

DXNs 分解・脱硝機能を併せ持つバグフィルタによる 排ガス処理実績

Basic Performance of HBF® (Hybrid Bag Filter) and Operation Reports
for Incineration Plants



鈴木 匠^{*1}
Takumi Suzuki

勝木 将利^{*2}
Masatoshi Katsuki

零石 広悦^{*3}
Koetsu Shizukuishi

佐久間 哲哉^{*4}
Tetsuya Sakuma

増田 巧^{*5}
Takumi Masuda

田原 玲二^{*4}
Reiji Tahara

当社及び三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)はバグフィルタにバナジウム-チタン系触媒を担持することで脱塩、脱硫、除塵、脱硝、及びダイオキシン類(DXNs)の除去(吸着、集塵、酸化分解)を同時に行うことのできるハイブリッドバグフィルタ®(HBF)を他社に先駆けて開発、実用化している。本報告では、この HBF の基礎性能に関するベンチスケール試験の結果を報告する。また、HBF の実績についても報告し、パルス型 HBF、リバー型 HBF 共に長期間非常に安定かつ良好な性能を示すことを確認した。

1. はじめに

当社ではバグフィルタにバナジウム-チタン系(V-Ti 系)触媒を担持することで脱塩、脱硫、除塵、脱硝、及びダイオキシン類(DXNs)の除去(吸着、集塵、酸化分解)を同時に行うことのできるハイブリッドバグフィルタ®(HBF)を他社に先駆けて開発、実用化^{(1)~(5)}しており、既に国内外4プラントの実績を有している。

バグフィルタ型式は大きく分類してろ過速度の比較的速いパルス型とろ過速度の比較的遅いリバー型に分類される。当社は両型式の HBF 技術を保有している。

これまで、バグフィルタは DXNs の規制強化、Hg 除去、消石灰の利用率向上の観点から、低温化の方向に進化してきた。しかし低温化により、後段に脱硝触媒が併設される場合に排ガス再加熱器(SGH)の蒸気使用量が多くなり発電効率を低下させるため、エネルギーのロスとなる。よって、低温化は昨今特に重視されるようになった都市ゴミ焼却炉の廃熱エネルギーの有効利用、低LCC(Life Cycle Cost)化という観点からすると、有利とはいえない。したがって今後は DXNs 除去性能を維持しつつ高温化を図ることが重要となる。

本報告では、この観点からA清掃工場において比較的高い温度(≥180℃)でのパルス型 HBF の DXNs 除去性能評価試験を実施したので、その結果について報告する。

また、最近の実績例として、B 清掃工場納入リバー型 HBF の長期運転下における脱硝及び DXNs 除去性能、C 清掃工場納入パルス型 HBF の DXNs 除去性能についても報告する。

*1 技術統括本部横浜研究所主席研究員

*2 技術統括本部横浜研究所

*3 MHIソリューションテクノロジー(株)横浜技術部

*4 三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)プラント事業本部プラント設計部主事

*5 三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)O&M 事業本部熱エネルギー部次長

2. ハイブリッドバグフィルタ® (HBF)

HBF とはバグフィルタ繊維に当社独自技術により触媒をコーティングし、従来の有害物質除去機能を維持しつつ、ガス状ダイオキシン類(DXNs)や VOC (DXNs 前駆体物質), NO_x 分解機能を付加し高機能化したものである。すなわち, HBF は環境装置の排ガス処理に必要な有害物除去機能をすべてバグフィルタに一体化した総合排ガス処理システムである。図1に当社 HBF のろ布の写真を、図2に HBF の機能概念図を示した。



