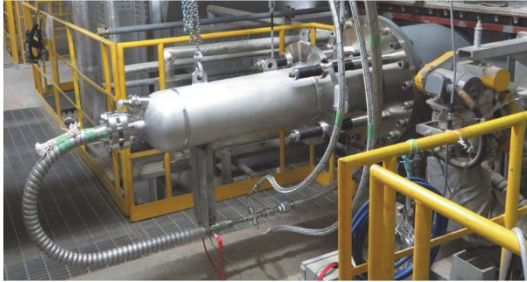


爆轟波による安価で出力調整可能なボイラ内除灰技術

Reasonable & Adjustable Detonation Soot Blower Technologies for Boiler



新家谷 英之*1
Hideshi Shingeya

戸貝 公宣*2
Kuninori Togai

今田 潤司*3
Junji Imada

杉浦 稔*4
Minoru Sugiura

寺部 保典*5
Yasunori Terabe

山村 一生*6
Kazuo Yamamura

ごみ焼却発電プラントなど、固体燃料を熱源とするボイラでは、伝熱管に付着するダストの除去装置(スートブロワ)が用いられる。昨今の電力自由化に伴い発電能力の安定化が求められるため、ダストの除去に蒸気を消費しないスートブロワの導入が求められる。これに対して三菱重工業株式会社では、燃焼(爆轟)による衝撃波の力でダストを除去する爆轟波式除灰装置を開発し、ごみ焼却工場をはじめとした実機への導入を推進している。本報では爆轟波式除灰装置の特長、社内試験による機能検証事例、実機への展開事例を紹介する。

1. はじめに

固体燃料を熱源としたボイラ(例:ごみ焼却発電プラント・バイオマス火力プラント)では、運転継続に伴って高温の燃焼排ガスに含まれるダストが伝熱管に付着することで伝熱性能低下、ガス流路閉塞などを引き起こすため、付着したダストの除灰装置が設置される。従来の除灰装置としては蒸気を伝熱管に噴射するスートブロワが多く用いられてきたが、除灰のために蒸気を消費する関係で発電量が低下する、伝熱管が腐食摩耗により減肉しやすい、といった課題がある。

昨今の電力自由化に伴い発電能力の安定化が求められるため、ダストの除去に蒸気を消費しないスートブロワの導入が求められる。そこで三菱重工業株式会社(以下、当社)総合研究所では、爆轟(デトネーション)を利用してダストを除去する装置の開発を進めてきた。この装置は、爆轟波によって生成した衝撃波をボイラ内の空間に発射することで伝熱管に付着したダストを吹き飛ばすことができる。

本報では、開発した爆轟波式除灰装置の概要を説明後、社内装置での試験による除灰能力及び自着火防止機能の検証事例、実機における実証事例を示す。実証は三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社がお客様へ納入したごみ焼却プラントにて実施した。

2. 爆轟波式除灰装置の概要と特長

2.1 爆轟波式除灰装置の概要

装置フローの概略図を図1に示す。装置はボイラ(社内試験においてはダンプタンク)に取り付けて運転される。本装置が連通しているボイラやダンプタンク内の圧力はほぼ大気圧である。爆轟波式除灰装置は装置本体、バルブユニット、ポンプユニット、制御盤の4つで構成され、装置本体は炉内に接続される“主燃焼器”，爆轟波生成のための“プリデトネータ”，及び“エアカーテン”に分かれる。主燃焼器とプリデトネータの接続部は急拡大形状となっている。プリデトネータは

*1 総合研究所 燃焼研究部

*2 総合研究所 燃焼研究部 工博

*3 総合研究所 エコシステム研究推進部 主席研究員 技術士(機械)

*4 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 エンジニアリング統括部 設計部

*5 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 エンジニアリング統括部 設計部 グループ長 技術士(衛生工学)

*6 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 エンジニアリング統括部 デジタイゼーション・開発部

装置全長を短くするためにU字状とした。エアカーテンにより主燃焼器と炉内の間に空気を吹き込むことで、可燃混合気の自着火を回避することができる。

衝撃波発射動作時のシーケンスを図2に示す。ボンベユニットから供給される燃料ガス(エチレン)及び酸素が装置本体へ充填され(図2-①)、プリドネータ尾部のスパークプラグにより点火される(図2-②)。プリドネータ内でデフラグレーション-デトネーション遷移(DDT)により爆轟波が生成されて主燃焼器へ伝播し(図2-③)、燃料ガスの燃焼完了後は衝撃波が発射される(図2-④)。エアカーテンにより、混合気と高温の炉内ガスとの接触を遮断することで自着火を防止している。左記のシーケンスを数時間おきに1回、プラント中央制御室からの遠隔指示によって動作させる。

