるダイオキシン類同族体の濃度を図7に示す。ダイオキシン類の低塩素同族体は沸点も低く、本実験での排ガス温度域ではガス状態で存在していると考えられ、除去が難しいとされている⁸⁾。本実験結果で

表 5 活性コークスの性状

寸 法	$\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$
全 水 分	4.9%
比 表 面 積	$201\text{m}^2/\text{g}$
製 造 者	(株)三井鉱山

表 6 充填塔前後のダイオキシン類濃度

Run No.	1		2	
SV (h^{-1})	2,500		4,000	
測定場所	充填塔 入 口	充填塔 出 口	充填塔 入 口	充填塔 出 口
PCDDs ($\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$)	14	4.8	8.3	2.6 0.01(TEQ)
PCDFs ($\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$)	45	12	23	6.3 0.08(TEQ)
PCDDs+PCDFs ($\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$)	59	17	31	8.9 0.09(TEQ)
除去率(%)	71		71

図 7 充填塔前後のダイオキシン類同族体濃度

は低塩素数同族体も効率よく除去され、充填塔出口でのダイオキシン類はすべての同族体において低濃度となった。これは表面に多数の微細孔を保有している活性コークスにダイオキシン類が効率よく吸着除去されたためと考えられる。このとき、充填塔出口におけるダイオキシン類は $8.9\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$ 、毒性等価換算濃度で $0.09\text{ng TEQ}/\text{m}^3\text{N}$ であった。

次に、バグフィルター後段に脱硝触媒装置を設置し、 200°C 以下の低温領域での触媒によるダイオキシン類と NO_x の同時除去実験を行った。本実験で用いた触媒装置の概要を表 7 に示す。SV $1,800 \sim 3,300\text{h}^{-1}$ 、触媒装置温度 $150 \sim 175^\circ\text{C}$ におけるダイオキシン類除去率を図 8 に示す。このとき、ダイオキシン類除去率は $75 \sim 95\%$ 、脱硝率が $40 \sim 80\%$ となり、同時除去できることを確認した。SV $3,300\text{h}^{-1}$ における触媒装置前後のダイオキシン類濃度を表 8、図 9 に示す。脱硝触媒

表 7 触媒装置の概要

触媒装置外形寸法	$420\text{mm} \square \times 2750^{\text{H}}\text{mm}$
触媒容積	$300\text{mm} \square \times 1800^{\text{H}}\text{mm}$ (0.162m^3)
触媒	ハニカム形状触媒

図 8 SVとダイオキシン類除去率の関係

表 8 触媒装置前後のダイオキシン類の挙動

SV (h^{-1})	3300	
排ガス温度 ($^\circ\text{C}$)	155	
場 所	触媒装置 入 口	触媒装置 出 口
PCDDs($\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$)	8.3	1.8
PCDFs($\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$)	23	5.8
PCDDs+PCDFs($\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$)	31	7.6
ダイオキシン類除去率(%)	75

図 9 触媒装置前後におけるダイオキシン類同族体濃度

出口ダイオキシン類濃度は総量 $7.6\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$ と低濃度であった。これにより、バグフィルターと脱硝触媒装置の組み合わせは、 NO_x とダイオキシン類を同時に高率除去できるシステムであることが確認できた。触媒によるダイオキシン類除去は報告³⁾されているが、まだ除去機構等未解明な部分も多く、今後の課題である。

3.2 重金属類

重金属類として、代表的な鉛(Pb)、カドミウム

図10 バグフィルターによる重金属類の除去特性

(Cd)、水銀(Hg)についてバグフィルターによる除去特性を調べた。集塵温度とバグフィルターによる鉛、カドミウム、水銀の除去率の関係を図10に示す。集塵温度190℃以下では、鉛とカドミウムはバグフィルター前後の除去率99%以上となり、このときバグフィルター出口濃度はそれぞれ0.1、0.01mg/m³N以下となっている。これは排ガス温度190℃以下では、バグフィルターろ布に形成されたダスト層の吸着作用等により効果的に除去できたものと考えられる。

