

経済産業大臣賞 「水噴射と圧力波を組み合わせた 高効率ボイラクリーニング装置」 JFE エンジニアリング株式会社

1. 装置の詳細説明

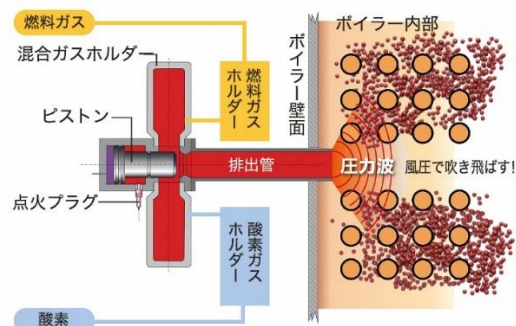
本装置は、ごみ焼却施設のボイラ伝熱面に付着した灰を除去するためのボイラクリーニング装置として、圧力波式と水噴射式のクリーニング装置を組み合わせた高効率ハイブリッドクリーニングシステムである。

圧力波クリーニング装置は、ボイラ全体に適用可能なクリーニング技術であり、特に対流伝熱室内の管群の付着灰除去に有効なシステムである。本装置はガスホルダー・着火装置を含む本体（図表1）と、バルブパネル、制御盤等で構成される。ボイラ壁面から約2m四方内に装置が収まり、従来のストブロウ、特に長抜差式と比較し非常にコンパクトなものである。そのため周囲の通行性を妨げない他、既存施設に追加設置する場合でもマンホール部に容易に取付可能である。図表2に圧力波クリーニング装置の付着灰除去原理を示す。燃料ガスと酸素を所定量・圧力で充填して点火することにより、ノズル部から圧力波がボイラ内に放出される。この圧力波により発生した風圧、振動で、伝熱面上の付着灰を広範囲に除去することが可能である。

水噴射クリーニング装置は、焼却炉運転中にボイラ放射室の清掃を可能とするシステムである。概略図を図表3に示す。本装置は水噴射ノズル、耐熱ホースを収納しているドラムユニット、ボイラ放射室への水噴射ノズル挿入口であるエントリーホップ、ポンプユニット及び制御盤で構成される。運転操作により、エントリーホップのゲートが開き、水噴射ノズル及び耐熱ホースが稼働中の放射室内へ挿入され、水噴射ノズルが回転しながら放射室頂部から底部まで