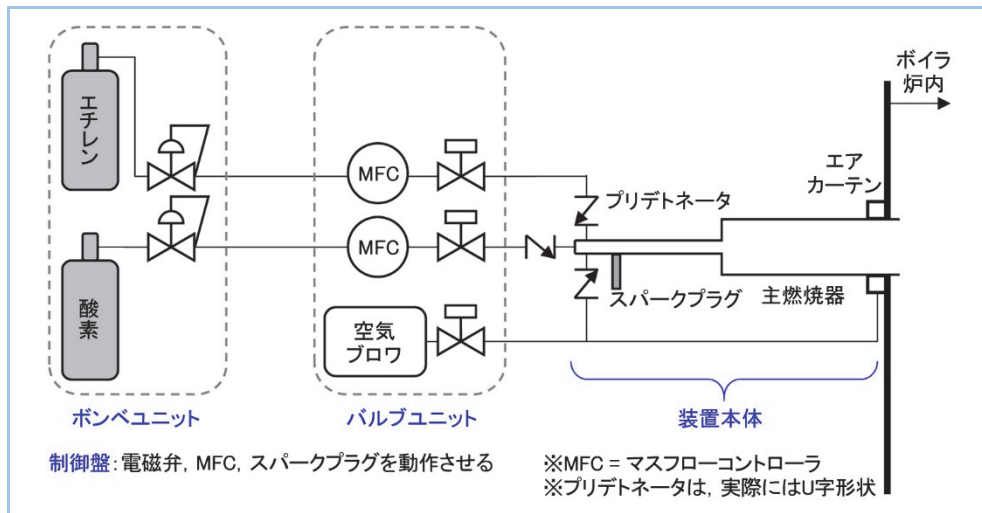


図1 爆轟波式除灰装置 装置フロー概略図

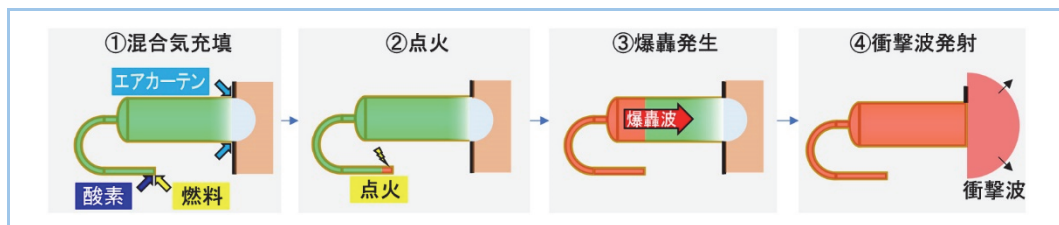


図2 爆轟波式除灰装置 作動時のシーケンス

2.2 爆轟波式除灰装置の特長

爆轟波式除灰装置の特長として、燃焼器はシンプルな構造で(1)メンテナンスコストの低減が可能である、(2)出力調整が可能である、(3)充填圧力がボイラ内圧とほぼ同等である、といったことが挙げられる。以下に詳細を述べる。

(1) メンテナンスコストの低減が可能

本装置の燃焼器はシンプルな構造で蒸気式スートブロワのような可動部分を持たないため、燃焼器自体に関して大規模な部品交換が不要であり、メンテナンスコストの低減が可能である。

(2) 出力調整が可能

ガス燃料使用量等の面からは、必要な除灰能力が得られる最低限の出力で運転させることが望ましい。本装置は、充填する混合気の量を調整することで、出力調整が可能である。

(3) 充填圧力がボイラ内圧とほぼ同等

プリドネータ及び主燃焼器はボイラ内と常に連通しており、混合気の充填も同圧力で行われる。したがって、ガス供給システムの圧力損失を賄うことができる圧力でガスを供給すれば良く、1MPa未滿に減圧したガスを使用することができるので、バルブユニット及び装置本体は高圧ガス保安法の対象外である。

3. 爆轟波式除灰装置の機能検証

3.1 爆轟波形成及び出力調整機能の検証

爆轟波式除灰装置により衝撃波を発射できること、また出力調整が可能であることを確認するため、社内試験設備(ダンプタンク)へ試作機を据え付けて一連のシーケンスを作動させた。このとき、主燃焼器内及びダンプタンク内(主燃焼器出口正面)の圧力履歴を計測した。図 3 に据付けの概略図及び圧力計測位置を示す。

