



Title	廃棄物発電高効率化のためのボイラ過熱器管材料の高温腐食特性の解明および腐食抑制技術に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	竹田, 航哉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13220号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69734
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Koya_Takeda_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 竹田 航哉

学 位 論 文 題 名

廃棄物発電高効率化のためのボイラ過熱器管材料の高温腐食特性の解明および腐食抑制技術に関する研究

(A study on corrosion behavior of Stainless Steel for Super-Heater tubes and corrosion control measurement, to promote the high-efficiency in WtE plant)

廃棄物発電は、ごみを熱エネルギーとして循環利用することで化石燃料由来の CO_2 削減に寄与できるため、循環型社会と低炭素社会の統合的な実現に貢献できる。そのため、発電施設の普及や高効率化の必要性は広く認識されているものの、国内における発電設備を有するごみ焼却施設は全体の約 30 % であり、また発電施設の平均発電効率も 13 % 程度と事業用ボイラなどに比べると低い。発電効率が低く抑えられている理由としては、ボイラ管特に過熱器管の高温腐食に対する懸念が挙げられる。この高温腐食は、ごみが焼却処理される際に生成する様々な化合物の一部がボイラ管に付着し、付着した灰と管表面の界面で生じる反応であり、ボイラ管を腐食損耗させるものである。腐食損耗リスクはボイラ蒸気条件の高温高压化とトレードオフの関係にあるため、ごみの安定処理が大前提であるごみ焼却施設において、実績の少ない高温高压ボイラに関する情報が不足している状況では導入判断が難しい面もある。そのため現状、高効率ボイラとして主流となっている蒸気条件 4 MPa $\times$ 400 級のボイラは、1990 年代に導入が始まって以来、今日に至る約 20 年もの間頭打ちの状態である。

現在、ダイオキシン類対策として 1989 年（平成元年）を中心に整備されたごみ焼却施設の老朽化が進んでおり今後、こうした施設が更新・改良時期を迎えることになることから、高効率化を進めていくよい機会である。そこで、高温腐食対策を基盤技術と位置づけて、国内全体として発電効率の底上げを確実にやっていくことを目標に、従来からの技術・知見等の延長上で信頼性が高く、かつ汎用的で低ライフサイクルコストを実現する技術の開発に取り組んできた。

本研究では高温腐食対策として「設計」、「腐食環境の緩和」の観点を対象とした。まず都市ごみを処理するストーカ式ごみ焼却炉ボイラにおいて、過熱器管の材料として用いられるステンレス鋼の様々な曝露温度における減肉特性を明らかにした。次に、過熱器管の曝露条件を模擬した腐食センサを用いて、腐食環境の連続的な挙動を調査した。また、管に付着する前のばいじんに着目して、腐食機構を明らかにすることを試みた。得られた知見に基づき添加剤（以下、抑制材）を用いる過熱器管の腐食抑制技術を考案し、抑制材の使用量を極力低減するために、抑制効果や腐食抑制以外の機能について実験室試験で検討し抑制材を選定した。さらに本技術の実証試験をストーカ式ごみ焼却炉ボイラにて行い、その効果を検証するとともに事業性について評価した。本論文は 7 章で構成され、以下に概要を示す。

第 1 章では、廃棄物発電を取り巻く環境など本研究の背景を整理するとともに、高温腐食に関する従来の研究を紹介し、本研究の目的について述べた。

第 2 章では、都市ごみを処理対象とする複数のストーカ式ごみ焼却炉ボイラにて、過熱器管の材料として用いられるステンレス鋼 (SUS310J1) の曝露温度（金属温度、ガス温度）と腐食減肉量の関係について調べた。その結果、曝露温度と腐食減肉量の関係は、従来から多く引用されてきた金属温度、ガス温度が高くなるにつれて連続的に腐食量が増加するのではなく、不連続的に変化する領域が存在することを明らかにした。また、こうした事象の原因として、各試験片から採取した付着灰の分析結果から鉛や亜鉛といった重金属類の含有量が影響していると推察した。

第3章では、交流インピーダンス法を用いた腐食センサをストーカ式ごみ焼却炉ボイラの過熱器管近傍でガス温度が異なる2ヶ所に設置し、腐食連続モニタリングを行った。その結果、焼却炉運転中における腐食速度は時々刻々と変化しており、ガス温度条件によって腐食速度の推移が異なることを示した。また、腐食速度は乾燥段空気量の増減に伴って変化し、乾燥段空気量の増減に対応して腐食速度が変化するまでには約8時間の差があることを示し、燃焼場で発生するばいじんが腐食に影響していることを明らかにした。

第4章では、ストーカ式ごみ焼却炉ボイラの第3煙道からアンダーセンスタックサンプラーを用いて、飛散中のばいじんを粒径別に採取し、それぞれの特性を調査した。その結果、粒径の小さなばいじんはナトリウムやカリウム、塩素の割合が高く、粒径が大きくなるにつれてナトリウムやカリウムは減少し、カルシウムの割合が高くなることを確認した。次に、採取したばいじんを粒径別に3つのグループに分類して、高温腐食試験装置を用いて温度条件450℃にて塗布試験を行った結果、最も粒径が小さなグループの腐食性が強く、次に粒径が小さなグループの腐食性は弱いことを明らかにした。また、試験前後のばいじん性状からガス中の亜硫酸ガスとの反応が腐食に影響を及ぼしていることが示唆され、ばいじん中のナトリウムやカリウムが腐食を促進し、カルシウムが溶融塩腐食の抑制と溶融塩そのものの生成を抑える効果があることを示した。

第5章では、これまで得られた知見を基に考案した腐食抑制技術に適用する抑制材について、実験室試験にて調査した。その結果、抑制材としては天然ゼオライトが最も抑制効果が高く、灰に対して5-25 mass%の間に効果を発現する混合割合があることを示した。また、実機のボイラ内の排ガスを模擬した条件にて、天然ゼオライトがガス状の塩化ナトリウム、塩化カリウムや酸性ガスといった腐食に関与する成分を捕捉することを明らかにした。更に、塩化水素や二酸化硫黄といった酸性ガスの除去特性から、ゼオライトをベースとした高機能性抑制材として、ケイ素とアルミニウムの比(Si/Al比)が一つの重要な指標となりうることを示した。

第6章では、ストーカ式ごみ焼却炉ボイラにて腐食抑制技術の実証試験を約5.5ヶ月間実施した。試験では3次過熱器管の減肉量を評価対象とし、抑制材を供給した炉(腐食抑制技術適用)の減肉量が、抑制材を供給しなかった炉(通常運転)の減肉量の1/2となる抑制材供給量とした。試験の結果、スートブローの影響が小さい過熱器管群の中段部において、腐食抑制技術を適用した炉の減肉割合は通常運転した炉の20-40%程度であり、抑制効果を確認した。ただし、スートブローの影響を強く受ける過熱器管群の上・下段では抑制効果はほとんど認められず、この原因として、抑制材を供給するタイミングが遅かったことが考えられた。次に、得られた結果を用いて、モデルプラントにて運用期間20年間における過熱器管の維持補修にかかる費用を比較評価した。前提条件として、本技術の適用により過熱器管の寿命が2倍となり、運用期間中の更新工事が不要となるとした。その結果、抑制材費等を考慮しても維持補修費を約30%低減できる可能性を得た。

第7章は総括であり、本論文で得られた結果をまとめた。また、本研究の成果を受けて、従来の400℃ボイラと腐食損耗リスクは同等ながらも、高効率化が可能となる低ライフサイクルコスト型の420℃ボイラを製品化したことから、その設計に活用した「減肉マップ」について紹介した。