図1 HBF ろ布概観

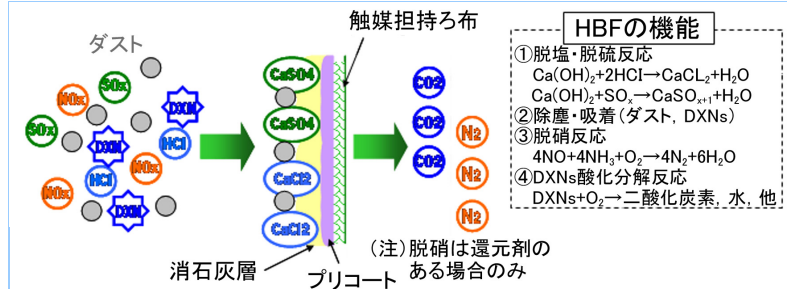


図2 触媒バグフィルタ概念図

3. DXNs 除去性能評価試験

前記のごとくパルス型 HBF の比較的高温($\geq 180^\circ\text{C}$)での DXNs 除去性能を把握する目的で実ガスを分岐し、以下の試験を実施した。

3.1 試験方法

試験は 2010 年5月～6月, 当社納入の A 清掃工場(ストーカ型焼却炉, 150t/d×3基)にて, 通常運転時に実ガスを小型バグフィルタ試験装置へ導入し実施した。図3に試験装置の概略図を示す。HBF 単独と HBF 表面堆積層の DXNs 除去性能と触媒自体の DXNs 分解性能を分離して評価するため, 2段でも試験した。No.1はバグフィルタ(触媒担持なし, 以下通常 BF と称す)であり, No.2が HBF である。

HBF の DXNs 除去メカニズムは図2のとおり, 表面堆積層での除去(ガス状 DXNs の吸着及び固体状 DXNs の集塵)と表面堆積層を通過したガス状 DXNs の触媒による酸化分解反応によると考えられる。前者の分解率を η_d , 後者を η_c とすると HBF の総合性能 η_t は,

$$\eta_t = 1 - \frac{C_2}{C_0} = 1 - (1 - \eta_d) \cdot (1 - \eta_c)$$

で与えられる。

図3試験装置において, No.1通常 BF 入り口, No.2HBF 入り口, No.2HBF 出口の DXNs 濃度 C_0 , C_1 , C_2 を同時に計測することにより, 表面堆積層での DXNs 除去性能 η_d , 触媒による DXNs 分解性能 η_c を直接計測することが可能となる。なお, 2段バグフィルタ(通常 BF+HBF)でも1段 HBF でも得られる DXNs 除去性能の差がなく, いずれも 99.9%以上であることを事前に確認している。

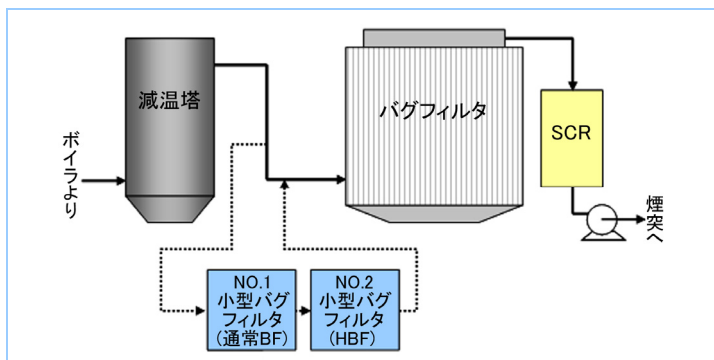


図3 試験装置概略図

HBF, BF 試験装置の主な仕様を表1に示す. 吸引ガス量は小型誘引ファンをインバータ制御することにより一定に保ち, またインターバルでの自動逆洗とした.

3.2 試験条件

試験は実機の排ガス処理条件を考慮し, 表2の条件で実施した. 2段バグフィルタの試験では, 表面堆積層の DXNs 除去性能を評価する上でガス中ダスト濃度は非常に重要であるが, 試験では安定して約 $3\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ のダストを吸引しており, 実条件に近い状態で試験を実施することができた.

DXNs の分析方法は JIS K 0311 に準拠した. DXNs 濃度は変動する可能性があるためサンプリングは同時に実施した.

