

- 燃焼ガス中で起こるさまざまな高温腐食現象の解明から各種トラブル対策まで、ボイラを事例に詳細に網羅した一冊！
- ボイラの構造や高温腐食のメカニズムといった基礎から、発電用ボイラ、都市ごみ焼却炉、黒液回収ボイラなど、各種ボイラを使用燃料ごとに分類し、各機器に発生するさまざまな高温腐食による損傷事例とその分析、防食技術、寿命予測、高温腐食試験方法についてわかりやすく解説！

ボイラ燃焼ガスによる 高温腐食事例とその対策

High Temperature Corrosion and Prevention Methods by Combustion Gas in Boiler

監修(敬称略)

中森 正治 株式会社高温腐食・防食テクノサーチ 代表取締役
工学博士 技術士(金属)
腐食防食専門士(腐食防食協会)
元 三菱重工業株式会社 高砂研究所,
北海道大学 客員教授

- ◆ 発刊 2012年8月11日発刊
- ◆ 体裁 B5判 一段組上製本 432頁
- ◆ 価格 本体45,000円(+税)
国内送料弊社負担
978-4-924728-66-0 C3050
- ◆ 発行 テクノシステム

<http://www.techno-s.co.jp/>

執筆者一覧(50音順 敬称略)

大塚 伸夫 住友金属工業株式会社 総合技術研究所 主監部長研究員 大塚研究室主宰 工学博士
京 将司 関西電力株式会社 研究開発室 電力技術研究所 電力基盤技術研究室(発電)
中嶋 靖史 株式会社火力発電技術研究所 代表取締役 工学修士
元 三菱重工業株式会社 神戸造船所 原動機技術部長
中森 正治 株式会社高温腐食・防食テクノサーチ 代表取締役 工学博士
技術士(金属) 腐食防食専門士(腐食防食協会)
元 三菱重工業株式会社 高砂研究所, 北海道大学 客員教授
林 修平 株式会社タクマ エンジニアリング統轄本部 プロジェクトセンター
プロジェクトセンター長付
福田 祐治 バブコック日立株式会社 呉研究所 所長 工学修士
基 昭夫 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター エンジニアリングアドバイザー

★本書「推薦のことば」より★

酸化、硫化、塩化、熔融塩腐食など高温腐食の理論的な内容は先人によりほぼ確立されているものの、実プラントではそれらが相互に関連し、複雑な挙動を示すため、理論と実現象との間に乖離があり、それらを埋めることが高温腐食研究に大変重要と考えています。

本書は長年企業でボイラの高温腐食に携わってきた各担当者が、ボイラの概要から使用材料、高温腐食の基礎から重油、石炭、都市ごみ、黒液燃焼ボイラまで、様々なプラントで遭遇する高温腐食事象をどのように調査、整理して理論的な考察を行うかを具体的に記述するとともに、対策を実施する場合に必要な注意点など、表面処理(例えば溶射)を例に詳細に解説しています。また、実プラントでは使用材料(表面処理)の寿命(腐食速度)予測も大変重要であり、その算出方法を紹介するとともに、高温腐食メカニズムの解明や使用材料選定に利用される高温腐食試験方法などを具体的かつ平易な表現でわかりやすく解説しています。

《申込方法》

◎本書籍は一般書店では取扱いをしておりません。下の申込書にご記入の上、FAXをお送り下さい。
書籍と共に納品書 請求書をご送付申し上げます。また試読をご希望の方は試読希望欄にレ印をお付け下さい。

「ボイラ燃焼ガスによる高温腐食事例とその対策」(7889) 申込書			
<input type="checkbox"/> 申し込み		冊	<input type="checkbox"/> 試読希望
		年	月 日
住所 〒	TEL		
会社 団体名	FAX		
所属	役職名		
(フリガナ) 氏名(フルネーム)	E-mail		



株式会社 **テクノシステム**

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-16五十嵐ビル TEL. 03-3293-3105(代)

