

ショットクリーニング装置を具備した 高効率廃棄物発電ボイラ

～高効率熱回収とライフサイクルコスト低減を
実現した廃棄物発電ボイラ～

Waste to Energy boiler equipped with shot cleaning system
～Waste to energy boiler of achieving high-efficiency heat recovery and
reduction life cycle cost～

川田 一輝 Kazuteru KAWATA
環境ソリューション事業部 技術部
プラント技術室 室長

戸高 光正 Mitsumasa TODAKA
日鉄住金環境プラントソリューションズ株式会社

泉屋 亨 Toru IZUMIYA
環境ソリューション事業部 プロジェクト部
海外プロジェクト室 室長

倉橋 文平 Bunpei KURAHASHI
環境ソリューション事業部 技術部
プラント技術室

抄 録

廃棄物発電ボイラにおいて、ボイラ伝熱阻害要因となるダストを除去するための装置として「スートブロー方式」が一般的に採用されている。しかし、この方式は本来発電に利用できる高圧蒸気を使用するため発電量が低下することや、広い設置空間を必要とする等の課題があった。これらの課題を解決するため、従来火力発電所の低温熱交換器で使用されてきた「ショットクリーニング方式」を改良し、本方式に最適化した廃棄物発電ボイラを構築した。これにより、装置設置空間の大幅削減による建設費の削減、消費電力低減と整備費削減による運営費低減、及びスートブロー方式を上回るダスト除去効果による熱回収率向上効果を確認したので報告する。

Abstract

Soot blower is generally applied as a dust removal equipment for waste to energy plant boilers. However, since soot blower system uses high pressure steam that can be used for power generation, it has a problem of power generation drop. In addition, it needs wide installation space. To solve these problems, we improved shot cleaning system which has been used for low temperature heat exchanger in power plant, and developed waste to energy boiler which is optimized the application of the system. As the result of development of this system, we reduced boiler size and dust removal equipment installation space and improved dust removal and power generation efficiency compared to conventional boiler which applies soot blower system. This paper covers description of waste to energy boiler with shot cleaning system and its advantageous effect.

1 緒言

近年廃棄物発電施設は、廃棄物を衛生的に無害化・減容化するだけでなく、安定的な自立・分散型エネルギー供給施設としての役割が注目されている。また、2015年12月の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)で採択された「パリ協定」や2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」を踏まえ、廃棄物処理分野においては廃棄物由来の温室効果ガスの削減とエネルギー供給の拡充を図るべく、3R(廃棄物の発生抑制, 再使用, 再生利用)を推進しつつ、残る再使用・再利用が困難な廃棄物については廃棄物発電等の導入による熱回収の徹底とその熱回収効率向上が求められている¹⁾。廃棄物発電プラントメーカーにおいては廃棄物処理の安全性・安定性を維持しながら、プロセスや設備要素技術の革新によって熱回収効率を向上させ、低炭素社会へ貢献していくことはもちろん、建設費及び整備費の削減による自治体財政負担の軽減も期待されている。

廃棄物発電施設では、廃棄物の焼却または溶融処理により発生する燃焼排ガスの熱をボイラにて蒸気として回収して発電する。このとき燃焼排ガスに含まれるダスト成分がボイラ伝熱面に付着することで伝熱効率が低下し、設備稼働時間の経過とともに蒸気発生量(発電量)が減少していくため、定期的なダスト除去が必要となる。これまでダスト除去装置として、高圧蒸気力でダストを除去する「スートブロー方式」が一般的であったが、広い設置空間を必要とすることに加え、本来発電に利用できる高圧蒸気を使用するためスートブロー運転時に発電量が低下する等の課題があった。また噴射蒸気由来のドレンによるドレンアタックや腐食等のボイラ水管損耗リスクから、長期安定操業の面での課題もあった。これらの課題を解決するため、スートブロー方式に替わるダスト除去方式として、古くから火力発電所の低温熱交換器で使用されてきた「ショットクリーニング方式」に着目し、廃棄物発電ボイラの高温域に適用可能な装置として確立した。さらに本方式の適用に最適化したボイラを構築したことにより、ボイラ本体及びダスト除去装置の設置空間を大幅に削減し、スートブローを上回るダスト除去効果を発揮