図 4 に圧力計測結果を示す。主燃焼器内圧力の計測結果(図 4 左)から、混合気の充填量がある程度以上多ければ主燃焼器内ピーク圧力は CJ 圧力(Chapman-Jouguet 理論における爆轟波圧力)に近くなった。これにより、図 2-③のように主燃焼器内で爆轟波を生成できることを確認した。またダンプタンク内圧力の計測結果(図 4 右)から、混合気の充填量が多いほどピーク圧力が高くなった。このことから、混合気充填量により除灰能力を調整できることを確認した。

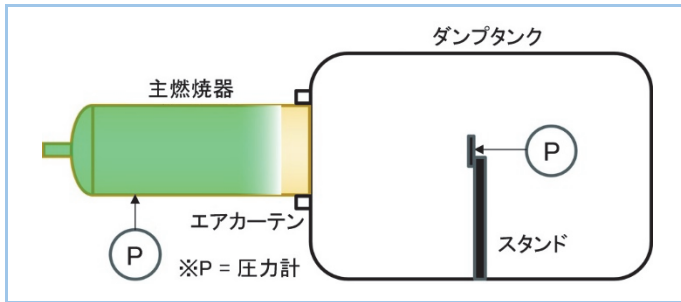


図3 ダンプタンク試験 外観, 概念図, 圧力計測位置

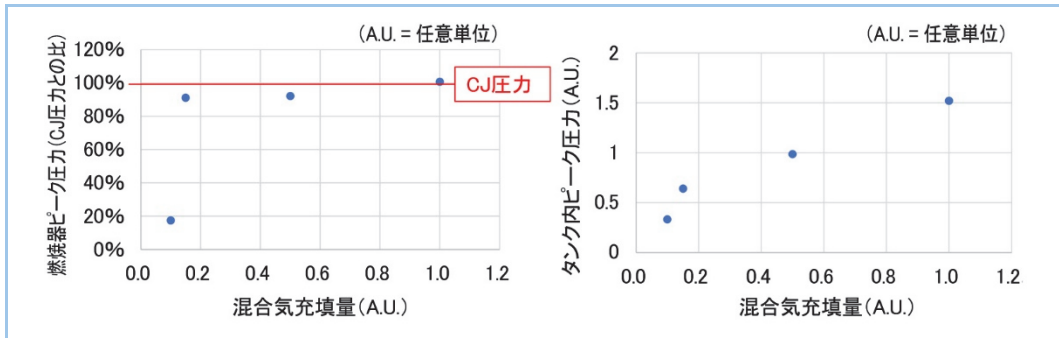


図4 ダンプタンク試験 圧力計測結果

3.2 エアカーテンによる自着火防止機能の検証

炉内ガスが高温であるような環境では、混合気充填中の自着火により炉内へ衝撃波を発射できない可能性が懸念される。エアカーテンにより自着火を防止できることを確認するため、社内試験設備(単一バーナ炉)へ試作機を据え付けて混合気充填シーケンスを作動させた。図 5 に単一バーナ試験炉の概略図を示す。試験では炉内ガス温度及び流速及びエアカーテン流量を変化させながら、自着火を回避できる運用条件の範囲を確認した。

図 6 に自着火を回避可能な温度範囲を示す。エアカーテン流量が異なるケースでの比較から、エアカーテン流量を増やすほど運用可能な温度範囲が広がることを確認した(エアカーテン流量が同じ場合、炉内ガス流速が低いほど運用可能範囲が広い)。また、国内ごみ焼却炉におけるボイラ過熱器配置部(想定温度:約 600℃・想定流速:約 3.0m/s)において自着火を防ぎながら除灰装置を運用できる見通しを得られた。

