

【研究報告】

ごみ焼却炉ボイラ管の高温腐食に関する調査研究 (その2)

Investigation on fire-side corrosion of boiler tubes in waste-to-energy plants (2)

持田 武信* 田中 一幸* 小田原 伸幸*

Takenobu MOCHIDA, Kazuyuki TANAKA and Nobuyuki ODAWARA

キーワード：高温腐食、腐食速度、ボイラ、ごみ発電、過熱器

1. 研究目的

我が国のごみ発電も漸く高効率化に向けて動きだし、1990年代中葉から始まったボイラの高压高温化が急速に進展する見通しである。加えて、低空気比での高温燃焼を伴うガス化熔融炉の実用化に20社を超える企業が名乗りを上げるなど、ごみ発電ボイラの高温腐食環境は益々厳しく、ごみ処理施設のLCCの観点からもこれに対する効果的な対応が求められている。かかる背景に鑑み、筆者らは国内ごみ発電設備のボイラ高温腐食の実態を調査し、まず火炉水冷壁について119施設の調査結果からその腐食速度を推定する方法を提案した^{1) 2)}。当時の調査対象範囲では30atgを超えるボイラを有する施設は1施設、25atgを超えるものでも5施設であったが、その後運転開始した高压高温ボイラが国内で8施設を数えるので、これらの調査を追加し、また海外の高压高温ボイラの調査も加えて腐食速度予測の信頼性向上を図った。同時に、過熱器の腐食データからも、先に提案した腐食速度推定法の妥当性について検討を加え、

またその腐食防止について、高压化と並ぶ高温化における課題の明確化と、過熱器高温腐食防止限界について具体的検討を行うことを目的とした。

2. 研究方法

火炉水冷壁管については、平成8年度に運転開始した高压高温ボイラ付きの施設(表1)を調査対象とした。また、平成7年度以前運転開始の施設²⁾のうち、高压高温(約30atg、300℃以上)ボイラ付き施設については運転実績が約1年と短いため、メーカーヒアリングを通じて再度調査を実施した。数少ない高压高温ボイラの調査対象を広げるために、国内メーカーによる輸出プラントの調査結果、および文献³⁾やメーカーヒアリング等から得られる情報についても、可能な限り参考として検討に加えた。

過熱器については、平成7年度以前運転開始の119施設に関する前回の調査結果²⁾と、平成8年度運転開始の高压高温ボイラを持つ8施設(表1)の調査結果を基に、炭素鋼管製過熱器を主体に腐

表1 ごみ焼却発電ボイラ伝熱管腐食調査回答施設
今回の調査で新たに加えた国内施設

県名	事業主体	施設名	稼働年	処理量×炉数
北海道	帯広市ほか十三町村複合事務組合	帯広清掃工場	1996	110×3
茨城県	筑南地方広域行政事務組合	第一衛生センター	1997	125×3
埼玉県	浦和市	大崎清掃工場	1996	150×3
千葉県	千葉市	北部清掃工場	1996	190×3
東京都	東京都	千歳清掃工場	1996	600×1
愛知県	名古屋市	新南陽工場	1997	500×3
大阪府	堺市	境東第二工場	1997	230×2
大阪府	茨木市	環境衛生センター第二工場	1996	150×2

この研究は、当センターの研究奨励金により実施した。

* (財) 日本環境衛生センター 東日本支局環境工学部

Department of Environmental Engineering, East

Branch, Japan Environmental Sanitation Center

食速度とメタル温度および周囲ガス温度の関係を調査すると同時に、高温腐食と過熱器設計条件の関係を検討した。

輸出プラントの調査では、7件のメーカーヒアリングおよび一部海外調査等の結果によった。このほか、詳細運転データに不明の点が多いが、文献等で入手可能な腐食速度に関する情報も参考として採用した。