FAX. 03-3293-3874 E-Mail. info@techno-s.co.jp

1. ボイラの形式と燃料
2. 発電用ボイラの蒸気条件の推移
3. ボイラの構造と使われている材料

第2章 高温酸化と高温腐食の基礎

1. 高温酸化
 - 1.1 高温酸化の熱力学
 - 1.2 高温酸化の速度論
 - 1.3 合金鋼の高温酸化
2. 燃焼ガス側の腐食因子
 - 2.1 燃料性状と伝熱管付着灰
 - 2.2 空燃比～石炭燃焼のケース～
 - 2.3 燃焼ガス温度
3. 熔融塩腐食
 - 3.1 熔融塩腐食の考え方
 - 3.2 熔融塩腐食の腐食挙動
 - 3.3 熔融塩の酸 塩基反応
 - 3.4 熔融塩と酸化スケールとの反応
4. 高温ガス腐食
 - 4.1 高温硫化
 - 4.2 水蒸気酸化
 - 4.3 浸炭
5. 高温腐食 摩耗
6. 各論
 - 6.1 石炭焚きボイラ(アルカリ 鉄硫酸塩腐食)
 - 6.2 重油焚きボイラ(バナジウムアタック)
 - 6.3 ごみ焼却ボイラ(Zn, Pb, Na, K 塩化物 硫酸塩腐食)
 - 6.4 ソーダ回収ボイラ
 - 6.5 バイオマス燃焼ボイラ

第3章 発電用ボイラにおける高温腐食事例とその対策

第1節 使用燃料 (中森 正治)

1. 発電用ボイラの種類と本章のねらい
2. 使用燃料

第2節 LNG 燃焼ボイラにおける炉壁管の高温腐食事例 (中森 正治)

第3節 油性燃料燃焼ボイラにおける高温腐食事例 (中森 正治)

1. バーナ部品の高温腐食
2. 燃焼室蒸発管の高温硫化腐食
 - 2.1 実缶調査
 - 2.1.1 蒸発管炉壁近傍の燃焼ガス分析
 - 2.2 蒸発管の減肉状況と外表面付着物
 - 2.3 減肉部の抜管調査
 - 2.4 腐食原因について
 - 2.5 腐食速度
3. 燃焼室蒸発管の溝状高温腐食
4. 高温過熱器の高温腐食
5. 高温再熱器の高温腐食
 - 5.1 低融点燃焼灰による高温腐食
 - 5.2 高温再熱器管溶接部などの高温腐食事例
6. 過熱器管異材継手部の高温腐食
 - 6.1 腐食した過熱器管異材継手部の調査
 - 6.2 腐食再現試験
 - 6.3 考察
 - 6.3.1 SUS316とSTBA24の耐食性比較
 - 6.3.2 異材継手部酸化皮膜の機械的破壊
7. その他
 - 7.1 金具(金物)
 - 7.2 炉底蒸発管の高温腐食
 - 7.3 ステンレス鋼管の鋭敏化と粒界腐食の発生

第4節 高温腐食防止対策 (中森 正治)

1. 設計上の対策
2. 運転の適性化
3. 耐食材料
4. 表面処理
 - (1) Cr(またはAl)拡散浸透処理 (Cr or Al Pack cementation)
 - (2) 熔融Alめっき(Al hot dipping)
5. 防食添加剤の注入
6. 溶射(Thermal spraying)の利用
 - 6.1 溶射方法とその特徴
 - (1) 長所
 - (2) 短所
 - 6.2 ボイラへの適用例
 - 6.2.1 バーナ部品

- 6.2.2 高温部伝熱器管
- 6.2.3 燃焼室蒸発管
- 6.2.4 工場溶射
 - (1) 溶射施工環境条件などの確認
 - (2) 溶射施工前処理(ブラスト)
 - (3) 溶射施工条件の確認
 - (4) 溶射皮膜の検査
 - (5) 輸送と保管の注意
- 6.2.5 現地溶射
 - (1) 前処理
 - (2) 溶射
 - (3) 溶射皮膜の経年劣化調査
 - (4) ガスプラズマ溶射(APS)による50Ni-50Cr溶射皮膜の防食特性

第5節 微粉炭燃焼ボイラにおける高温腐食 高温摩耗事例とその防止対策 (京 将司)