表1 試験装置の主仕様

ガス量	80~130 $\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$
ろ過流速	0.6~1.1 m/min
ろ布サイズ	164 $\phi \times 1.2\text{m} \times 6$ 本
逆洗圧力	0.3MPa

表2 試験条件

温度	180℃~220℃
ろ過流速	0.6~1.1 m/min
ダスト濃度	$\approx 3\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$

3.3 試験結果及び考察

3.3.1 DXNs 除去性能

試験結果を表3に示す. ここで除去性能 η_t , η_d , η_c は実測濃度から算出している. 表3から HBF は与条件(ろ過流速 0.6 m/min .~1.1 m/min ., ガス温度 180℃~220℃)において, 温度, ろ過流速によらず, 吸着と集塵で約 98~99%除去, ろ布担持触媒によるガス状 DXNs の酸化分解で約 95~99%除去, 総合で 99.9%以上の極めて高い DXNs 除去性能を達成できることが分かった.

HBF の総合性能は表3から分かるとおり, ガス温度, ろ過流速依存が少ない. 前記のとおり HBF での DXNs 除去機構はろ布表面に成長する表面堆積層での DXNs 除去(吸着と集塵)とろ布担持触媒によるガス状 DXNs の酸化分解である. 前者は温度が低いほど有利であるが, 後者は温度が高いほど有利である. HBF はこれらの複合効果により, ろ過流速, 温度によらず高 DXNs 除去が達成できたと考えられる.

表3 HBF の DXNs 除去試験結果

ガス温度 (℃)	ろ過流速 (m/min)	表面堆積層での 除去性能 η_d (-)	触媒による 酸化分解性能 η_c (-)	HBF の 総合性能 η_t (-)	HBF 出口 DXNs 濃度	
					実測濃度 ($\text{ng}/\text{m}^3_{\text{N}}$)	毒性換算濃度 ($\text{ngTEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$)
180	0.60	0.999	0.967	0.999	0.011	0.000014
	1.08	0.998	0.954	0.999	0.032	0.000015
200	0.69	0.993	0.978	0.999	0.027	0.000012
	1.06	0.996	0.987	0.999	0.014	0.00000081
220	0.63	0.981	0.980	0.999	0.110	0.00057
	1.09	0.977	0.990	0.999	0.090	0.0004

3.3.2 HBF 差圧のシミュレーション計算

バグフィルタは有害物質の除去とともに運転時の差圧が安定することも非常に重要である. そこで HBF の運転時での差圧について検証した.

図4は 24h 連続運転時(逆洗間隔 320 分, 逆洗圧 0.3MPa, ろ過流速 1.0 m/min .), での差圧の結果である. これよりバグフィルタ差圧は $\Delta P = 2\text{kPa}$ 未満で安定運転できることが分かった.

しかしながら, 試験装置は 1 室運転であるのに対して実炉は多室運転であり, 図4とは挙動が若干異なる. そこで, 本試験で得られた基礎データをもとに HBF を多室に展開した場合の差圧プロフィールをシミュレーション計算することを試みた.

バグフィルタ差圧 ΔP は一般的に次式で与えられる⁽⁶⁾.

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_d = (\xi_f + \xi_{d0} \cdot L_d) \cdot \mu \cdot u \cdots \cdots (1)$$

ここで ΔP_f : フィルタ本体の差圧, ΔP_d : 表面堆積層の差圧, ξ_f : フィルタ本体の抵抗係数, ξ_{d0} : 表面堆積層の比抵抗, L_d : ばいじん負荷, μ : 排ガス粘度, u : ろ過流速である. L_d は時間経過にともない増加するが, ほかのパラメータは温度, ろ過流速が一定ならば一定である.

次に, 多室バグフィルタの差圧について考える.