水銀はほかの報告例⁹⁾と同様に集塵温度が低くなるにつれて、除去率は向上する傾向を示した。低沸点成分である水銀は排ガス温度190℃前後の領域ではガス状態で存在しやすく、バグフィルターのみによる捕集は難しいと考えられる。集塵温度170℃以下では除去率は安定して90%以上、バグフィルター出口水銀濃度0.02mg/m³N以下となり、バグフィルターにより充分除去できることがわかる。

3.3 フッ化水素、塩化水素

重金属類と同様にバグフィルターによるフッ化水素除去特性を調べた。バグフィルター集塵温度とフッ化水素除去の関係を図11に示す。集塵温度190℃以下で除去率95%以上、出口濃度0.2mg/m³N以下が得られた。酸性ガスであるフッ化水素はバグフィルターろ布表面に形成されたダスト層内の消石灰により、中和反応除去されたものと考えられる。

なお、塩化水素も除去率95%以上、出口濃度20ppm以下が達成できた。

図11 フッ化水素除去率と集塵温度の関係

図12 SVと脱硝率の関係

図13 触媒装置入口、出口NO_x濃度の実測例(触媒温度170℃, SV1600h⁻¹, 当量比1.0)

3.4 NO_x

ダイオキシン類を低減させる高温完全燃焼はNO_x濃度の増加につながる。NO_xを高効率に除去するため、低温脱硝触媒による除去実験を行った。排ガス温度145、165℃、NH₃当量比1以上におけるSVと脱硝率の関係を図12に示す。排ガス温度が高いほど、SVが小さいほど高脱硝率が得られた。また、排ガス温度170℃、SV1,600h⁻¹、NH₃当量比1.0のとき図13に示すように入口NO_x濃度110ppmに対して脱硝率93%、出口NO_x濃度7ppmと低濃度となった。バグフィルター後段の低温領域においてNO_xを高効率に除去できることを確認した。

4. まとめ

ダイオキシン類と重金属類を中心とした微量汚染物質除去実験を行い、得られた結果をまとめると次のようになる。

1) バグフィルターによるダイオキシン類の除去は集塵温度190℃以下、ろ過速度0.6~0.9m/minの運転条件で95%以上の除去率が得られ、ガイドラインの期待値を充分達成できる。

2) 添加剤によりさらにダイオキシン類のすべての同族体を高効率に除去でき、毒性等価換算濃度を低減できる。

3) 活性コークス充填塔は、ダイオキシン類を70%

程度除去でき、バグフィルターと活性コークス充填塔の組み合わせシステムによりダイオキシン類の高効率除去が達成できる。

4) 低温脱硝装置において、ダイオキシン類を75～95%、NO_xを40～80%除去できた。バグフィルターと低温脱硝触媒装置の組合せシステムにより、NO_xとダイオキシン類の同時高率除去が達成できる。

5) 重金属類や塩化水素、フッ化水素もバグフィルターを核とした排ガス処理システムで高効率に除去できる。

今後は維持管理性が高く、より高効率除去を安定して実現できる総合排ガス処理技術の確立を目指していきたい。

引用文献

- 1) 鍋島淑郎：廃棄物学会誌, 2, 306(1991)
- 2) 永田勝也：廃棄物学会誌, 3, 217(1992)
- 3) 平岡正勝編著：廃棄物処理とダイオキシン対策, 環境公害新聞社(1993)
- 4) 武田信生：廃棄物学会誌, 2, 331(1991)
- 5) 河端博昭, 白石幸弘, 秩父薫雅, 堀井雄二, 古田覚士：第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p.643(1992)
- 6) 河端博昭, 白石幸弘, 秩父薫雅, 堀井雄二, 古田覚士：第15回全国都市清掃会議研究発表会講演論文集, p.191(1994)
- 7) 平岡正勝：廃棄物学会誌, 1, 20(1990)
- 8) Rappe, C. et al. : The Recent EEC Report on Dioxins in MSW Incineration, 京都大学環境衛生工学研究会講演会資料(1992)
- 9) Hay, D. J., A. Finkelstein, et al. : The National Incinerator Testing and Evaluation Program, For Presentation at the 79th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Minneapolis, Minnesota June, p.22(1986)