1. 火力発電の技術動向
2. 石炭燃焼技術
 - 2.1 微粉炭燃焼法
 - 2.1.1 微粉炭燃焼特性
 - 2.1.2 微粉炭燃焼形式
 - (1) コーナファイアリング方式
 - (2) 前面(後面)燃焼方式
 - (3) 対向燃焼方式
3. 微粉炭燃焼ボイラの高温腐食と摩耗事例
 - 3.1 蒸発管の溝状腐食
 - 3.1.1 溝状腐食
 - 3.1.2 設備概要
 - 3.1.3 燃焼灰(スラグ)付着状況
 - 3.1.4 伝熱管外観
 - 3.1.5 損傷状況
 - 3.1.6 伝熱管損傷箇所の抜管調査
 - (1) 外観観察
 - (2) 表面観察
 - (3) 断面観察
 - a) 周方向断面観察
 - b) 軸方向断面観察
 - (4) EPMA(X線マイクロアナライザー)分析
 - (5) スラグ等の分析結果
 - (6) X線回折結果 4
 - 3.1.7 損傷原因
 - (1) デスラッグの噴射蒸気による損傷
 - (2) 溝状(硫化)腐食による損傷
 - (3) ボイラ炉内ガス雰囲気環境(ガス組成)
 - (4) 熱力学的考察

- 3.1.8 対策
 - (1) 耐摩耗溶射施工
 - (2) 調査方法
 - (a) 抜管および供試材
 - (3) 調査結果
 - (a) 新管へ工場溶射した伝熱管
 - (b) 肉盛溶接後に現地溶射した伝熱管
 - (c) 既設管表面へ現地溶射施工した伝熱管
 - 3.2 石炭燃焼ボイラにおける過熱器管 再熱器管の高温腐食
 - 3.2.1 事例
 - 3.2.2 高温腐食メカニズム
 - 3.2.3 対策
 - 3.3 摩耗(エロージョン)
 - 3.3.1 ボイラ管の燃焼灰による摩耗損傷
 - (1) 摩耗損傷状況
 - (2) 破口部の断面金属組織観察
 - 3.3.2 ボイラ管の缶水漏えいによる摩耗損傷
 - 3.3.3 煙道設備の摩耗
- 第6節 流動層ボイラにおける高温腐食 摩耗事例とその対策** (中森 正治)
- 1. 高温腐食 摩耗事例
 - 1.1 気泡式流動層ボイラの層内伝熱管
 - 1.2 循環式流動層ボイラの周壁蒸発管
 - 1.3 過熱器管バンド部の損傷
 - 2. 高温腐食 摩耗対策
 - 2.1 伝熱管の配置
 - 2.2 流動材の選定
 - 2.3 プロテクタの装着
 - 2.4 耐摩耗表面処理
 - 2.4.1 硬化肉盛溶接
 - 2.4.2 耐摩耗性溶射
- 第7節 水蒸気酸化**
- 1. 水蒸気酸化(全般) (福田 祐治)
 - 1. 水蒸気酸化現象
 - 2. 実機的事例
 - 2.1 スケール剥離
 - 2.2 温度の影響
 - 2.3 結晶粒度の影響
 - 2.4 組成の影響
 - 2.5 クリープ損傷への影響
 - 2. 過熱器管の過熱噴破事例 (京 将司)
 - 1. 損傷状況

- 2. 原因
 - 3. 対策
- 第8節 伝熱面内面からの腐食疲労** (京 将司)
- 1. 火炉蒸発管腐食疲労
 - 1.1 火炉壁の構造
 - 1.2 損傷状況
 - 1.3 原因
 - 2. 節炭器管の腐食疲労
 - 2.1 節炭器管の配列の種類
 - 2.2 節炭器管の種類
 - 2.3 損傷状況
 - 2.4 原因
 - 3. 腐食疲労対策
- 第9節 硫酸露点腐食(低温腐食)とその対策**
- 1. 硫酸露点腐食(全般) (中森 正治)
 - 1. 硫酸露点腐食事例
 - 2. 燃料中の硫黄(S)分とSO₂の発生とSO₃への転換
 - 3. 燃焼排ガス中のSO₃濃度と露点の関係
 - 4. 結露する硫酸濃度と腐食速度
 - 5. 硫酸露点腐食対策
 - 5.1 発生するSO₃の抑制
 - 5.1.1 燃料
 - 5.1.2 ボイラ運転条件
 - 5.2 凝縮するH₂SO₄の抑制
 - 5.3 凝縮したH₂SO₄の中和(添加剤の注入)
 - 5.3.1 NH₃の注入
 - 5.3.2 Mg添加剤の注入
 - 5.4 耐食材料の使用
 - 5.4.1 耐硫酸露点腐食鋼
 - 5.4.2 表面処理
 - 2. 空気予熱器の硫酸露点腐食 (京 将司)
 - 1. 損傷状況
 - 2. 原因
 - 3. 対策
- 第10節 スーツブロー蒸気によるスチームカット** (京 将司)
- 1. 損傷状況
 - 2. 原因
 - 3. 対策