3. 研究結果および考察

腐食評価については、標準曝露時間を8000時間/年として求めた年間換算¹⁾²⁾概略腐食量 (mm/年) を腐食速度として表し、またこの値が0.2または0.1以上となる発生割合を、高腐食発生率と呼ぶこととする。

3.1 火炉水冷壁管の高温腐食速度

(1) 高腐食発生率の推移

1970年代から1990年代前半に至るまで、0.2mm/年以上の高腐食発生率は30%前後(既報²⁾ 図1)で推移したが、今回調査した平成8年度運転開始の高圧ボイラの8施設では、これが50%となり、ボイラの高圧化がその一因となっていることが示唆される。なお最新の国内施設のボイラでは、第1放射室のライニングは在来型以上に十分に施工されており、水冷壁保護の点ではすべて優位にある点に注目しておく必要がある。

(2) ボイラ圧力との関係

既報²⁾の腐食速度推定図(腐食速度がメタル温度のほか、周囲ガス温度の影響も受けるとして整理した)に今回の調査結果をプロットすると、図1▲印のとおり、周囲ガス温度約900℃を中心にばらつきが大きい。これらのプロットには海外プラントのデータを含むため、空気過剰率等運転条件およびごみ質の詳細について不明の点が多く、ばらつきの原因究明は難しいが、低圧ボイラ(図●印に代表される網かけ部)に比し、高圧化(すなわちメタル温度の上昇)に伴う腐食速度の増加が明らかである。ここで、1桁前後のばらつきは、高圧・低圧を問わず、ごみ質(塩素濃度、重金属濃度等)に由来すると同時に、燃焼状態ないし雰囲気中の残存酸素濃度の影響が顕著であると考えられる。

なお、高腐食に関する因子としてのごみ中のCl濃度は、全国の処理施設におけるごみの分析結果⁴⁾

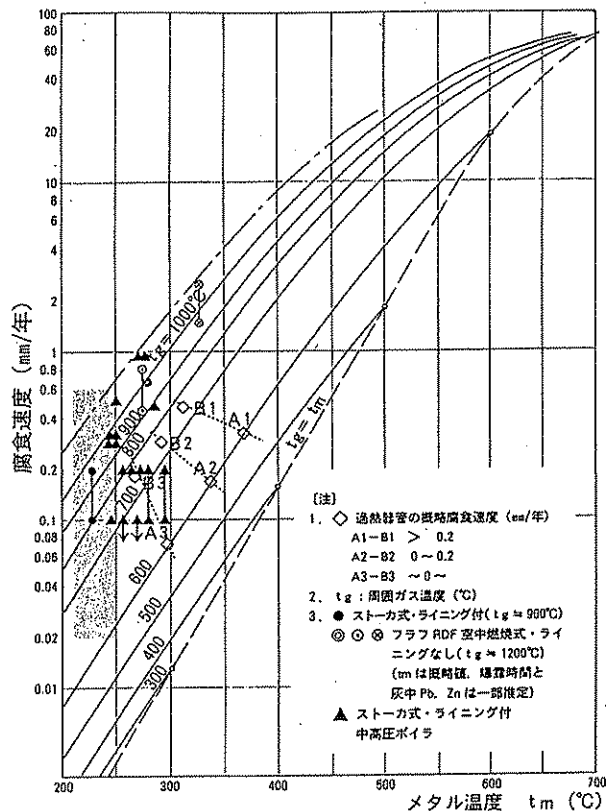


図1 実炉における高圧ボイラ(炭素鋼管)の腐食速度

によれば、近年の漸減傾向が1997年度に反転増加し0.7%となっており(表2)、高温腐食の視点からも今後の推移に注目していくことが望ましい。

表2 ごみ可燃分中のCl濃度の推移

年度	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
%Cl	.7	1.0	.6	.7	.8	.6	.6	.6	.5	.5	.4	.7