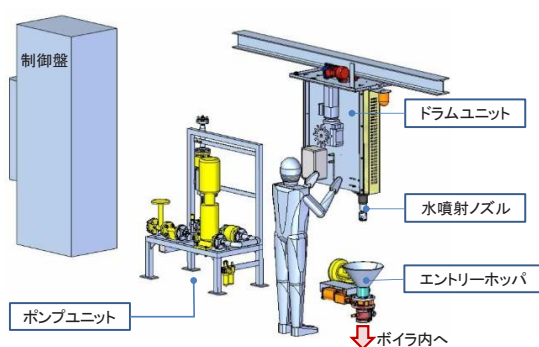
図表1 圧力波クリーニング装置外観



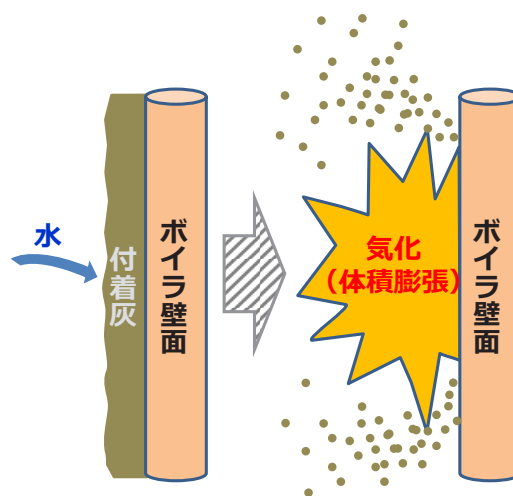
図表2 圧力波クリーニング装置付着灰除去原理

を数分間で1往復する。ホース挿入量の設定を変更することで、任意の高さ（範囲）だけの清掃も可能である。図表4に示すとおり、水噴射ノズルから噴射された水は、水冷壁管上の付着灰に接触し、蒸発する際の体積膨張により付着灰を除去する。水噴射ノズルが水を噴射しながらボイラ放射室頂部から底部まで往復することにより、水冷壁管の付着灰を万遍なく除去することが可能である。使用ユーティリティは水、計装空気、電源のみであるため、新設・既設問わず容易に設置可能である。また、消耗部品が少なくメンテナンスも容易である。

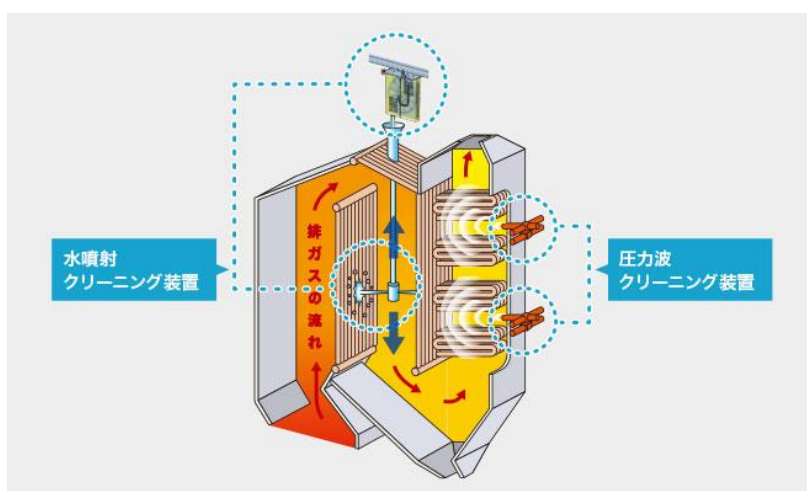
本書で述べるクリーニングシステムは、放射室に水噴射クリーニング装置、管群部に圧力波クリーニング装置を設置したものである。配置例を図表5に示す。



図表3 水噴射クリーニング装置概略図



図表4 水噴射クリーニング装置付着灰除去原理



図表5 ハイブリッドクリーニングシステム配置例

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

従来のボイラクリーニング装置は図表 6 に示すとおり、蒸気式スートブロワを対流伝熱室内の管群部付近に配置することが主流であったが、以下の課題があった。

- ・ 発電用蒸気の消費による発電効率低下と、それに伴う買電の発生
- ・ 蒸気煤吹きに伴うエロージョンによる伝熱管の減肉助長
- ・ ボイラ放射室の付着灰成長に伴う収熱効率の低下
- ・ 蒸気式スートブロワの損耗に伴う清掃能力低下や灰閉塞による計画外炉停止

そこで、当社は清掃範囲拡大・清掃能力向上による発電効率の改善とボイラの長寿命化を目指し、蒸気を使用しないクリーニング装置を放射室と対流伝熱室双方に設置する検討を開始した。当初は圧力波クリーニング装置のみを設置することを検討していたが、インシャルコストとメンテナンスコストともに大きく改善できる水噴射式と圧力波式のクリーニング装置を組み合わせたハイブリッドクリーニングシステムを選択し、国内で初めて実用化した。以下に経緯を示す。