しつつ、発電量の低下を防止することが可能となった。以降にショットクリーニング方式を適用した廃棄物発電ボイラの概要と装置導入の効果について紹介する。

2 ショットクリーニング方式の概要

2.1 技術の概念

図1は廃棄物発電ボイラの一部を3次元モデル化した図である。水冷壁で囲われた燃焼排ガスの流路の中に、ガス流れに対して直行する水管群が配置されている。図2にショットクリーニング装置の概略図を示す。本プロセスは、ボイラ上部から分散落下させた鋼球の落下衝撃により、ボイラ内部の水管もしくは水冷壁の付着・堆積ダストを除去する²⁾³⁾。以下にダスト除去フローを示す。

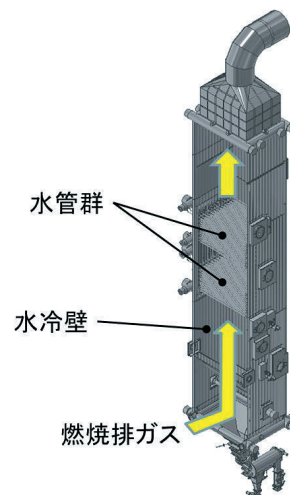


図1 ボイラ模式図
Fig. 1 Boiler sectional view

①鋼球搬送

搬送空気によりボイラ上部へ鋼球を空送

②鋼球分散

ボイラ上部鋼球分散装置にて鋼球分散落下

③ダスト除去

鋼球の衝撃で付着・堆積ダストを除去

④鋼球回収

ボイラ下部鋼球分離装置で鋼球とダストを分離
回収した鋼球は再使用

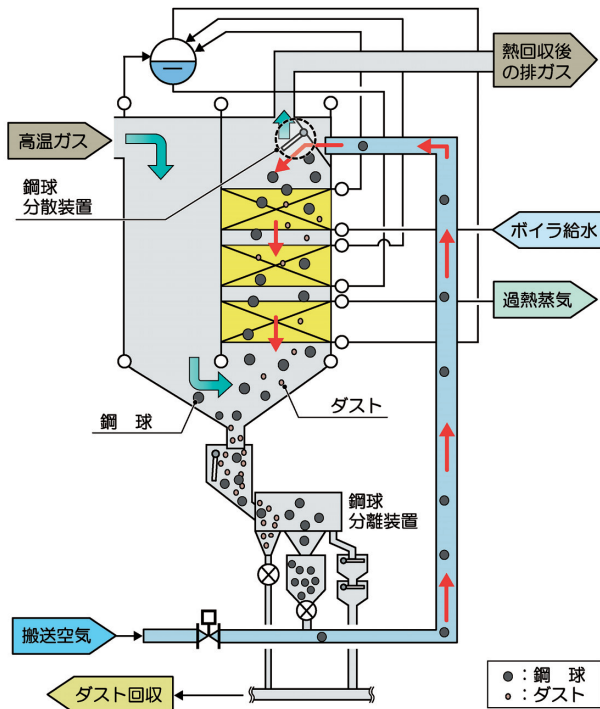


図2 ショットクリーニング装置概略図
Fig. 2 Schematic diagram of shot cleaning system

2.2 廃棄物発電ボイラに適用する上での技術課題と解決手段

ショットクリーニング方式自体は既存技術であったが、従来は火力発電所の低温熱交換器に使用されていた方式であり、本方式を廃棄物発電ボイラの高温域まで適用可能とし、最適な形態として具現化するためには多くの難易度の高い課題を解決する必要があった。具体的には、鋼球切出装置、鋼球搬送機器、鋼球分散装置、及び鋼球回収冷却装置等の全構成機器に当社独自の特許化された開発技術を織込み、初めて廃棄物発電ボイラ向けに適用が可能になったと言える⁴⁾。表1にショットクリーニング方式適用時における技術課題と解決手段を示す。

表1 ショットクリーニング方式適用における課題と解決手段
Table 1 Challenges and approaches for applying shot cleaning system

①高温領域への対応
【課題】 ・従来技術は低温領域のみを対象としており、高温腐食雰囲気への対応
【解決手段】 ・垂直式ボイラ水管群配置を工夫し、鋼球吹込み装置を低温領域に配置 ・炉内腐食ガスから装置を保護する鋼球吐出遮断弁の開発 ・使用済み鋼球の冷却装置の開発
②ライフサイクルコストを最小化した鋼球搬送方式の選定と実現
【課題】 ・従来技術は機械搬送式(コンベヤ)であり、コストが高く、設備空間も多大