$\alpha_i = \xi_f + \xi_{d0} \cdot L_d$ を第 i 室の抵抗係数全体とすると

(1) 式よりバグフィルタ全体の差圧 ΔP_f は (2) 式のように書ける.

$$\begin{aligned} \Delta P &= \alpha_1 \cdot \mu \cdot u_1 = \alpha_2 \cdot \mu \cdot u_2 = \cdots \alpha_8 \cdot \mu \cdot u_8 \\ &= \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \cdots + \frac{1}{\alpha_8} \right)^{-1} \times (8u_m) \times \mu \\ &= R \times (8u_m) \times \mu \cdots \cdots (2) \end{aligned}$$

$$R = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \cdots + \frac{1}{\alpha_8} \right)^{-1} \cdots \cdots (3)$$

ここで記号は, u_m : 平均ろ過流速, R : 総括抵抗係数である. すなわち, 理論的には平均ろ過速度 u_m , 総括抵抗係数 R 及びガス粘度 μ が分かればバグフィルタ全体差圧 ΔP を計算することが可能である.

図4のデータより $\xi_f = 1.21 \times 10^9 (1/m)$, $\xi_{d0} = 6.28 \times 10^9 (m/kg)$ を得ることができる. また, ばいじん負荷 $L_d (g/m^2)$ は近似的に

$$\frac{dL_d}{dt} = C_d \times u \cdots \cdots (4)$$

C_d : ばいじん濃度 (g/m^3_N),

で与えられる. よって, (1)~(4) 式により実機の多室バグフィルタの差圧をシミュレーション計算することができる.

以上より8室ガス量 $\approx 62000 m^3_N/h$ ($\approx 180t/d$ 規模) の差圧のシミュレーション結果を図5に示す. 表面堆積層の成長に伴い差圧が安定化していく様子が見える. シミュレーション計算によればバグフィルタ差圧は 1.1kPa 程度で安定化することがわかる. つまり, 多室のバグフィルタにおいても HBF は 2kPa 以下の差圧で安定運転が可能であることがわかった. ただし, 上記シミュレーションでは長時間の運転による目詰まりなどの影響は考慮されておらず, 実際よりは若干低く見積もっている可能性がある. いずれにせよ, 多室の HBF においては 2kPa 以下の差圧で安定運転が可能であると推定される. 実際, 後述する HBF の実績においても HBF 差圧による問題は全く生じていない.

3.3.3 Hg 除去

本試験装置において, Hg の除去について確認した. Hg 濃度は No.1 通常 BF 出口において $0.012 mg/m^3_N$ であり, 国内自主規制値 ($0.05 mg/m^3_N$) を下回っていた.

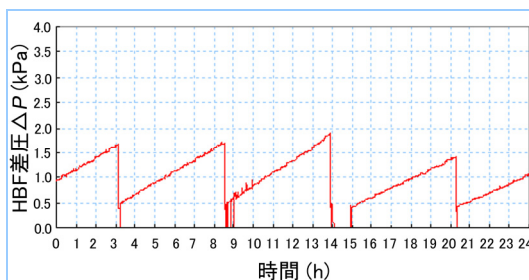


図4 連続運転時 HBF 差圧 (試験結果)