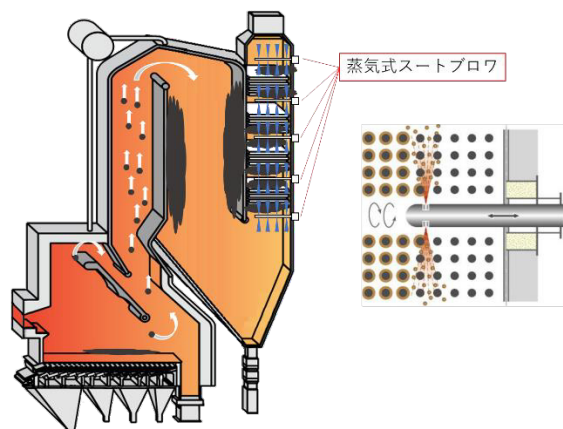
2015年2月	圧力波クリーニング装置実証試験開始
2016年1月	圧力波クリーニング装置商品化
2016年3月	水噴射クリーニング装置実証試験開始
2016年12月	水噴射クリーニング装置商品化
2017年12月	第1号機納入

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

なし



図表 6 蒸気式スートブロワ

3. 独創性

当社は圧力波式と水噴射式のクリーニング装置を組み合わせた高効率ハイブリッドクリーニングシステムを国内で初めて実用化した。前述のとおり、従来は蒸気式スートブロワの使用による発電用蒸気の消費が課題であったが、スートブロワ用蒸気が不要となり、発電効率の改善が実現した。さらに本システムの導入により長期にわたってボイラの収熱性能を高い水準で維持可能となったため、システム導入前に比べて売電量が約 17%改善した。加えて清掃能力・清掃可能範囲が拡大することで、定期点検時の清掃費を約 70%低減した。これらの効果によって、20 年間のコストが 99%低減される見通しを得た。詳細は「6. 経済性」に記す。

また焼却炉運転中においても、放射室の任意の範囲の清掃が可能である水噴射クリーニング装置と、対流伝熱室内の管群を含めた広範囲な付着灰の除去を実現する圧力波クリーニング装置を組み合わせることで、ボイラ全体が良好に清掃された状態に維持される。新規にボイラの建設、設計を行うにあたり、放射室の付着灰の清掃ができない従来方式では、特に時間経過に伴う付着灰の成長による伝熱量の低下をあらかじめ考慮して、伝熱面積に余裕を持たせる必要があった。本システムの導入によりその余裕が不要となり、伝熱面積の低減を可能とする。さらに放射伝熱面が良好な状態に保たれるため、過熱器入口ガス温度が適切に維持され、かつ過熱器の収熱効率をコントロールできるため、前述の蒸気使用量低下とは異なるアプローチによる発電効率の改善が期待できる。詳細は「7. 将来性」に示す。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 5 件を取得済み。

- 特許番号：第 5971438 号 / 名称：ボイラのダスト除去装置及びダスト除去方法
- 特許番号：第 6693239 号 / 名称：ボイラのダスト除去装置及びダスト除去方法
- 特許番号：第 7358925 号 / 名称：ボイラのダスト除去装置及びダスト除去方法
- 特許番号：第 6863257 号 / 名称：廃棄物焼却炉ボイラの閉塞および腐食の抑制方法
- 特許番号：第 7153431 号 / 名称：ボイラの腐食防止装置及び腐食防止方法

5. 性能

第 1 号機納入先におけるシステム導入前後の付着灰除去性能及びその効果の比較を図表 7 に示す。システム導入前に比べ、システム導入後は明らかに付着灰除去性能が向上しており、それに伴う過熱器入口ガス温度低下、焼却性能の維持、連続運転日数の増加が確認された。

(1) 付着灰除去性能

図表 8 及び図表 9 は炉停止時に確認したボイラ第 2 放射室側面の内部状況である。水噴射クリーニング装置を使用しない場合は、200 日間操業時点において多量の灰が付着しているのに対し、使用した場合は同じく 200 日間操業時点において付着灰が明確に減少しており、水噴射クリーニング装置の高い付着灰除去性能を目視からも確認可能であった。図表 10 及び図表 11 は同じく炉停止中に確認した過熱器管の状況である。圧力波クリーニング装置を使用しない場合は、100 日間操業時点において多量の灰が付着しているのに対し、使用した場合は、200 日間操業時点において付着灰が明確に減少しており、圧力波クリーニング装置の高い付着灰除去性能についても目視にて確認可能であった。

