# 流動床式ガス化溶融炉における廃熱ボイラ過熱器の耐用状況

The Condition for Waste Heat Boiler in Fluidized Bed Gasification and Melting Furnace



道田直貴\* Naoki Michida



浅井亮一\* Ryoichi Asai 技術士 (機械部門)



樋口 豪\* Go Higuchi



山形成生\*
Naruo Yamagata
技術士(衛生工学)

ごみ発電の高効率化が推進されており、廃熱ボイラの蒸気条件として  $4\,\mathrm{MPa} \times 400\,\mathrm{C}$  が標準的になりつつある。一方で、ライフサイクルコスト(LCC)の低減には、過熱器(SH)管の長寿命化が必要不可欠である。当社では、蒸気温度 $400\,\mathrm{C}$ クラスの流動床式ガス化溶融炉において SH 管の減肉状況を  $5\,\mathrm{F}$  間にわたって調査し、ほとんど減肉が見られない結果が得られた。

Whth Power generation by waste trending towards,  $4 \text{ MPa} \times 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$  is becoming the standard in steam conditions of waste heat boilers. However, parallol to this, it is necessary to extend the life time of superheater tubes in the interest of reducing life cycle costs. We have investigated thickness reduction in  $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$  class superheater tubes of a fluidized bed gasification and melting furnace for five years, and observed hardly any reduction. This paper reports that work.

# Key Words:

ご み 発 電流動床式ガス化溶融炉廃 熱 ボ イ ラ過 熱 器 管高 温 腐 食

Waste to Energy
Fluidized Bed Gasification and Melting Furnace
Waste Heat Boiler
Superheater Tube
High Temperature Corrosion

### 【セールスポイント】

- ・この結果から、流動床式ガス化溶融炉は、高効率ごみ発電と LCC 削減が両立できる環境性と 経済性に優れた設備と言える。

## まえがき

ごみ発電用ボイラの蒸気条件は、高温腐食による 過熱器管の激しい減肉を避けるため、長期にわたり 蒸気温度300℃以下が採用されていた。高温腐食は、 燃焼ガスに含まれる酸性ガスや塩類によるものであ ることが知られており、とくに管壁温度320℃以上 で炭素鋼の腐食が急激に増加するとされている<sup>1)</sup>。 これは、付着灰に起因する溶融塩腐食が原因であると考えられ、ごみ焼却灰は特有の塩化物共晶系化合物を含み、それらが低融点であることから、低温度域でも深刻な溶融塩腐食に繋がる<sup>2)</sup>。

しかしながら、循環型社会形成推進基本法(平成 12年)において、有用な廃棄物は循環資源と定義されたこと、また、 $CO_2$ 排出量削減の観点から、ごみ

発電の高効率化に対する社会的ニーズが高まり、蒸 気条件の高温高圧化に係る種々の研究・開発が推進 され, 現在では4MPa ×400 ℃が標準的に採用され るようになった。

当社はこれまで、蒸気温度400℃の流動床式ガス 化溶融炉を2施設(川越市資源化センター(以下, 川越と記す). 相模原市南清掃工場(以下. 相模原 と記す))納入した。これら2施設においてSH管 (材質:ステンレス鋼)の耐用状況を調査した結果, 5年間以上にわたる運転後においても、ほとんど減 肉が見られないことが確認できた。

また、平成26年に竣工した同炉形式施設(芳賀地 区エコステーション(以下, 芳賀と記す)) におい て、発電効率の向上と LCC の低減を両立すべく、 蒸気温度350 ℃において SH 管の炭素鋼採用に踏み 切った。竣工後1年以上が経過するが、減肉は認め られていない。