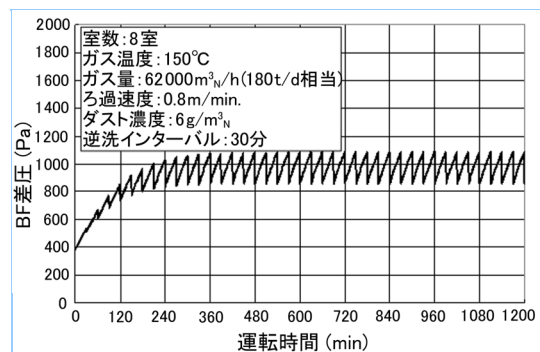


図5 多室 HBF 差圧のシミュレーション計算

4. リバーstype HBF の長期運転実績

B 清掃工場は 1970 年代に当社が納入したストーカ型ごみ焼却設備である。同工場は 2001 年から電気集塵機より HBF へ順次更新し、現在は 3 系列全て HBF で稼動している。HBF はリバーstype であり脱塩、脱硫、除塵はもとより、脱硝と DXNs の除去機能も有する総合排ガス処理装置である(表4)。脱硝用還元剤としては NH_3 を HBF の上流から供給している。表5にその 2009 年時(HBF 運用約3年後)の排ガス性能計測データを示す。これより3年間の運用後でも、脱塩、脱硫、除塵性能ばかりでなく、脱硝、DXNs 除去性能も良好であることがわかる。特に脱硝の点においては NH_3 を当量比約 0.6 で供給し、この時の HBF における反応率はほぼ 100%と良好であった。さらに、DXNs は触媒の分解作用により著しく低減されており、国内法規制値 ($0.1\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$) を大きく下回り、活性炭粉末吹き込み仕様と同等の効果を有することが明らかとなった。

表4 B 清掃工場 HBF 主仕様

ガス温度 (°C)	210~230
ろ過流速 (m/min)	0.3
触媒種類	V-Ti 系触媒

表5 B 清掃工場排ガス性能計測結果

分析項目	HBF 出口
ダスト濃度 ($\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$)	0.001 未満
HCl 濃度 (ppm)	1.1
SOx 濃度 (ppm)	1.0 未満
NOx 濃度 (ppm)	39
NH_3 濃度 (ppm)	1.6 未満
DXNs ($\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$)	0.000078

※ NH_3 以外はすべて 12%酸素換算値

5. パルス型 HBF の実績

C 清掃工場は当社が 2000 年に海外に納入したごみ焼却プラントで、2003 年に通常バグフィルタから HBF へ更新した案件である。本プラントの排ガス処理装置は全体システムの都合上、HBF の上流に電気集塵機が備え付けられている。

表6に C 清掃工場 HBF の主仕様、表7に DXNs の除去性能の結果を示した。これより、ろ過流速の比較的速いパルス型 HBF においても十分高い DXNs 除去率が得られた(脱硝は実施していない)。

表6 C 清掃工場 HBF 主仕様

温度 (°C)	180
ろ過流速 (m/min)	約 1.1

表7 C 清掃工場 HBF DXNs 除去性能計測結果

分析項目	HBF 出口
DXNs ($\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$)	0.0054

6. HBF による CO_2 及び LCC 低減効果

前記のごとく当社 HBF を採用することにより比較的高温でも DXNs を通常バグフィルタ以上に高効率除去することが可能であるため、バグフィルタの操業温度を低温(≒165°C)にする必要がない。すなわち、排ガス加熱器(SGH)の蒸気使用量を低減することができ、その余剰蒸気を自家発電用に転用することができる。そこで、本節ではどの程度の LCC を低減できるかを試算した。

低温バグフィルタ(165°C)をHBF(200°C)に変更した場合の一例を試算した(図6)。LCC の比較計算結果を表8に示す。この表から分かるようにバグフィルタ温度を上げることにより消石灰使用量が増加するが、活性炭を使用する必要がなく、かつ処理ガスの再加熱温度幅が小さくなるため($\Delta T = 165^\circ\text{C} \rightarrow 200^\circ\text{C}$ から $\Delta T = 200^\circ\text{C} \rightarrow 210^\circ\text{C}$)その分、発電に蒸気を転用することができるようになる。また、バグフィルタ温度を上げることで減温塔での水噴霧量を低減でき、ガス量が減るため IDF(誘引ファン)の負荷も下がる。

この結果、排ガス処理設備回り全体として LCC は 27.5%低減できる(当社比)ことが分かった。さらにこの場合において、IDF 消費電力の低減量及び発電量増加分の合計で 7.4%の消費電

力減となる. これを“廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル”⁽⁷⁾での消費電力・発電電力にかかわる CO₂ 換算係数を使って算出すると CO₂ についても, 7.4%少なくなる(当社比)結果となった.