- ・適正鋼球サイズの探求およびスケールアップに対応可能な搬送方式の確立
- 【解決手段】
・空送方式を採用
・空気輸送管1本から、複数個所に吹込みを実現する方向切替弁の開発

③鋼球分散性の実現

- 【課題】
・全範囲ダスト除去を実現するため鋼球を均一分散させる装置の構築
- 【解決手段】
・空送により得られた鋼球の運動エネルギーを鋼球分散性に利用
・空送により吹き込まれた鋼球を均一分散する可動式衝突板の開発

④ダストと鋼球分離性の実現

- 【課題】
・回収したダストと鋼球の分離
・鋼球回収後の再利用に向けた空送ライン(インジェクタ圧)との縁切り
- 【解決手段】
・耐久性の高いトロンメル方式の採用によりダスト(塊・灰)と鋼球を分離
・空送ラインとの縁切り機能を備えた鋼球切出しフィーダの開発

また、表2に本装置の開発にあたり特許化した技術及び特許出願中の技術を列記する。

表2 取得済及び出願中特許
Table 2 Patented and patent-pending technology

特許5079465	ショットクリーニング装置およびショットクリーニング装置のショット球回収方法
特許5250862	ロータリー式粉粒体切出装置
特許5390225	ショットクリーニング装置の鋼球回収装置及び鋼球回収方法
特許5415793	ショットクリーニング装置の鋼球回収装置及び鋼球回収方法
特許5840063	ショットクリーニング用のショット球散布装置、ショット球散布方法及びボイラ
特許5844208	ショットクリーニング用のショット球散布装置、ショット球散布方法及びボイラ
特許5904852	ロータリー式粉粒体切出装置
特許5946682	ロータリー式粉粒体切出装置
特願2016-4313	ショット球回収装置
特願2016-4314	ショット球回収装置
特願2016-32896	クリーニングシステム

2.3 ショットクリーニング方式導入による期待効果

一般的なスートブロー方式の代わりにショットクリーニング方式を適用した場合、次のような効果が得られる。

(1) 熱回収効率向上効果

従来のスートブロー方式は高圧蒸気を水管に噴射して付着したダストを吹き落とす方式であり、この高圧蒸気には本来蒸気タービンへ供給する蒸気の一部を使用する。このためスートブロー装置の運転中は発電量が低下し、特に小規模施設の場合にはボイラで発生する蒸気量に対するスートブロー使用蒸気量の割合が相対的に大きくなるため、発電量低下が顕著になる。施設の消費電力を発電電力で賄いきれなくなれば電力会社からの買電が必要となり、ター

ピンへの供給蒸気量が極端に低下すればタービントリップの懸念もあるため装置運転回数は制限される。さらにスートブローによる蒸気消費ピークを平準化するためアキュムレータ等のバッファ設備が別に必要になることもある。

一方、ショットクリーニング方式は蒸気を使用しないため、スートブロー方式で使用していた高压蒸気を発電に利用できるだけでなく、発電量の制約により運転頻度を制限する必要がないため、運転間隔の短縮により水管伝熱面汚れの抑制が可能である。

図3にスートブロー装置とショットクリーニング装置の運転間隔とボイラ出口排ガス温度の概念図を示す²⁾。稼働時間の経過とともに水管付着ダストが成長し伝熱が阻害されるため、ボイラ出口排ガス温度が上昇し、ダストが払い落とされるとボイラ出口排ガス温度が所定の値に回復する。ここでダスト除去装置運転間隔が短いほどダスト成長が抑えられ、ボイラ出口排ガス温度上昇が抑制される。ボイラ入口排ガスの流量と温度が同じであれば、ボイラ出口排ガス温度が低い程熱回収量も多くなるため、出口温度の時間積分値の差(図中の斜線部分)に相当する熱回収量向上が期待できる。

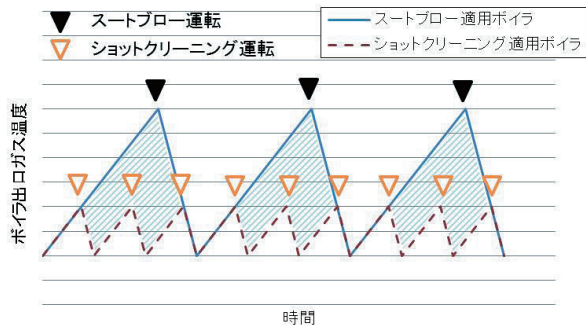


図3 ダスト除去装置運転間隔とボイラ出口排ガス温度の関係(概念図)
Fig. 3 Relationship between operation interval and boiler outlet gas temperature (concept)