(3) 空気過剰率および2次空気投入法との関係

腐食速度は燃焼空気過剰率ないし2次空気投入法によって顕著な影響を受ける²⁾。高圧ボイラにおける調査結果を中低圧ボイラのそれに重ねてプロットすると、図2(●印)に示すように、2次空気投入条件等に不明な点が多いものの、高圧ボイラでも空気過剰率の影響が顕著であるのに対し、2次空気投入法の効果は非常に小さくなっている。すなわち、高圧ボイラでは、2次空気投入による燃焼改善効果の余地が小さく、主に空気過剰率に依存している可能性がある。またO₂分析ガ

ス採取位置が不明であり、ボイラ出口では若干低い値となっていることを考慮しても、全般に腐食速度が中低圧ボイラに比べて大きいことを示している。

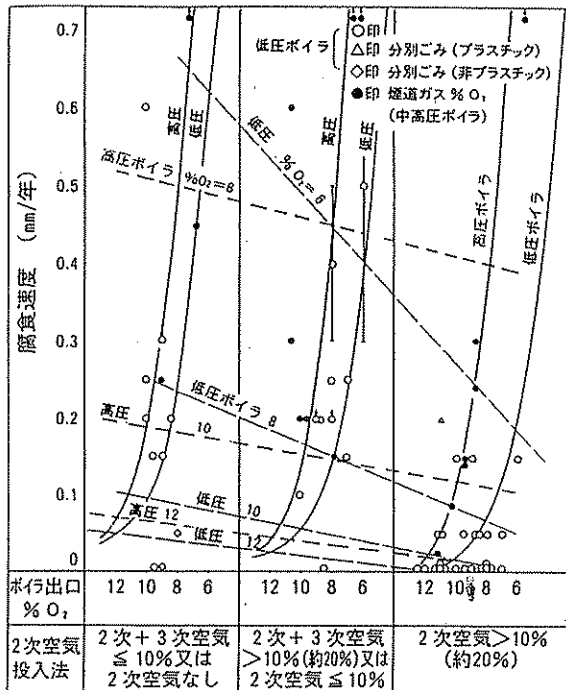


図2 腐食速度に及ぼす燃焼空気の投入量および投入法の影響

3. 2 過熱器の腐食速度

国内施設ではステンレス鋼の実績が2例しかなく、低合金鋼の事例も2例に過ぎない。また海外施設では材質の詳細が不明のものが多く、炭素鋼の過熱器について検討を行った。

(1) 高腐食発生率と過熱器配置

高温腐食に密接に関係する、過熱器管メタル温度を決定づける管内外の条件として、蒸気温度と過熱器の配置を採り、高腐食発生の度数を整理すると、図3に示すとおりである。炉水水冷壁の場合と同様正確な腐食速度は把握し難いが、最大腐食量から求めた年率の減肉量が0.2mmを超えるものを高腐食率として表してある(●印)。同図上段には高腐食発生率と過熱器出口蒸気温度の関係を、また右欄には周囲ガス温度と密接に関係する過熱器配置との関係を示した。過熱器出口蒸気温度が低いほど(同図上段)、また周囲ガス温度が低い下流側に設置されているほど(同図右欄)腐食発生率は低下しているが、比較的高温側にありながら第2放射室のクロスフロー型で腐食発生率が

低いことから、偏流の防止ないし回避が腐食防止に極めて有効なことが判る。なお、過熱器出口周囲ガス温度についてはほとんど回答が得られなかったため、同図中に示した周囲ガス温度は、仮定のうへ概略の参考値(第2放射室で750°C、第3放射室で600°C)として設定、分類したものである。

また第1放射室内設置型は、国内にはないが海外で採用されていて腐食事例も多く、腐食許容限界としては0.5mm/年、あるいは5年を寿命の目処とする考え方が一般化していることから、高腐食発生率をここでは1と表現した。

