

氏名（本籍）	服部隼人（岐阜県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 370 号
学位授与日付	平成 21 年 3 月 25 日
専攻	環境エネルギーシステム専攻
学位論文題目	廃棄物燃焼にともなう高温腐食および有害金属放出低減 (Reduction of high temperature corrosion and hazardous metal emission in solid waste combustion)
学位論文審査委員	(主査) 教授 守 富 寛 (副査) 教授 野々村 修 一 教授 小 林 智 尚 教授 橋 場 稔 准教授 神 原 信 志

論文内容の要旨

廃棄物発電においては HCl や低融点塩化物を含む腐食環境が非常に強く、蒸気条件の向上には腐食要因、腐食機構の特定が重要である。また廃棄物燃焼においては排出される排ガスに含まれる有害金属の大気への放出が懸念されている。さらにボトムアッシュあるいは熔融スラグなどに濃縮し土壌からの汚染も懸念されることから、有害金属の分配挙動だけでなく有害金属の放出低減が望まれている。第 1 章では、廃棄物燃焼にともなう高温腐食および有害金属放出低減と本論文の構成について述べている。

以下に各章の結論をまとめている。

第 2 章 アルカリ塩による化学的腐食

- (1) 腐食試薬が KCl は試験片が剥離する傾向をもち、CaCl₂ は試験片に付着する傾向があり、さらに SUS の場合にその傾向が強くなる。
- (2) 腐食試薬単一種のときには付着するもしくは剥離する傾向があるが、溶出試験からアルカリ塩混合条件で最も腐食が進行し、アルカリ塩混合の影響は非常に大きい。
- (3) 化学的腐食の対策としては試験片側から見た場合、高 Ni 系の試験片が有効である。

第 3 章 熱媒体粒子による物理的腐食の影響

- (1) 腐食実験からは、RDF 流動層燃焼発電ボイラの熱交換器部材に SUS を用いた場合、カルシウム化合物を多く含む炉底砂は酸化雰囲気、弱い粒子流動化状態で腐食が進行しやすい。
- (2) 熱力学平衡計算結果からは、腐食要因が炉底砂成分のカルシウムと SUS 成分の鉄とクロムが反応して生成する Ca₃Fe₂Si₃O₁₂ および CaCr₂O₄ である可能性が高い。
- (3) 塩素は試験片と炉底砂成分の界面近傍ではアルカリ熔融塩として存在し、炉底砂成分の試験片への付着を促進する。

第 4 章 腐食要因の検討および腐食低減対策

- (1) 時間変化に対して、付着量が増加していく傾向と減肉量が増加していく傾向とでは、付着量の増加傾向のほうが速くそして大きい。すなわち、炉底砂の成分が付着し増粒していき、試験片表面へと浸透していき腐食つまり減肉が起きる。
- (2) カルシウム化合物形態の比較により、HCl 吸収反応がおこり、HCl ガスが存在することで CaO が CaCl₂ になり、試験片表面に付着しやすい。
- (3) 塩素は試験片と炉底砂成分の界面近傍ではアルカリ熔融塩として存在し、炉底砂成分の試験片への付着を促進させる。さらに塩素濃度が高いと試験片界面部分から試験片母材へ侵入し腐食が進行する。
- (4) 流速の変化によって腐食関与物質が塩素系化合物、酸化物系のカルシウムと変化が生じる。
- (5) 腐食の進行低減を考える上で、耐食性合金管の選択が重要であり、実機には STB が現在のところ優勢である。

第 5 章 重金属放出に対する炭素粒子の影響およびスラグの良質化

- (1) スラグ中のカルシウム、鉄、チタン、ニッケルの残存割合は炭素添加率と熔融温度に関わらずほぼ 100% となる。
- (2) 炭素を加えることによる灰中の主要元素の放出挙動に大きな変化はなく、微量元素の亜鉛と鉛は

- 1200℃以下で放出量の変化が大きくなり、スラグからの有害金属含有量が低下しスラグは良質化する。
- (3) 炭素を加えることによって灰粒子が粒子状のまま存在するため、灰粒子が熔融することを妨げる。
 - (4) 熱力学平衡計算によりスラグ相および液相の評価が可能となり、ほぼすべての元素で熔融実験結果よく説明できる。

論文審査結果の要旨

平成 21 年 2 月 12 日に開催された学位論文審査委員会（公聴会）において、主査守富教授，副査野々村教授，小林教授，橋場教授，神原准教授により上記学位論文の審査を行い，以下の内容が発表された。

これまでに、我々が直面している廃棄物処理およびエネルギー問題の現状において、廃棄物エネルギーは非常に重要な位置づけとなっている。廃棄物発電の課題である発電効率の向上を目的として、伝熱管腐食のメカニズムの解明、廃棄物熔融処理における有害な重金属の環境への放出防止技術の提案が必要である。このような背景を踏まえ、本論文では、主に実機を模擬した流動層実験と熱力学平衡計算により伝熱管腐食の腐食要因の特定、耐食性合金の選択により腐食低減対策を検討している。また、有害重金属放出の観点では焼却灰中の炭素成分に注目し、熔融温度、ガス条件、炭素粒子の添加などを考慮するにより、環境中への重金属放出対策を検討している。

第 2 章「アルカリ塩による化学的腐食」では、耐食性合金管 SUS310S として、高温塩素含有環境において腐食性固体物質と配管材料との化学的反応を明らかにしている。

第 3 章「熱媒体粒子による物理的腐食の影響」では、化学的腐食に物理的腐食が加わった場合の腐食進行の程度を明らかにすることを目的として、ガス雰囲気、流動化速度、材料組成の影響について実験と熱力学平衡計算により明らかにしている。

第 4 章「腐食要因の検討および腐食低減対策」では、第 3 章で得られた結果から配管材料の鉄とクロムと流動砂成分のカルシウムとの腐食進行に及ぼす影響を明らかにするため、付着と減肉の関係およびカルシウム化合物の形態別腐食挙動などを検討し、さらに腐食低減対策として耐食性合金の種類別腐食進行評価を明らかにしている。

第 5 章「重金属放出に対する炭素粒子の影響およびスラグの無害化」では、熔融炉中に熱分解ガス、燃焼空気の他に灰粒子と共に存在するチャーは燃焼あるいは他の金属酸化物の酸素原子を奪って酸化する還元剤となるため、熔融炉内でおこる炭素粒子の局所的な強い還元雰囲気が重金属放出挙動に大きく影響する可能性がある。そこで、焼却灰に炭素粒子を添加することによって模擬熔融試料を調整し、炭素粒子含有焼却灰熔融条件での重金属放出特性を明らかにしている。

以上の結果から、廃棄物発電の課題である発電効率の向上を目的として、伝熱管腐食のメカニズム、廃棄物熔融処理における有害な重金属の環境への放出防止技術の提案し、廃棄物発電のみならず、固体－固体接触による高温腐食の分野で広く適用される技術である。

最終試験結果の要旨

これまでの研究業績および論文内容を中心とした事項について口頭試験を行った結果、合格と認められた。