(2) 建設費削減効果

スートブロー装置はボイラ外壁に設置されており、運転時には蒸気噴射ノズルがボイラ内部へ差し込まれ、ノズルが回転しながら前後進する(図4)。これにより蒸気が螺旋状に噴射され、広範囲の水管付着ダストを払い落とす仕組みになっている(図5)。ボイラ全体に亘ってダストを除去する場合、蒸気噴射ノズルの稼働範囲はボイラと同幅である必

要があるため、装置自体もボイラと同幅以上の長さが必要となる。また、噴射蒸気の距離減衰によりダスト除去有効範囲が制限されるため、図6のように一定間隔で装置を設置する必要があり、ボイラ本体

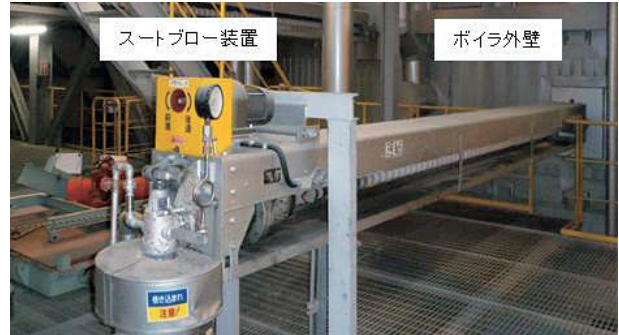


図4 スートブロー装置(写真)
Fig. 4 Soot blower equipment (photo)

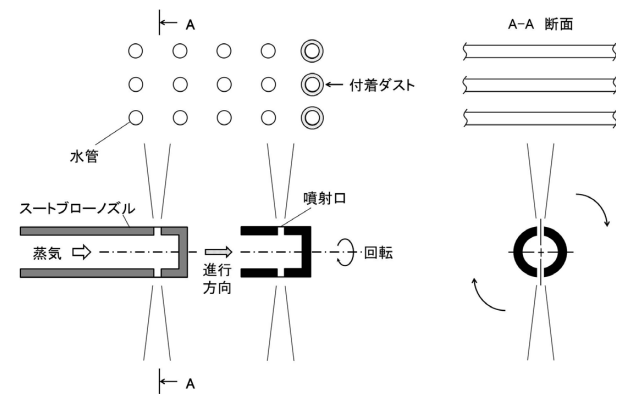


図5 スートブローによるダスト除去
Fig. 5 Dust removal by soot blower

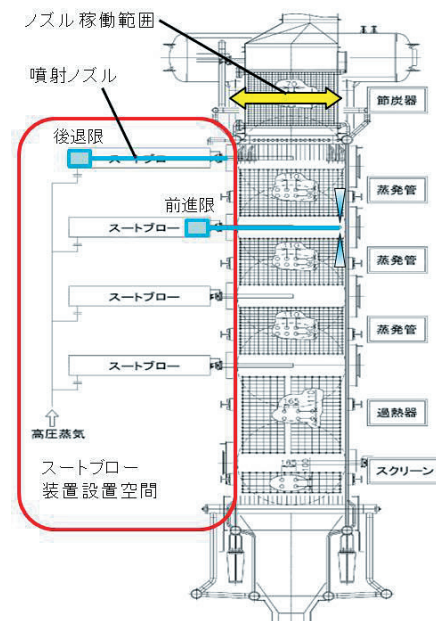


図6 スートブロー装置稼働範囲と設置空間
Fig. 6 Soot blower equipment movement range and installation area

と装置が占有する空間は多大となる。さらに、噴射蒸気の効果範囲を確保するために水管群の水管ピッチ縮小にも限界があり、ボイラ本体のコンパクト化を妨げている要因にもなっていた。

一方、ショットクリーニング方式を適用したボイラは、噴射蒸気効果範囲の配慮が不要であることから、水管ピッチ縮小が可能であるとともに、ピッチの縮小は鋼球の衝突効率を高める効果も生み出している。さらに水管ピッチの縮小により熱交換効率が向上するため、伝熱面積も削減でき、ボイラ本体のコンパクト化が可能である。