図表7 システム導入前後の比較

		システム導入前	システム導入後
付着灰厚	放射室	10 mm (図表 8)	3 mm (図表 9)
	管群部 (過熱器)	10 mm (図表 10)	3 mm (図表 11)
過熱器入口ガス温度		—	装置導入前-50℃
焼却量 [※]		140 t/d 前後	150 t/d 前後
連続運転日数		100~150 日間	200 日間

※建設時定格焼却量：150t/d



図表 8 放射伝熱面

(水噴射クリーニング導入前、200 日間操業)



図表 9 放射伝熱面

(水噴射クリーニング導入後、200 日間操業)



図表 10 過熱器

(圧力波クリーニング導入前、100 日間操業)



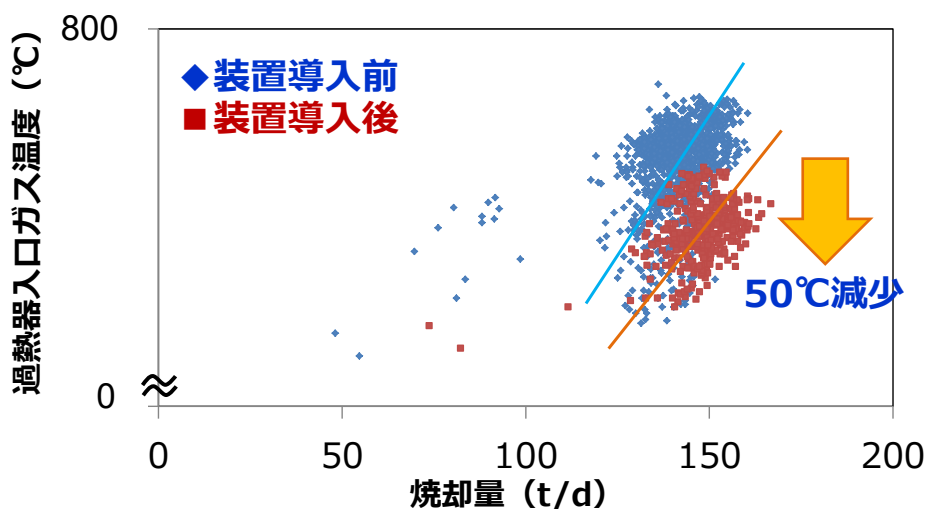
図表 11 過熱器

(圧力波クリーニング導入後、200 日間操業)