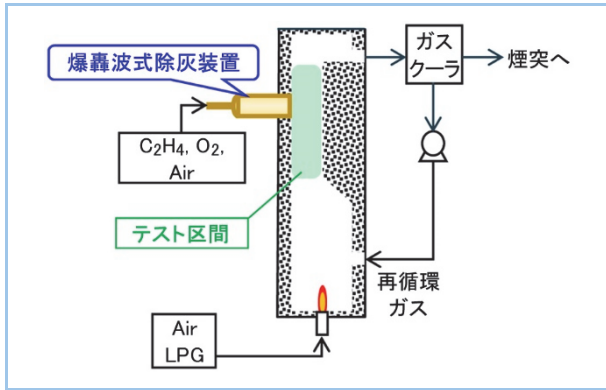


図5 単一バーナ炉試験 フロー概略図

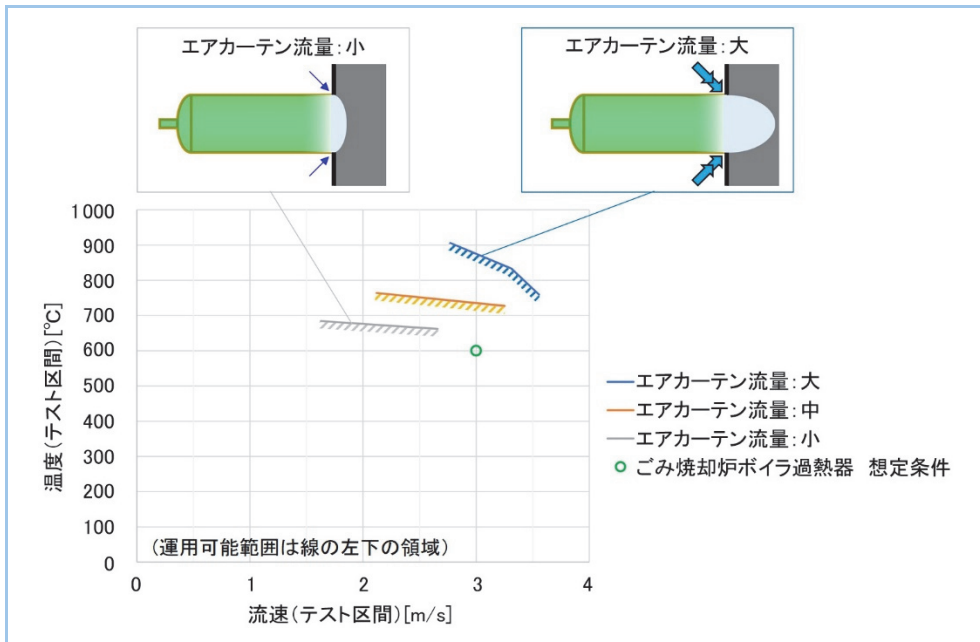


図6 単一バーナ炉試験 試験結果(運用可能温度・流速範囲)

4. 爆轟波式除灰装置の実機への展開事例

4.1 実機エコノマイザにおける長期実証結果

実機における除灰性能を実証するため、当社お客様保有設備(ごみ焼却炉発電プラント)のエコノマイザへ設置して約半年間の運用を実施した。図7に装置設置場所を示す。爆轟波式除灰装置1台でエコノマイザ全体の除灰を担った。実機に据え付けた状態で装置を作動させ、炉内へ伝播する衝撃波圧力を計測した結果を図8に示す。混合気充填量が異なるケースでの比較から、混合気の充填量が多いほど衝撃波圧力が高くなった。このことから、実機においても混合気充填量により除灰能力を調整できることを確認した。

長期運用期間における除灰能力は、エコノマイザ部分の熱貫流率を評価指標とした。評価式を図9に示す。爆轟波式除灰装置の運用条件(混合気充填量・動作頻度)を変えながら評価した結果を図10に示す。爆轟波式除灰装置への混合気充填量が少ない場合は蒸気式スートブロワ適用時より熱貫流率が低くなったが、出力調整により混合気充填量を増やした場合は蒸気式と概ね同等の熱貫流率となり、更に動作頻度を増やすことで蒸気式以上の熱貫流率が得られた。このことから、爆轟波式除灰装置1台でエコノマイザ部分の蒸気式スートブロワ3台分の除灰能力を有すること、また出力及び作動頻度の調整により除灰性能を変化させられることを確認した。