図7にスートブロー方式適用ボイラ並びにショットクリーニング方式適用ボイラの水管群断面配置比較を示す²⁾⁴⁾(スートブロー方式適用ボイラの水管幅方向ピッチを1とした比を示す)。ショットクリーニング方式適用ボイラは、水管ピッチの縮小と鋼球分散を目的とし千鳥配置を採用している。水管1本あたりの断面占有面積(図中斜線部の面積)はそれぞれ

〈スートブロー方式適用ボイラ〉

$$1 \times 0.67 \div (1/4 \times 4) = 0.670 \dots \textcircled{1}$$

〈ショットクリーニング方式適用ボイラ〉

$$1.21 \times 0.82 \div (1 + 1/4 \times 4) = 0.496 \dots \textcircled{2}$$

となり、スートブロー方式適用ボイラに比べ体積比約74% ($\textcircled{2} \div \textcircled{1} = 0.74$)のコンパクト化を実現している。また装置本体の設置空間も、ボイラ下部の鋼球分離装置、上部の鋼球分散装置、及び空送配管だけ(図2参照)のスペースだけで良い。

以上より、ショットクリーニング方式はスートブロー方式に比べ、大幅な設置空間の削減が可能であり、建屋の建設費の削減が期待できる。

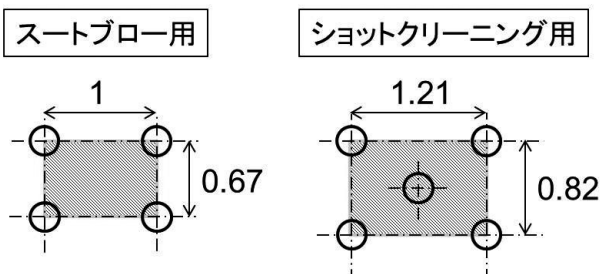


図7 ボイラ水管幅方向及び高さ方向ピッチ
Fig. 7 Tube pitch of cross and height direction

(3) 整備費削減効果

スートブロー方式の場合、噴射蒸気の到達範囲や噴射力の影響から、ダスト除去が不十分な個所が発生するため、炉休止時等を利用した定期的な人の手による清掃が必要となる。一方ショットクリーニング方式では、稼働中の通常のダスト除去運転のみでボイラ全体のダストを除去可能であるため、定期清掃に掛かる費用の削減が期待できる。

次にスートブロー方式とショットクリーニング方式の水管損耗対策について述べる。

スートブロー方式では、噴射蒸気に混在するドレンが直接到達する範囲はドレンアタックによる水管損傷が生じるため、プロテクタ(肉盛りや当て板等)による対策が必要であり、過熱器などの高温部ではプロテクタ材質も Alloy625等の高価な材質が要求される。

これに対しショットクリーニング方式は、鋼球アタックによる水管損傷が懸念される。このため、ダスト除去に必要十分かつ水管を傷めない程度に鋼球衝撃を制御する設計配慮が必要となる。本装置構成で鋼球衝撃が最大となる位置は空送吹込みによる運動エネルギーを持つボイラ最上部の吹込み部であるため、水管最上段に鋼球衝撃の緩和を目的としたプロテクタを設置した。プロテクタ設置箇所はボイラ後流であるため雰囲気ガス温度が低く、安価な一般鋼材を採用できる。

最上部から2段目以降の水管群は、鋼球の持つ運動エネルギーが大幅に減少し、水管群同士の高さからなる自重落下による衝撃とほぼ同等となるため、落下距離により必要に応じてプロテクタを設置すればよい。

図8にスートブロー方式とショットクリーニング方式での水管プロテクタ設置範囲を示す。両者のプロテクタは損耗状況に応じて補修又は交換が必要となるが、スートブロー方式に対しショットクリーニング方式ではプロテクタ範囲も大幅に削減できるため、整備費の低減も期待できる。

ここまでショットクリーニング方式導入の期待効果として、熱回収効率向上、建設費削減、及び整備費削減を挙げた。これらはボイラの規模に依存せず、小型・大型ボイラに対しても同じ装置で適用可能であり、同様の期待効果が見込める。その理由と