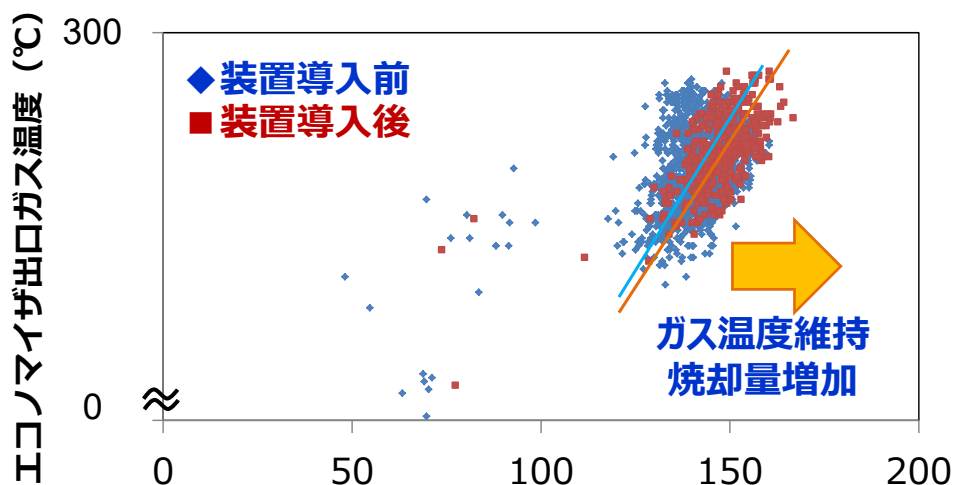
(2) ボイラ収熱向上

装置導入前後の過熱器入口ガス温度推移を図表 12 に示す。水噴射クリーニング装置導入により放射室が良好に清掃され、ボイラ本来の収熱性能を維持できたため、導入前よりも焼却量が僅かに増加しているにもかかわらず、ガス温度は約 50℃低い状況に改善された。次に装置導入前後のエコノマイザ出口ガス温度推移を図表 13 に示す。圧力波クリーニング装置導入により過熱器及びエコノマイザが良好に清掃されたため、ガス温度を維持できる状態に改善した。

このことから、より多くの熱量が回収可能になったと言える。



図表 12 過熱器入口ガス温度

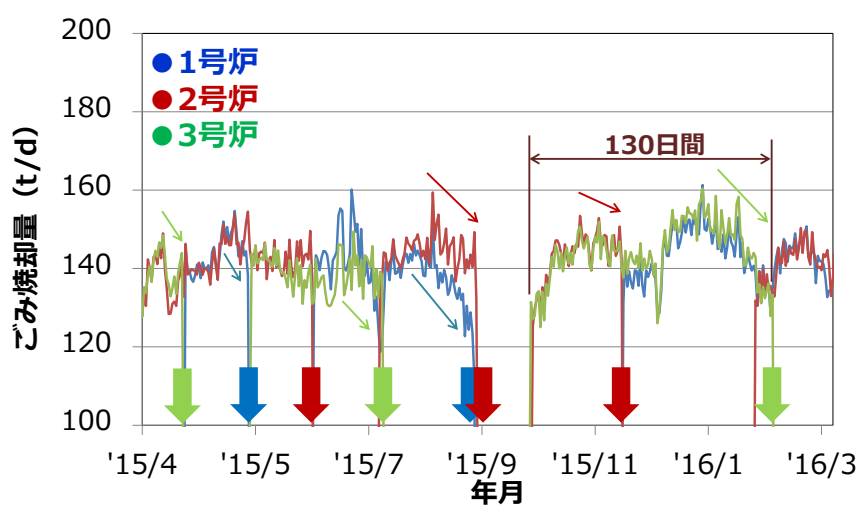


図表 13 エコノマイザ出口ガス温度

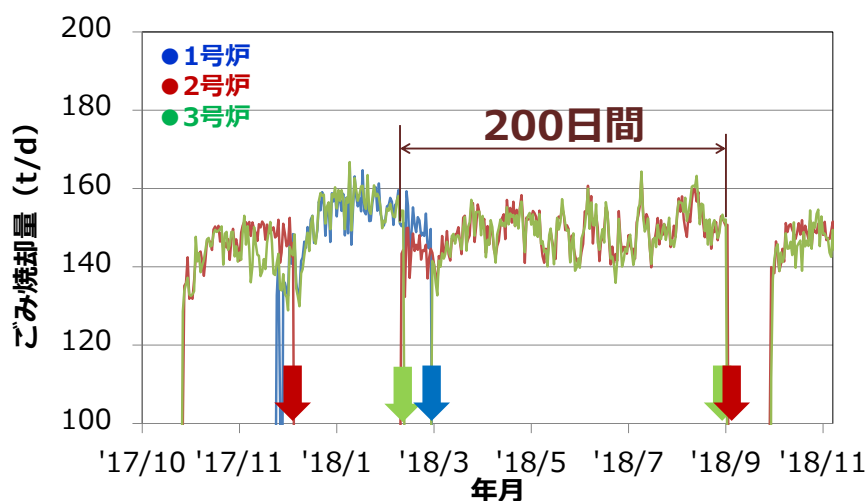
(3) 焼却量の安定化、連続運転能力の改善

本装置の導入により焼却量の安定化、連続運転能力の改善効果も見られた。図表 14 及び図表 15 に装置導入前後のごみ焼却量の推移を示す。装置導入前において、ごみ焼却量は 140t/d 前後を推移していたが、ボイラの収熱悪化によるガス温度上昇のため、徐々に焼却量を減らして立ち下げ・清掃を実施している状況であった。このとき運転日数はおよそ 100～150 日間であった。