本論文においては、これらの施設における耐用状 況について報告する。

# 1. 調査施設の概要

プラントの施設仕様について表1に示す。川越向 け、および相模原向けボイラの計画においては、燃 焼ガス温度650℃以下の腐食環境が緩和された位置 に SH を配置した上で、エロージョン・コロージョ ンのリスク低減のため、ガス流速は5m/sec以下に 抑える設計とした。芳賀向けボイラでは炭素鋼を採 用するにあたり、川越や相模原と比較し、燃焼ガス 温度がより低い環境に SH を配置する計画とした。

実機に本設されている計測器より、燃焼ガス温 度、蒸気温度のトレンドデータ (SH 関連部分を抜 粋)と、そのデータから推算されるボイラ運転状況 (代表的な運転状態における燃焼ガスおよび蒸気の 温度バランス)を示す。なお、運転状況推算に際し ては、信頼性が高い蒸気側の運転データに基づく算 出結果を優先した。故に、燃焼ガス側では、運転 データと運転状況推算値に差異があることに注意さ れたい。これは熱電対測定値の不確かさによるもの と思われ、運転状況推算値の方が実際温度に近い値 であると考えている<sup>3)</sup>。

加えて、ボイラ全体外形と SH 管の肉厚測定位置を 表したボイラ設備の概要図をそれぞれ施設毎に示す。

# 1) 川越市資源化センター

実機の燃焼ガス温度、蒸気温度のトレンドデータ を図1に示す。1SH 出口燃焼ガス温度は、±15℃ 程度の変動が見られるものの、3SH 出口蒸気温度 (ボイラ主蒸気温度) は、400℃で安定していること が分かる。このトレンドデータより推定したボイラ 運転状況を図2に示す。燃焼ガス温度,蒸気温度は 比較的設計に近い運転である。ボイラ設備の概要図 を図3に示す。測定点は前面、後面各4点で、それ ぞれ周方向に4点測定しており、合計で32点である。

#### 2) 相模原市南清掃工場

実機の燃焼ガス温度、蒸気温度のトレンドデータ を図4に示す。3SH 入口燃焼ガス温度に±50 ℃程 度の変動が見られるが、3SH出口蒸気温度(ボイ ラ主蒸気温度)は、400℃で安定していることが分 かる。なお、上述の燃焼ガス温度の変動周期は、 スートブロワの灰落とし周期と一致しているため, スートブロワに伴い第1蒸発器の蒸発管の汚れが除 去され、蒸発管での熱回収量が増加したためと考え られる。このトレンドデータより推定したボイラ運 転状況を図5に示す。設計と比べ、燃焼ガス温度は 低め、蒸気温度は同等の運転である。ボイラ設備の 概要図を図6に示す。測定点は上面、下面各9点 で、それぞれ周方向に4点測定しており、合計で72 点である。

表 1 施設仕様

		川越市資源化センター	相模原市南清掃工場	芳賀地区エコステーション
施設概要	処理能力	132.5 t/d×2炉	175 t/d×3炉	71.5 t/d×2炉
	発電能力(定格)	4 000 kW	10 000 kW	1 970 kW
	竣 工 年	平成22年3月	平成22年3月	平成26年3月
	炉 形 式	流動床式ガス化溶融炉	流動床式ガス化溶融炉	流動床式ガス化溶融炉
ボイラ仕様	ボイラ煙道形式	水平煙道型	垂直煙道型	水平煙道型
	蒸気条件	4 MPa×400 ℃	3.92 MPa×400 ℃	4 MPa×350 ℃
	最大蒸発量	18.65 t/h	30.0 t/h	8.9 t/h
	過熱器材質	SUS310STB/STB340	SUS310STB/STB340	SA192(STB340相当)
	過熱器管寸法	φ42.7×t4.5	φ42.7×t4.5	φ38.1×t5.5
	灰落とし装置	ラッピング	スートブロワ	ラッピング