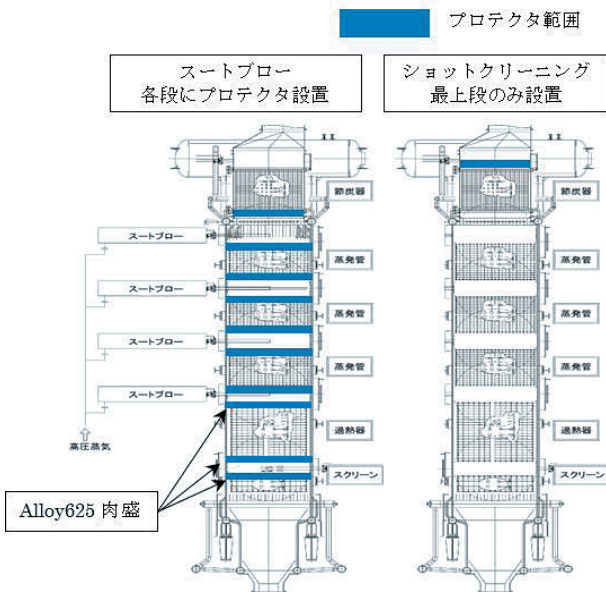


図8 プロテクタ設置範囲
Fig. 8 Protector installation area

しては、衝突分散方式の採用により分散範囲を広く設定可能であること、鋼球の輸送噴射量が任意に設定可能であること、及び鋼球の輸送噴射時間と噴射間隔が任意に設定可能であることが挙げられる。

3 ショットクリーニング方式適用ボイラの性能評価

3.1 熱回収効率向上効果

ショットクリーニング方式適用ボイラは既に5件の新設の廃棄物発電施設に納入した実績があり、いずれも順調に稼働中である。ここではスートブロー方式との比較のため、ダスト除去装置をスートブロー方式からショットクリーニング方式に更新した施設について熱回収効率向上効果の評価(ダスト除去性能と消費電力による評価)を行った。施設の概要は表3の通りである。尚、本施設はダスト除去装置のみを更新したため、ショットクリーニング方式に合わせたボイラ水管ピッチ等の最適化は実施していない。

表3 施設概要
Table 3 Plant overview

ボイラ型式	自然循環式廃熱ボイラ
主蒸気条件	300℃ 2.45MPa
定格蒸気量	20.9t/h
施設稼働開始	2006年3月
ダスト除去装置更新	2015年8月

(1) ダスト除去性能評価

図9はダスト除去装置更新前後のボイラ水管ダスト付着状況の写真である。更新前のスートブロー方式では、噴射蒸気の届きにくい水冷壁部や壁面付近の水管群にダストの堆積が多く見られ、その他水管部も塊状のダスト付着が確認できる。

一方ショットクリーニング方式に更新後の状況では、水冷壁及び水管全面に目立ったダスト付着は見受けられない。鋼球の散乱によりダストが全体的に除去できていることがわかる。

ダスト除去性能は、更新前後のボイラ効率(ボイラ回収熱量/ボイラ入口熱量)からも確認できる。図10は更新前ボイラ効率の平均値を100として指数化したグラフである。ショットクリーニング装置に更新後、伝熱面性能の改善によりボイラ効率が更新前比で3.1%向上した。

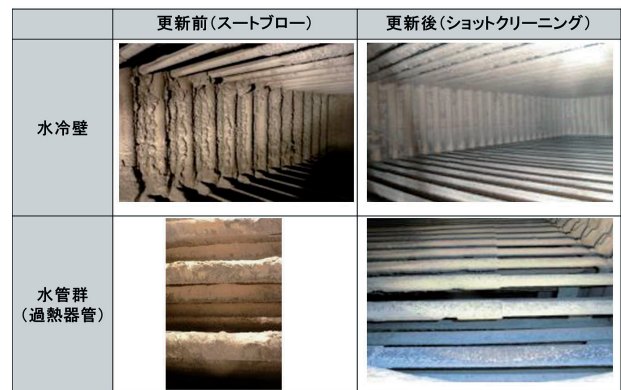


図9 ダスト除去装置更新前後のボイラ内部(写真)
Fig. 9 Comparison of boiler condition between before and after replacement of dust removal system (photo)

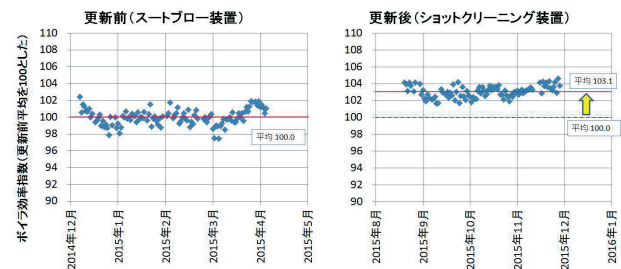


図10 ダスト除去装置更新前後のボイラ効率指数
Fig. 10 Comparison of boiler efficiency index between before and after replacement of dust removal system.