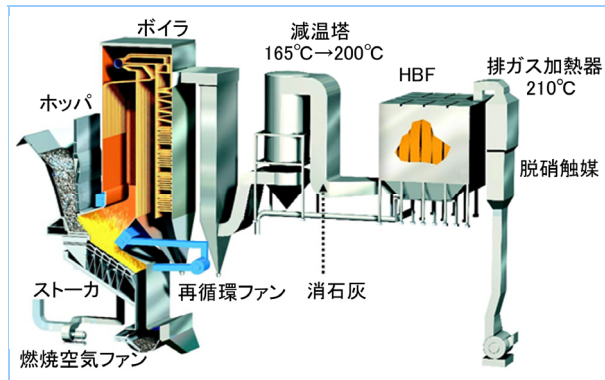


図6 HBF への代替システム例

表8 LCC の比較計算結果

比較項目	低温バグフィルタ (165℃)	HBF (200℃)
① 活性炭使用量(%)	100	0
② 消石灰使用量(%)	100	130
③ 特反剤使用量(%)	100	100
④ ろ布耐久性(寿命)	100	100
⑤ IDF 消費電力(%)	100	97
⑥ 発電量(%)	100	104
⑦ 排ガス処理設備 回りコスト(%) ^{※1}	100	72.5

※1:①～⑥のコスト

7. まとめ

当社開発の HBF の DXNs 分解試験および実プラントでの性能計測を実施し, 以下の結果を得た.

- (1) 小型 HBF の実ガス試験からパルス型 HBF は比較的高温の運用条件(180～220℃, 0.6～1.1m/min)でも極めて高い DXNs 除去率(99.9%以上)を達成することができる. また, 運転中の差圧も安定している.
- (2) リバース型 HBF においては脱硝及び DXNs 除去性能が運転開始3年後も十分良好であることを実プラントにおいて確認した.
- (3) パルス型 HBF においても実プラントにおいて十分高い DXNs 除去性能を維持した.
- (4) 試算結果より, HBF の使用により排ガス処理設備全体として LCC を約 27.5%低減できる(当社比).
- (5) 試算結果より, HBF の使用により排ガス処理設備全体として CO₂ を約 7.4%削減できる(当社比).

当社が開発した HBF はリバース型, パルス型ともに有害物質を高効率除去できることを確認することができた. HBF は DXNs 除去性能に優れているため, 排ガス再加熱器の蒸気使用量や DXNs 対策用活性炭吹き込み量を低減することが可能であり, エネルギーの有効利用, CO₂削減の点からも非常に優れているといえる.

今後, 循環型社会構築に向けた低炭素・高効率発電, 低 LCC 化志向はますます強まると予想され, 新設炉はもとより既設炉に対しても HBF は非常に有効な技術であると考えられる.

参考文献

- (1) 魚屋, 小瀬ほか, 都市ごみ焼却炉排ガス中の微量有害成分の除去技術, 三菱重工技報, Vol.28, No.6(1991-11), p623.
- (2) 魚屋, 志田ほか, ごみ焼却施設のダイオキシン除去技術, 三菱重工技報, Vol.29, No.4(1992-7), p327.
- (3) 洞口ほか, 触媒バグフィルタの開発(第一報), 日本機械学会第12回環境工学総合シンポジウム2002講演論文集, p245(2002).
- (4) 魚屋ほか, “脱硝バグフィルタによる有害ガス処理”, 第14回全国都市清掃研究報告会講演論文集, p160(1993).
- (5) 岡田ほか, 低温バグフィルタによる都市ごみ焼却炉排ガス中ダイオキシン・水銀の高効率除去, 第2回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p473(1991).
- (6) 井伊谷剛一編著, 集塵装置(新版), 日刊工業新聞社(1963).
- (7) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課, “廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル”(平成22年3月).