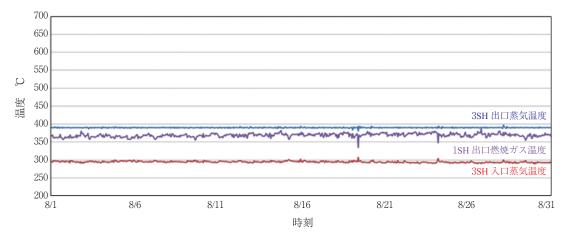


図1 燃焼ガス温度,蒸気温度のトレンドデータ (川越)

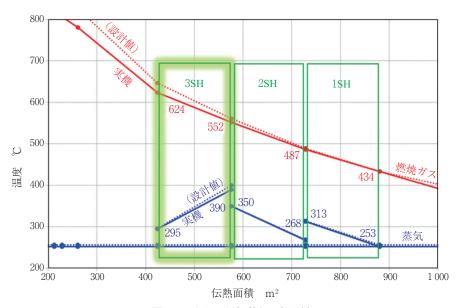


図2 ボイラ運転状況 (川越)

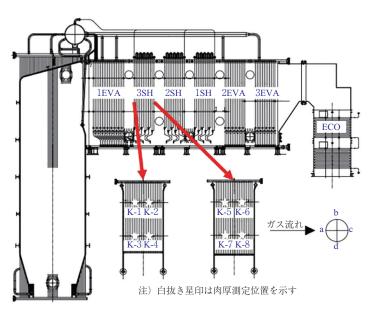


図3 ボイラ設備の概要図 (川越)

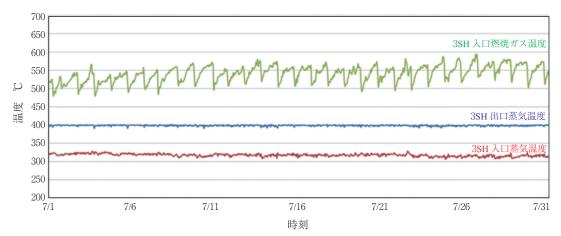


図4 燃焼ガス温度、蒸気温度のトレンドデータ (相模原)

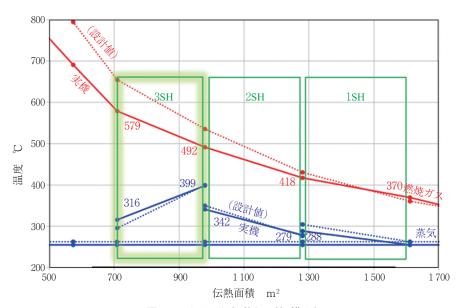


図5 ボイラ運転状況 (相模原)

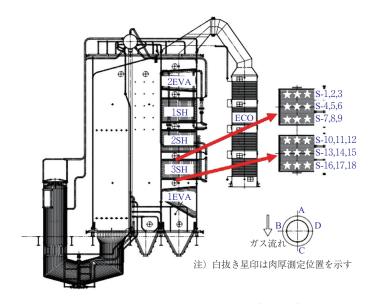


図6 ボイラ設備の概要図(相模原)

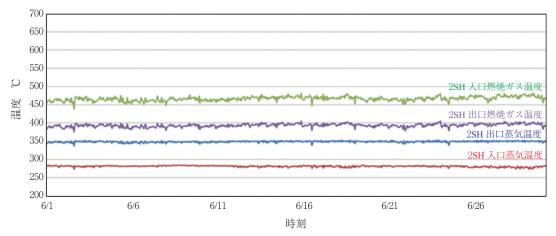


図7 燃焼ガス温度、蒸気温度のトレンドデータ (芳賀)

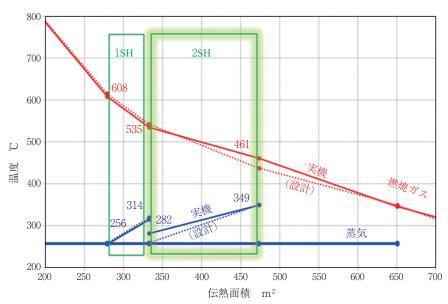


図8 ボイラ運転状況 (芳賀)