(2) 消費電力評価

ショットクリーニング装置とスートブロー装置の消費電力を評価する。尚、スートブロー装置消費電力は、スートブローで消費する蒸気量を同施設の蒸気タービンの発電に使用した場合に得られる発電増

分相当とした。

①スートブロー装置消費電力^{※1}

$$1.8t/回 \cdot 炉 \times 3回/日 \times 150kWh/t = 810kWh/日 \cdot 炉$$

※1 スートブロー消費蒸気量：1.8t/回・炉

スートブロー運転頻度：3回/日

同施設タービンの単位蒸気量当たりの発電能力：
150kWh/ton

②ショットクリーニング装置消費電力^{※2}

$$20kW \times (10/60)h/回 \times 24回/日 \cdot 炉 = 80kWh/日 \cdot 炉$$

※2 ショットクリーニング装置消費電力：20kW

ショットクリーニング装置運転時間：10min/回

ショットクリーニング装置運転頻度：24回/日

③消費電力差

$$① - ② = 730kWh/日 \cdot 炉$$

④年間削減電力量

$$730kWh \times 250日/年 = 182.5MWh/年$$

以上より年間の消費電力として182.5MWhの削減効果となる。

3.2 経済性評価

従来のスートブロー方式とショットクリーニング方式の経済性(建設費、整備費及び売電収入)を比較する。ショットクリーニング方式は、ボイラ本体とダスト除去装置のコンパクト化によるインシヤルコスト(建設費)低減、消費電力低減と整備費削減によるランニングコスト低減、及びダスト除去性能向上(ボイラ効率向上)による発電収入増加効果を表4の通り期待できる。尚、建屋費用については廃棄物発電ボイラ新設時に、各々のダスト除去装置に合わせてボイラ水管を最適化設計した場合の評価とする。

4 結言

スートブロー方式に代わり、ショットクリーニング方式を適用したボイラの構築により以下の効果を得られた。

①熱回収効率向上

- ・蒸気を使わないダスト除去方式による蒸気の有効利用

表4 ダスト除去方式経済性比較

Table 4 Cost comparison between soot blower and shot cleaning system.

	スートブロー方式 適用ボイラ	ショットクリーニング方式 適用ボイラ
【インシヤルコスト】		
ボイラ本体費用	100	100
ダスト除去装置費用 (架構含む)	100	50
建屋費用 (ボイラ本体空間比)	100	74
建屋費用 (ダスト除去装置空間比)	100	20
【ランニングコスト】		
設備整備費 (銅球損失分含む)	100	100
消費電力	100	11
定期清掃	100	0
【売電収入】		
売電収入(ボイラ効率向上による差異)	100	102

※スートブロー方式の値を100として比較した

- ・水管表面の伝熱効率の長期維持によるボイラ効率低減抑制

②建設費削減

- ・スートブロー装置設置空間の削減及び水管ピッチ縮小によるボイラコンパクト化

③整備費削減

- ・スートブロー蒸気ドレンによる水管損傷リスク回避
- ・ダスト除去性能向上によるボイラ定期清掃削減

ショットクリーニング方式適用ボイラは既に5施設で稼働実績があり、適用を拡大している。また既設のボイラに対しても更新適用が期待でき、本稿で紹介した通り既に1施設で適用実績がある。今後は国内だけでなく、海外案件についての適用可能性も視野に入れている。今後も本装置の改良・最適化を行い、更なる省エネ・省CO₂を達成していくことで、地球環境保全に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 環境省：環境白書／循環型社会白書／生物多様性白書 (平成29年度版) 日経印刷株式会社 p171-172, 2017. 6
- 2) 北野和敏, 川田一輝, 泉屋亨, 戸高光正：ショットクリーニングによるごみ発電ボイラダスト除去, 第37回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 2016. 1
- 3) 川田一輝, 泉屋亨, 戸高光正, 権容旭, 北野和敏：ショットクリーニングによる廃棄物ボイラダスト除去技術, 第26回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2015

- 4) 北野和敏, 川田一輝, 泉屋亨, 戸高光正: ショットクリーニングによるごみ発電ボイラダスト除去, 都市清掃第69巻 第331号, 2016.5 公益社団法人全国都市清掃会議