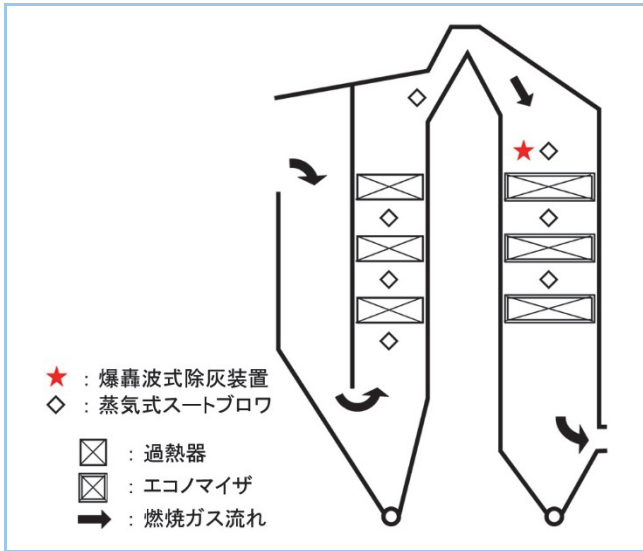


図7 実機エコノマイザへの除灰装置設置場所

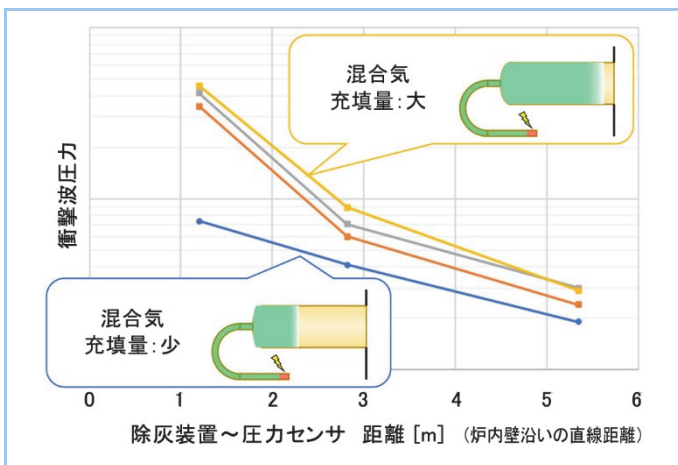


図8 実機エコノマイザ試験 圧力計測結果

熱貫流率の評価式

$$K_w = Q_w / (A \Delta T_{LM})$$

$$Q_w = G_w (H_{w,out} - H_{w,in})$$

K_w	: エコノマイザ(ECO) 水側の熱貫流率
Q_w	: ECO伝熱管 吸熱量
A	: ECO伝熱管 有効伝熱面積
ΔT_{LM}	: ECO伝熱管 ガスと水の対数平均温度差
G_w	: ECO伝熱管 水流量
$H_{w,in}$: ECO伝熱管入口 水エンタルピー
$H_{w,out}$: ECO伝熱管出口 水エンタルピー

図9 エコノマイザ熱貫流率 評価式

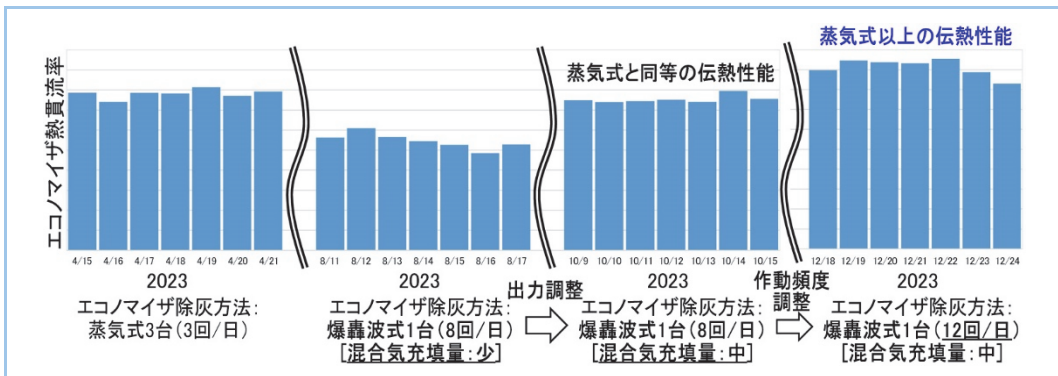


図10 実機エコノマイザ試験 除灰方法による熱貫流率への影響

4.2 実機過熱器における実証状況

当社お客様保有設備(ごみ焼却炉発電プラント)の過熱器へ爆轟波式除灰装置を設置しての長期運用を現在実施中である。図 11 に装置設置状況を示す。爆轟波式除灰装置 1 台で過熱器全段の除灰を担っている。

長期運用開始の際に、実機に据え付けた状態における正常作動の頻度(試射した回数のうち、自着火を起こさず炉内へ衝撃波を発射できた割合)を確認した。図 12 の縦軸に正常作動の頻度を示しており、エアカーテン流量が少ない場合は着火が起こるものの、流量を増やすことで自着火を防ぐことができた。このことから、エアカーテンによる自着火防止効果は実機でも有効であることを実証した。