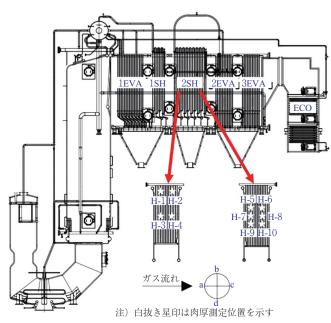


図9 ボイラ設備の概要図 (芳賀)

#### 3) 芳賀地区エコステーション

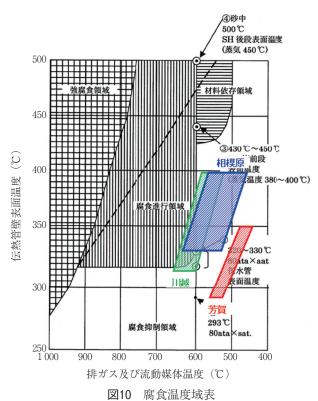
実機の燃焼ガス温度、蒸気温度のトレンドデータを図7に示す。2SH 入口および出口燃焼ガス温度は、 $\pm 15$   $\mathbb C$  程度の変動が見られるものの、2SH 出口蒸気温度(ボイラ主蒸気温度)は、350  $\mathbb C$  で安定していることが分かる。このトレンドデータより推定したボイラ運転状況を図8に示す。燃焼ガス温度・蒸気温度共に設計同等の運転である。ボイラ設備の概要図を図9に示す。測定点は前面4点、後面6点、それぞれ周方向に3点測定(ガス流れ裏側は測定していない)しているため、合計で30点である。

## 4) まとめ

3施設の最終段のSH入口,出口の燃焼ガスおよび管表面温度を腐食線図にプロットしたものが,図10である。温度変動も加味すると,川越,相模原ではSH入口側で腐食進行領域に差掛かる部分があり,過酷な環境下におかれていることが分かる。一方,芳賀は当該領域から離れており,腐食環境が緩和された状況下であると考えられる。

# 2. 調査結果

以下に各施設の最終段の SH における肉厚測定 データを示す。川越、相模原については各測定点の 周方向の中で最も減肉が大きい部位を抽出した。芳 賀は竣工後1年目のデータのみのため、測定値を表



出典:新エネルギー・産業技術総合開発機構:廃棄物発電導入 マニュアル(改訂版)から図内に重ね合わせた

にまとめた。

#### 1) 川越市資源化センター

3SH前面,後面の肉厚の経年変化を図11,図12に示す。各測定点での肉厚の変化量(最大減肉量)は0.1 mm/年程度であり,減肉は見られない。写真1に3SHの写真を示す。

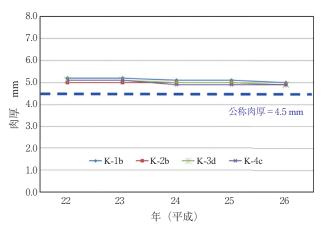


図11 3SH 前面の肉厚の経年変化(川越)

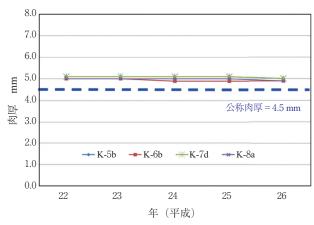


図12 3SH 後面の肉厚の経年変化(川越)



写真1 3SHの状況(川越)

## 2) 相模原市南清掃工場

3SH 上面,下面の肉厚の経年変化を図13,図14に示す。ほとんど減肉していない部位が見られる一方,減肉量 $0.4\sim1.0$  mm/年程度と大きく減肉している部位がある。減肉が大きい部位は,S-2C,S-5C,S-8C,S-17A の 4 点で全て SH 上面中央または下面中央に限定される。これら以外の方向では減肉があまり見られないことから,この 4 点の減肉は SH の

