



Title	廃棄物発電ボイラ過熱管用耐熱鋼の高温腐食に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	古垣, 孝志
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15842号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92143
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takashi_Furugaki_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 古垣 孝志

審査担当者 主査教授 林重成
副査教授 三浦誠司
副査准教授 松島永佳
副査准教授 坂入正敏

学位論文題名

廃棄物発電ボイラ過熱管用耐熱鋼の高温腐食に関する研究

(Study on High-temperature Corrosion Behavior of Heat-resistant Steel for Superheater Tubes in Waste Power Generation Boiler)

廃棄物発電は、廃棄物の減容化と同時に安定したエネルギーが得られる、再生可能エネルギーの中でも魅力的なエネルギーである。一方、現状の廃棄物発電ボイラの蒸気条件は4~6MPa × 400~450℃であり、火力発電と比べてその熱効率はかなり低いことから、その更なる普及には高効率化が不可欠となる。しかしながら、廃棄物発電ボイラの過熱管用耐熱鋼は、蒸気条件が4MPa × 400℃のボイラが運用された時期から殆ど開発が進んでいない。廃棄物発電ボイラのさらなる高効率化を達成するためには、過熱管保護材料の開発が必須となるが、そのためには過熱管の高温腐食挙動を理解することが極めて重要である。

本論文は、廃棄物発電ボイラ用過熱管材料の高温腐食に及ぼす要因のうち、特に燃焼灰埋没環境下における高温腐食挙動を検討し、その支配的要因を明らかにすることを目的として研究したもので、全6章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景として国内における再生可能エネルギーのうち、自立・分散型で安定のエネルギー源として有効な廃棄物発電を取り巻く環境と諸問題について述べた上で、廃棄物発電技術や蒸気条件の推移を纏めるとともに、廃棄物発電ボイラ用過熱管が曝される非常に厳しい腐食環境下において、過熱管材料の腐食要因となる燃焼灰堆積下における熔融塩腐食や塩化腐食についての先行研究を纏め、特に燃焼灰中の温度勾配が過熱管の腐食に強い影響を与えること、そのメカニズムが十分に解明されていないことを背景とし、本研究に取り組むに至った工学的・学術的背景および目的について述べている。

第2章「ストーカ式廃棄物発電ボイラ過熱管の実環境下における過熱管材料の高温腐食」では、SUS310系耐熱鋼であるQSX5および保護材料として使用されるAlloy625肉盛材を施工した腐食プローブを過熱器内のガス温度が異なる二か所に設置することで実施した実環境での過熱管材料の高温腐食挙動の調査から、雰囲気温度が685℃、腐食プローブ表面温度が340~410℃の場合、QSX5とAlloy625肉盛材ともに蒸気温度が高くなるほど腐食速度が増加する傾向が見られたが、雰囲気温度が565℃では、腐食プローブ表面温度が410~460℃の場合、Alloy625肉盛材の腐食速度は腐食プローブ表面温度の増加に伴い増加したが、QSX5の腐食速度は腐食プローブ表面温度にはほとんど依存しなかったことを明らかにしている。また、腐食プローブ表面温度が410℃の場合、雰囲気温度が685℃の場合のQSX5の腐食速度は、雰囲気温度が565℃の場合と比較して3

～4倍大きくなることを明らかにしており、これらの結果から、燃焼灰中の温度勾配が耐熱材料の腐食速度に強い影響を与えていることを明らかにしている。

第3章「燃焼灰埋没環境下における耐熱鋼の高温腐食挙動および燃焼灰中の温度勾配の影響」では、実機過熱管から採取した燃焼灰を用いた SUS310S と QSX5 の燃焼灰埋没試験から、雰囲気温度と試料温度が同じ 460 °C での等温腐食試験と比較して、雰囲気温度 685 °C、試料温度 460 °C の非等温腐食試験で耐熱鋼の腐食量が大きくなること、基材表面には外層が燃焼灰を取り込んだポーラスな Fe リッチ酸化スケール、内層が積層状の Cr リッチ酸化スケールが形成したことを明らかにしている。また、 Na_2CrO_4 、 K_2CrO_4 、 CaCrO_4 の形成を確認しており、耐熱鋼表面に形成した保護性の Cr リッチ酸化スケールと塩蒸気が反応して、これらクロメートが形成し、Cr リッチ酸化スケールの保護性が失われて、速い速度で腐食が進行する腐食モデルを提案している。また、燃焼灰中の Na、K および Cl が低温側で濃縮することを明らかにしており、これら結果より燃焼灰中の温度勾配はアルカリ塩蒸気の合金表面へのフラックスを増大させて、腐食速度を増加させるメカニズムを提案している。

第4章「保護性 Cr リッチ酸化スケールの腐食初期におけるブレイクダウン挙動」では、耐熱鋼の腐食試験初期における保護性 Cr リッチ酸化スケールのブレイクダウン挙動を調査しており、ブレイクダウンは 24～60h の短時間で生じることを述べている。さらに、1h と 12h 後の試験片表面の腐食が軽微な領域でも、保護性 Cr リッチ酸化スケールの表面に $\text{NaFeO}_2/\text{Na}_2\text{CrO}_4$ が形成していたこと、SUS310S では部分的に Cr リッチ酸化スケールが基材から剥離し、基材/スケールの間にはポーラスな Fe リッチ酸化スケールが形成していたことを発見している。これにより、試験初期に形成した Fe リッチ酸化スケールおよび Cr リッチ酸化スケールが、アルカリ塩蒸気と反応することにより、 $\text{NaFeO}_2/\text{Na}_2\text{CrO}_4$ が形成し、これが局所的な塩素ポテンシャルを増大させて、基材の Fe や Cr の塩化を促進するとともに、それらの塩化物が揮発することでスケールを剥離させるモデルを提案している。

第5章「燃焼灰由来ガス成分による保護性 Cr リッチ酸化スケールのブレイクダウン挙動の検証」では、燃焼灰を高温に保持した雰囲気中に低温の試験片を曝すことで塩を含む腐食性のガス成分による腐食試験を行うことにより、前章までに提案した腐食モデルを検証を行い、100h 腐食後には $\text{NaFeO}_2/\text{Na}_2\text{CrO}_4$ が形成するとともに、Cr リッチ酸化スケールが基材から剥離すること、基材側で Fe と Cr の塩化物が形成したことを確認しており、本研究で提案するモデルを検証している。

第6章「総括」では、本研究で得られた結果を総括している。これらを要するに、著者は廃棄物発電ボイラの過熱管上に堆積する燃焼灰中の温度勾配が耐熱鋼の高温腐食を加速させるメカニズムを明らかにし、今後の過熱管用耐熱鋼あるいは耐高温腐食用コーティングの寿命予測や材料設計、蒸気条件の高温化のために必要な知見を得ており、工学的かつ学術的な進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。