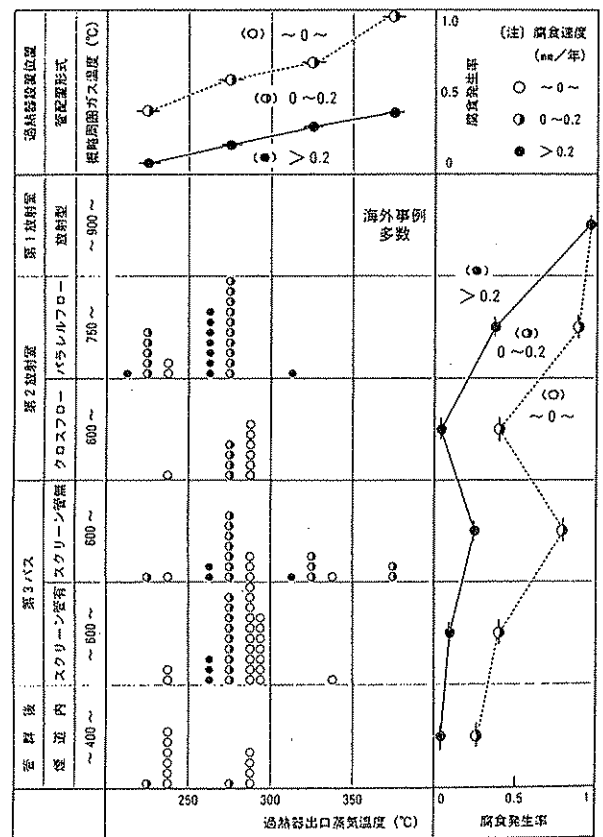


図3 過熱器管高温腐食と設計条件の関係(1)

(2) 管内蒸気流速の影響(冷却効果)

過熱器管のサイズは38.1~60.3の範囲にあるので、38.1以外の管径に対しては流速を合わせて管径38.1に相当する蒸気流量を求め、これを「換算蒸気流量」(kg/h・管)として表し、蒸気温度と腐食速度との関係を示したのが図4、5である。ここで、正確な周囲ガス温度が不明であるので、設置位置別に2大別し、第3放射室以降設置と第2放射室内設置に分けて整理した。上記(1)に

記したように、第2放射室内でも後半に設置されたクロスフロー型については、その腐食速度のレベルから第3放射室設置相当として分類した。両図から各設置位置に対する腐食防止可能な蒸気温度の限界の見当をつけることができる。

高温過熱器の運転実績が少ないため、腐食の発生または防止限界を明確に把握し難いが、過熱器の設置位置、すなわち周囲ガス温度やガスの偏流および過熱器の構成等が、腐食発生限界に影響していることを両図は示している。管内蒸気温度が曲線A1、B1を超えると高腐食発生の確率が極めて高く(ほとんどが●印)、A3、B3を下回っていれば腐食を完全に防止することが可能(ほとんどが○印)と見られる。A2、B2は、実用上許容可能な腐食限界と見ることができる。

(3) 過熱器管メタル温度と腐食発生の関係

火炉水冷壁管腐食から求めた腐食速度推定図(図1)を用いて、過熱器管腐食速度の予測の可能性を検討する。簡略化のため管壁の熱抵抗を無視でき、熱貫流率を蒸気流速(換算流量)の0.8割に比例するものとし、かつ管内外の熱伝達係数の比 ρ を「換算蒸気流量」500 (kg/h・管)において6と仮定して概略のメタル温度を求める。この方法で、図4、5に示した腐食発生・防止限界線A1、A2、A3およびB1、B2、B3に対応するメタル温度を求め、これらを図1にプロットすると、それぞれA1、A2、A3およびB1、B2、B3の各点(◇印)として表される。ただし過熱器周辺ガス温度が不明のため、図3において仮定したように、過熱器配置別にA1、A2、A3については600℃、B1、B2、B3については750℃と仮定してプロットしてある。ここで、図4、5に示したA1・B1、A2・B2、A3・B3の意味から、A1-B1が高腐食発生域下限、A3-B3が腐食完全防止可能域上限であり、A2-B2が実上の腐食許容限界を表すものと見ることができる。図1からそれぞれの腐食速度を読みとると、A1-B1が約0.4mm/年、A3-B3が約0.1mm/年、A2-B2が0.2mm/年前後となっており、0.2mm/年を高腐食の判定基準としてプロットした図4および5と整合している。すなわち、図1の腐食速度推定図は過熱器にも適用可能であることが検証されたものと考えられる。