一方、装置導入後は、(2) に示したボイラの収熱向上によるガス温度低下により、操業期間を通じてごみ焼却量は定格 150t/d 前後を推移し、焼却量を減少させることなく連続運転日数が約 200 日間まで改善された。



図表 14 ごみ焼却量推移 (装置導入前)



図表 15 ごみ焼却量推移 (装置導入後)

6. 経済性

以下3ケースにおける20年間の経済性比較を図表16及び図表17に示す。なお、申請システムはケース③である。

- ・ケース①：放射室にはクリーニング装置設置なし、管群部に蒸気式スートブロワのみ設置
- ・ケース②：放射室、管群部共に圧力波クリーニング装置を設置
- ・ケース③：放射室に水噴射クリーニング装置、管群部に圧力波クリーニング装置を設置

ケース①とケース②を比較すると、ケース②では装置費と機器メンテナンス費が増加するものの、清掃費低減と売電増加の金額効果の方が大きいいため、20年間のコストを42%低減可能である。さらに、申請システム（ケース③）では圧力波式と水噴射式を併用することによって、装置費・機器メンテナンス費が大幅に削減可能である。これにより、ケース③はケース①と比較して20年間のコストを99%低減可能である。

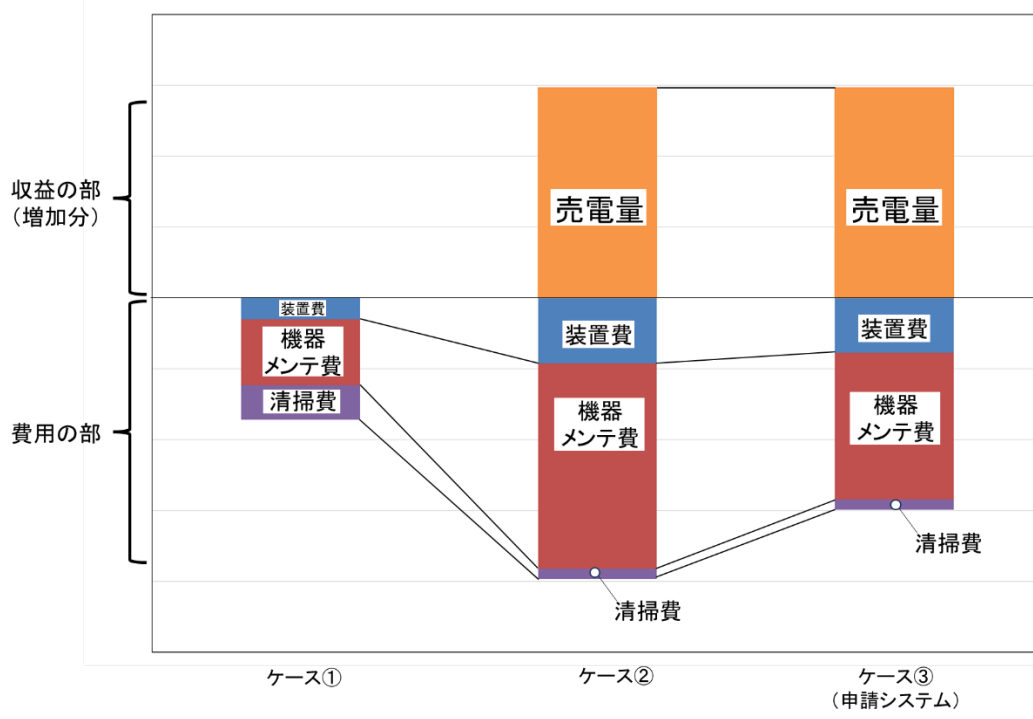
また、水噴射クリーニング装置の導入により、過熱器の雰囲気ガス温度が適切に維持され、過熱器の腐食抑制が可能となる。さらに、従来の蒸気式スートブロワでは蒸気での煤吹きに伴う過熱器のエロージョンが課題であったが、圧力波クリーニング装置は原理的にエロージョンを引き起こさないため、過熱器の損傷・減肉リスクが小さい。これらの効果により、上記に加え過熱器の寿命改善、交換コスト削減が見込めると考える。