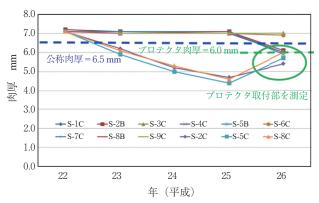


図13 3SH 上面の肉厚の経年変化(相模原)

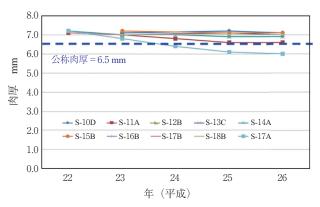


図14 3SH 下面の肉厚の経年変化(相模原)

中央直上, 直下にあるスートブロワのドレンカットによる影響と考えられる。スートブロワに起因する減肉は当初から想定しており, 6.5 mm の厚肉管を採用していたが, 3SH 上面については減肉速度が当初予想を上回っていることから, プロテクタによる保護が LCC の低減の面から有利と判断し, 平成25年にプロテクタを設置した。以降はプロテクタの肉厚を経過観察中である。写真2に3SH写真を示す。

#### 3) 芳賀地区エコステーション

表2に竣工後1年経過の肉厚測定結果を示す。公 称肉厚5.5 mm に対して、最小肉厚部でも5.9 mm の 残厚があり、減肉は認められていない。また、写真 3に2SH の写真を示す。

## 4) まとめ

(1) 4 MPa × 400 ℃ ボイラ (川越, 相模原) の SH 管 (材質: ステンレス鋼) は 5 年経過時, ほぼ 減肉が見られていない。図10において, 川越,



写真2 3SHの状況(相模原)

表2	2SH 前面お	よひ	ヾ2SH 後面	の肉厚測定結果	(芳賀)

	Н-1			H-2			H <b>-</b> 3		H-4			
г	b	d	a	b	d	a	b	d	a	b	d	
1系 6. 2系 6.	0 6.1 5 6.1					6.2 6.3		6.1 6.2			6.2 6.1	

	H-5		Н-6		Н-7		H-8			Н-9			H-10					
	b	c	d	b	с	d	b	с	d	b	c	d	b	с	d	b	С	d
1系	6.2	6.2	6.2	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	6.4	6.1	6.1	6.2	6.4	6.4	6.4	5.9	5.9	6.0
2系	6.2	6.5	6.4	6.7	6.6	6.6	6.1	6.5	6.4	6.7	6.6	6.7	6.1	6.4	6.3	6.6	6.6	6.5



写真3 2SHの状況 (芳賀)

相模原とも SH 入口側で腐食進行領域に差掛かる部分があり、過酷な環境下におかれているにもかかわらず、SH 管にほとんど減肉が見られていないことから、流動床式ガス化溶融炉は高温腐食に強く、さらなる高温高圧化に有利であると思われる。

(2) 4 MPa × 350 ℃ボイラの SH 管 (材質:炭素鋼) は1年経過時, 大きな減肉は認められていない。350 ℃クラスであれば, SH 管配置の最適化により炭素鋼においても, 大きな補修は必要ないものと思われる。

# むすび

今回の結果から、4 MPa×400 ℃クラスの蒸気条件において SH 管材質と配置の最適化により、長期にわたって大規模な補修や更新を必要としない目処が得られた。また、流動床式ガス化溶融炉は高温高圧化による発電効率の向上と SH 管の長寿命化を両立でき、LCC の低減に貢献できると考えられる。これを礎に、当社は既に高温高圧化への取組みをスタートしており、さらなる発電の高効率化が期待できる。

#### 「参考文献]

- 1)新エネルギー・産業技術総合開発機構:廃棄物発電 導入マニュアル(改訂版)【資料編】pp.105-124
- 2) 吉葉正行:高温学会誌 第28巻 第5号 (2002年9月) pp.188-201
- 3) 持田武信: 廃棄物処理における熱利用② (ボイラー) フォーラム環境塾 (2001年5月) pp.38