現在は、爆轟波式除灰装置の運用条件(混合気充填量・動作頻度)を変えながらプラントをお客様に運転頂いており、蒸気式スートブロウと同等以上の除灰性能が得られることを長期運用にて実証する予定である。

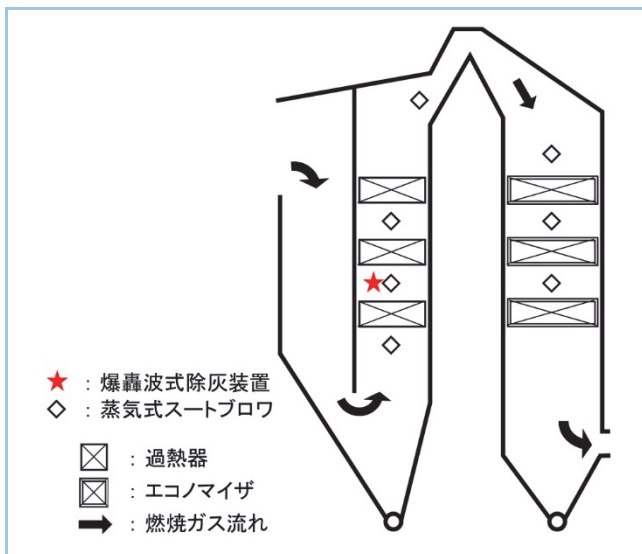


図 11 実機過熱器への除灰装置設置場所

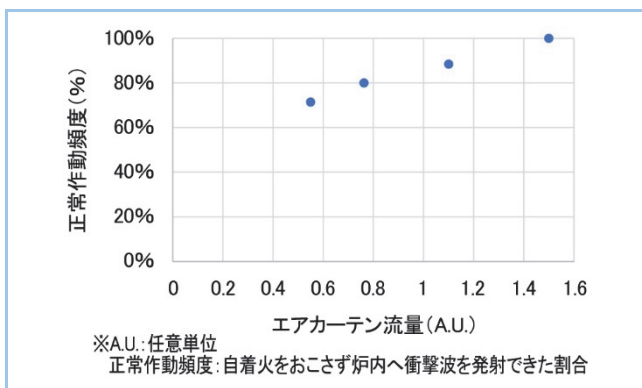


図 12 実機過熱器試験 エアカーテンによる自着火防止効果

5. まとめ

固体燃料を熱源としたボイラにおいて蒸気を使用しないスートブロウとして、当社では爆轟(デトネーション)を利用してダストを除去する爆轟波式除灰装置の開発を進めてきた。爆轟波式除灰装置は爆轟波によって生成した衝撃波をボイラ内の空間に発射することで伝熱管に付着したダストを吹き飛ばすことができ、①燃焼器はシンプルな構造でメンテナンスコストの低減が可能である、②出力調整が可能である、③充填圧力がボイラ内圧とほぼ同等である、といった特長を持つ。

開発した装置の機能を社内試験設備にて検証し、主燃焼器内で爆轟波を形成できること、混

合気充填量により除灰能力を調整できること、エアカーテンにより炉内ガスが高温であるような環境でも自着火を防ぎながら除灰装置を運用できることを確認した。

爆轟波式除灰装置をお客様保有設備(ごみ焼却炉発電プラント)のエコマイザへ設置した約半年間の運用により、爆轟波式除灰装置 1 台でエコマイザ部分の蒸気式ストブロワ 3 台分の除灰能力を有すること、また出力及び作動頻度の調整により除灰性能を変化させられることを実証した。現在は過熱器へ設置しての長期運用を実施中である。

三菱重工グループは今後もプラント運転安定化・発電効率向上といったお客様のニーズ、社会の要請に応える製品・サービスを提供していく所存である。

参考文献

- (1) 新家谷英之ら, 爆轟波式除灰装置の開発およびごみ焼却工場のボイラにおける実証, 第 45 回全国都市清掃研究・事例発表会 講演論文集 (2024) p.168
- (2) 戸貝公宣ら, 爆轟波式除灰装置の開発およびごみ焼却工場のボイラにおける実証, 2023 年度衝撃波シンポジウム 講演論文集 (2024) p.222
- (3) 新家谷英之ら, 爆轟波式除灰装置の開発およびごみ焼却工場のボイラにおける実証(第 2 報), 第 46 回全国都市清掃研究・事例発表会 講演論文集 (2025) p.222