第4章 都市ごみ焼却炉における高温腐食事例と対策

- 第1節 東京都における都市ごみ焼却炉ボイラの高温腐食事例と対策** (基 昭夫)
- 1. 都市ごみ焼却炉 ボイラ
 - 2. ごみの性状
 - 2.1 ごみ質
 - 2.2 ごみ質の分析方法
 - 3. 燃焼ガスの組成
 - 3.1 O₂濃度
 - 3.2 その他のガス成分(CO, H₂, H₂S 等)
 - 3.3 ガス温度
 - 3.4 ボイラ伝熱管外表面堆積灰
 - 4. ボイラの腐食事例
 - 4.1 水冷壁管の外表面腐食
 - 4.2 腐食減肉状況
 - 4.3 水管の腐食減肉分布とスケール成分
 - 4.4 過熱器管の腐食
 - 4.5 スーツブローによるボイラ管の腐食
 - 4.5.1 伝熱管の外表面腐食

- 4.5.2 過熱器管の腐食
 - 4.6 スーツブロー管の腐食
 - 5. ストーカの腐食
 - 6. 熱電対の腐食
 - 7. ガスエアヒータ管の腐食
 - 8. 煙突の腐食
 - 9. 耐火物支持金物の腐食
- 第2節 RDF 燃焼循環流動層ボイラにおける高温腐食とその対策** (中森 正治)
- 1. 循環流動層ボイラとRDF燃焼
 - 2. 高温腐食事例
 - 3. 高温腐食の原因
 - 4. 外部熱交換器への高温腐食性成分の侵入経路
 - 5. 高温腐食防止対策

第5章 黒液回収ボイラにおける高温腐食事例と対策

- 1. 黒液回収ボイラの概要
- 2. 火炉の温度雰囲気
- 3. 火炉管の腐食
- 4. 火炉管の腐食対策 (林 修平)
- 5. 過熱管高温腐食対策
- 6. 合金元素と鋼の耐熱耐食性

第6章 高温腐食速度と寿命予測

(中森 正治)

1. 基礎となる高温腐食速度式
2. 寿命予測
 - 2.1 極値統計を用いたボイラ伝熱管の高温腐食と寿命予測
 - 2.1.1 調査した伝熱器管の概要
 - 2.1.2 最大減肉量の推定
 - 2.1.3 腐食速度と付着した燃焼灰組成
 - 2.1.4 寿命推定
 - 2.2 ボイラ伝熱管へ適用した NiCr 合金溶射皮膜の腐食速度と寿命予測
 - 2.3 実缶高温腐食試験結果と腐食速度の予測
 - 2.4 高塩化物灰環境におけるインコネル625の腐食速度

第7章 高温腐食試験方法

(中森 正治)

1. 標準化された高温腐食試験方法 (JIS規格, 他)
 - 1.1 ボイラ管用金属材料の水蒸気酸化試験方法 (JIS Z 2287 : 2003)
 - 1.2 金属材料の高温腐食試験方法通則 (JIS Z 2290 : 2004)
 - 1.3 金属材料の高温ガス腐食試験方法 (JIS Z 2291 : 2004)
 - 1.4 金属材料の塩塗布高温腐食試験方法 (JIS Z 2292 : 2004)
 - 1.5 金属材料の塩浸漬および埋没高温腐食試験方法 (JIS Z 2293 : 2004)
 - 1.6 金属材料の電気化学的腐食試験方法 (JIS Z 2294 : 2004)
2. その他の高温腐食試験方法
 - 2.1 JIS法のアレンジ
 - 2.2 燃焼腐食試験
 - 2.3 実缶試験
 - 2.4 その他