さらに、水噴射クリーニング装置と圧力波クリーニング装置は従来の蒸気式スートブロワと比較して清掃能力が高いため、ボイラ閉塞等による計画外の炉停止リスクとそれに伴う費用が大幅に低減するといったコストメリットもある。

図表16 各装置構成における経済性比較（20年間）

		ケース①	ケース②	ケース③ (申請システム)
装置構成	放射室	—	圧力波式	水噴射式
	管群	蒸気式スートブロワ	圧力波式	圧力波式
費用の部	装置費	18	54	45
	機器メンテナンス費	54	169	121
	清掃費	28	8	8
	小計	100	231	174
収益の部	売電量増加	0	-173 ※負の数値は 収益改善を示す	-173 ※負の数値は 収益改善を示す
	小計	0	-173	-173
合計		100	58	1

単位：％



図表 17 各装置構成における経済性比較 (20年間)

7. 将来性

本装置は現在国内6工場にて運用中であり、さらに11工場での導入が決定している。また、今後も新規工場及び既設炉へ積極的に導入予定である。なお、一般廃棄物処理工場のみならず、産業廃棄物処理工場への導入も可能である。

従来方式では焼却炉運転中にボイラ放射室内の付着灰の清掃ができないため、付着灰による伝熱量の低下をあらかじめ考慮し、伝熱面積に余裕を持たせる必要があった。しかし、水噴射クリーニング装置を設置して適切な運転頻度で清掃を実施する場合は、放射伝熱面が常に良好な状態に維持されるため伝熱面積の余裕が不要となる。そのため、本装置を導入することでボイラ放射室の伝熱面積を12%削減しても、従来と同等の発電量を確保できると試算されている。ボイラ放射室の小型化は材料費や施工費等の削減に加え、省スペース化によるプラント全体への影響度も大きい。また、上述のとおり、従来はボイラ放射室の伝熱面積に余裕を持たせる必要があったため、焼却量の少ない部分負荷運転時に過熱器入口ガス温度が低下し、蒸気温度が上がり難いという課題があった。しかし、本設計の採用により部分負荷運転時においても過熱器入口のガス温度を適切に制御可能となる。その結果、ガス温度の過度な低下を防ぎ、蒸気温度を適切に維持できるため、発電効率は約1.5%向上すると予測される。今後、プラスチックの分別が進み、ごみ発生量の低下が想定される中、運営期間中の総発電量の向上が期待できる。

また、このハイブリッドクリーニングシステムの導入により、過熱器入口のガス温度を適切に維持することが可能となる。これは、従来成し得なかった「ごみ焼却炉用ボイラの腐食環境制御」を実現できることを意味する。装置の特性上、摩耗リスクも抑えられ、過熱器の腐食減肉リスクが大幅に削減され、ライフサイクルコストを抑えつつ高水準かつ安定した発電が可能となる。

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、ごみ焼却炉においてもボイラの高圧化等による発電効率の向上が求められる昨今において、腐食リスクを最小限にしながら高水準かつ安定した発電を可能とする本システムの需要は高く、国内外市場への更なる展開が期待される。