図6は上記仮定の下に、過熱器管内外の熱伝達係数比 ρ を与えて、管内蒸気温度および周囲ガス温度からメタル温度を概算で求め、その時の管の腐食量をいくつかの鋼材について例示したもので

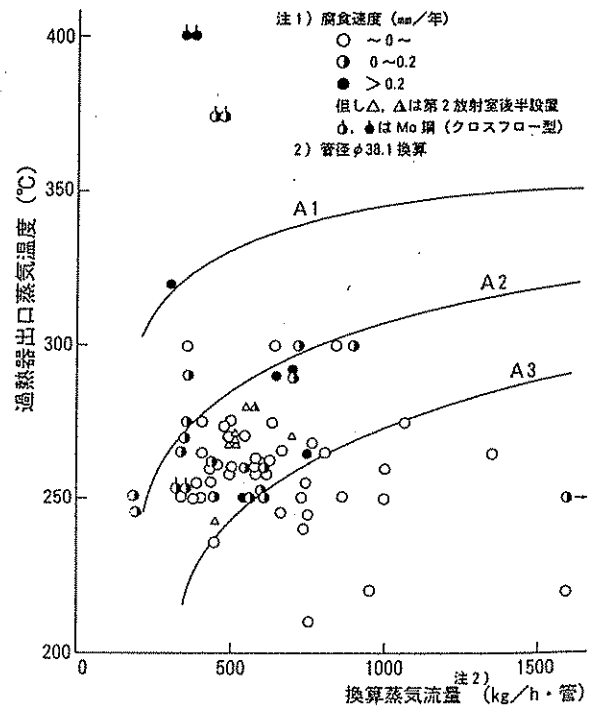


図4 過熱器高温腐食と設計条件の関係(2-a)
(炭素鋼, 第3放射室以降に設置の場合)

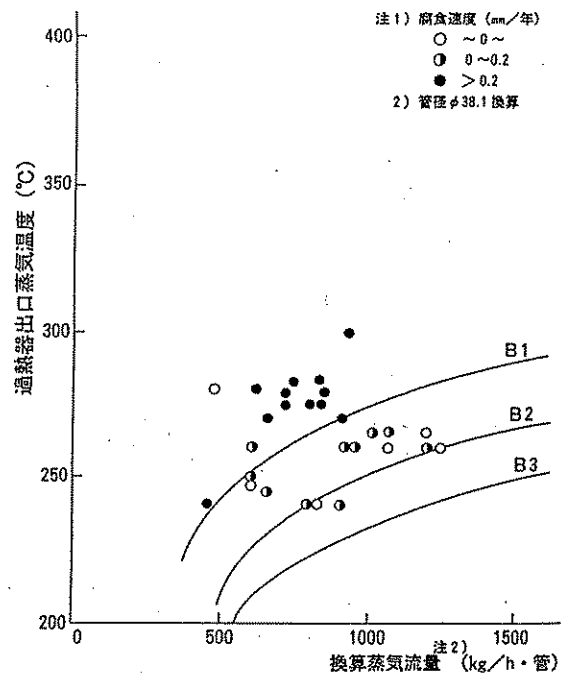


図5 過熱器高温腐食と設計条件の関係(2-b)
(炭素鋼, 第2放射室設置型)