第8章 データ集

(提供: 大塚 伸夫, 中森 正治, 京 将司)

単位換算表

材料

- ボイラ用鋼管材料の公称化学成分
- ボイラ用ステンレス管の許容引張応力
- ボイラ用フェライト系耐熱鋼の許容引張応力

燃料(油)

- 原油(石油)より採取される低質燃料

燃料(石炭)

- 石炭の分類と分析例
- 石炭性状(工業分析, 元素分析他)

材料(高温硬さ)

- 耐摩耗溶射皮膜の高温硬さ特性

材料(融点)

- 金属とその酸化物および硫化物の融点例

材料(ボイラ主要機器部材の損傷)

- ボイラ主要機器部材の損傷モードと損傷箇所

高温塩化(気相)

- 塩素および塩化水素による炭素鋼の腐食速度
- 塩化物の蒸気圧

高温硫化(気相)

- ボイラ鋼管の H_2-H_2S 雰囲気における硫化腐食挙動

高温腐食(油)

- 重(原)油燃焼ボイラ高温部伝熱管外表面付着物の組成と融点の関係
- バナジウム化合物とその融点
- 過熱器管のバナジウムアタック
- $Na_2SO_4-Na \cdot V \cdot O$ 系化合物の合成灰塗布試験結果

高温腐食(石炭)

- アルカリ鉄硫酸塩腐食による材料特性

高温腐食(廃棄物, ごみ)

- ごみ焼却炉伝熱管の高温腐食機構

Deacon反応

- 都市ごみ焼却ボイラスーパーヒータの腐食プローブ試験
- 都市ごみ焼却ボイラの過熱器管の腐食プローブ試験
- 高効率廃棄物発電ボイラスーパーヒータの腐食試験
- ごみ焼却炉のスーパーヒータの腐食減肉
- ごみ焼却炉スーパーヒータ付着灰の溶融開始温度(横軸)と溶融量(縦軸)
- ごみ焼却炉スーパーヒータ付着灰のCl量とS量
- 実機プローブ付着灰の化学分析結果
- ごみ焼却炉の高温腐食に及ぼす雰囲気ガス種の影響
- ステンレス鋼とインコネル625溶射材の高塩化物灰による繰り返し塗布試験結果
- 塩化物の融点例

高温腐食 摩耗

- 微粉炭燃焼ボイラにおけるボイラ蒸発管溶射皮膜の損傷(現地溶射施工)
- 微粉炭燃焼ボイラにおけるボイラ蒸発管溶射皮膜の損傷(肉盛溶接補修後の現地溶射施工)
- 高温腐食摩耗試験結果
- サンドエロージョンに及ぼす衝突角度と衝突粒子径の影響
- 流動床(層)ボイラにおける損傷

索引

◆◆◆巻頭カラー写真◆◆◆

- LNG燃焼ボイラ炉壁管の外観状況
- 水分添加試験後の試験片外観
- 燃焼室蒸発管の燃焼灰付着状況
- 炉内で肉厚計測のため研磨された高温過熱器管(高温腐食事例1)
- 高温再熱器の高温腐食事例2(燃焼灰の付着状況と点検)
- 調査した炉底管の外観状況
- 調査した過熱器管の外観状況
- ボイラ蒸発管パネルの工場溶射例
- アルコールチェックによる溶射皮膜のき裂検出例
- 屋外大気中曝露試験結果
- ボイラ伝熱管の火炉側損傷部のEPMA面分析結果
- 工場溶射施工された溶射皮膜の断面状況
- 肉盛溶接補修後の伝熱管に溶射した皮膜の断面状況

- 既設管に現地溶射した皮膜の断面状況
- スケール成長によるリーク例
- 節炭器給水入口側で生じた硫酸露点腐食例(節炭器: STB33E)
- 異常減肉炉水冷壁管の抜管工事
- 水冷壁管堆積灰清掃後の外観
- 高温腐食を受けた火格子板の上部外観写真(a)と断面のSEM(b)(SCH13)
- ガスエアヒータ管の腐食部外観
- 約3000時間運転後, 解放点検時の二次過熱器管の外観状況
- 二次過熱器管代表部のEPMA分析結果
- 流動材断面のEPMA分析結果
- 過熱器管のバナジウムアタック