ある。最大浸食深さと腐食量とは同一ではないが、一般に炭素鋼 (STB410) と低合金鋼 (SA213-T11, S A213-T22) では、耐食性の点で両者に顕著な差の見られない例が多い。したがって高温化に伴いステンレス鋼 (SUS310J1等) の採用が必要になるが、設計条件を適切に選定することによって、350ないし400°C近くまではステンレス鋼を使用せずに対応することが可能な場合が少なくない。すなわち、過熱器については、ガスの偏流の防止はもとより、周囲ガス温度、 ρ 値 (管内蒸気流速と管外ガス流速および管径・配列等) ならびに管材質を適切に選定するなど、高温化への対応の選択肢は多い。換言すれば、40atg級の高压化 (火炉水冷壁の腐食防止対策) に比し400°C 級の高温化 (過熱器の腐食防止対策) に基本的な課題はないということができる。

4. まとめ

今回の調査でも、ごみ組成と腐食速度の関係を定量的に明らかにすることは難しかったが、不十

分ながら、海外の高圧高温ボイラ水冷壁管や過熱器管の腐食に関する情報の検討を加えることなどによって、腐食速度予測の信頼性を高め、下記を明らかにした。

- (1) 火炉水冷壁の腐食は高压化に伴い増加する
- (2) これを防止するのに燃焼性能の一段の向上が不可欠であるが、とくに空気過剰率の維持が有効である
- (3) 火炉水冷壁の腐食データから求めた腐食速度推定図が、過熱器の腐食データによっても検証された
- (4) 腐食速度は過熱器設置の低温域でも、メタル温度のみならず周囲ガス温度の影響を受ける
- (5) 火炉水冷壁の高压化対策に比し、過熱器の高温化対策には選択肢も多く対応余地が大きい
- (6) 過熱器では管材質を考慮する前に設置位置・構成、管内蒸気流速、偏流の防止等による最適化が肝要である

謝 辞

最後に、本調査に当たり昨年に引き続きご協力いただいた自治体をはじめ、プラントメーカー関係者各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 持田、田中、藤吉：ごみ焼却炉ボイラ管の高温腐食について、日本環境衛生センター所報No.23、pp48-59(1996)
- 2) 持田、田中、藤吉：ごみ焼却炉ボイラ管の高温腐食に関する調査研究、日本環境衛生センター所報No.24、pp104-112(1997)
- 3) Morello T.J.: Fireside Corrosion at Occidental's Energy from Waste Plant, Incinerating Municipal and Industrial Waste, Hemisphere Publishing Corp., pp313-320(1990)
- 4) 廃棄物情報研究会：Fact Book 廃棄物基本データ集、(財)日本環境衛生センター、pp68(1997)ほか

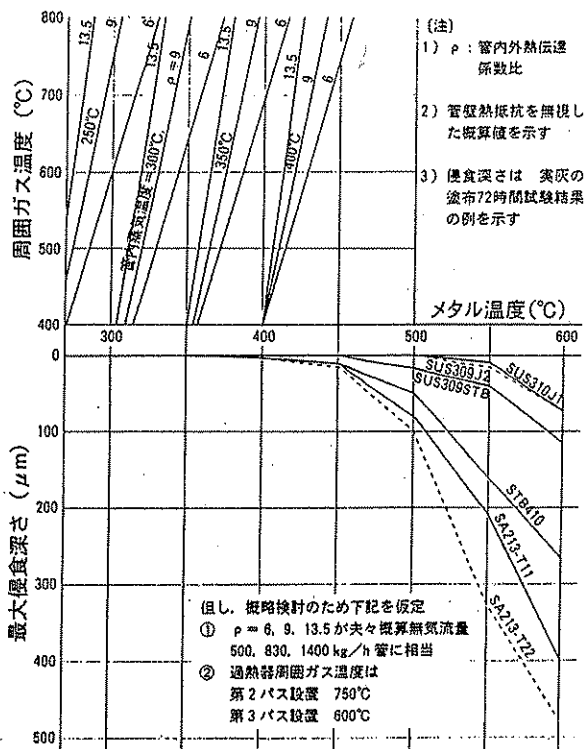


図6 過熱器管腐食深さと設計条件の関係(例)