

各種産業分野における広範な材料の腐食事例を取り上げ、それらの  
事例解析、対策技術、腐食劣化診断技術、防食技術を集大成！！

# 普及版 腐食事例解析と腐食診断法

## 監修

石原 只雄 株式会社ベンチャー・アカデミア 顧問 工学博士  
前 科学技術庁 所属材料技術研究所 第5研究グループ第2サブグループリーダー  
前 横浜国立大学 共同研究推進センター 客員教授

## 編集委員

石川 雄一 前 横浜国立大学 留学センター 教授 Ph.D.  
川原 雄三 株式会社検査研究所 試験計測部 主管  
前 三菱重工業株式会社 横浜研究所 構造研究所  
主任研究員 工学博士 腐食防食専門士  
藤井 哲雄 有限会社コロージョンテック 代表取締役 工学博士  
梶山 文夫 東京ガス株式会社 導管ネットワーク本部 導管部  
幹線グループ 理番 工学博士  
中原 正大 旭化成ケミカルズ株式会社 生産技術 設備総括部  
担当部長 博士(工学) 腐食防食専門士

◆発行 2017年9月7日発行  
◆体裁 B5判 段組並製998頁  
(カラー写真多数掲載)  
◆価格 本体36,000円(+税)  
送料別 送料別  
978-4-924728-78-3 C3050  
◆発行 テクノシステム  
<http://www.techno-s.co.jp/>

## 執筆委員(50音順72名)

縣 邦雄 アクアス株式会社 所長	真田 徳雄 元 独)産業技術総合研究所 工学博士	原 信義 東北大学 工学博士 腐食防食専門士
赤嶺 健一 株式会社IHJ	沢田 正昭 国士舘大学 教授 学術博士	半田 隆夫 日本電信電話株式会社 プロジェクト マネージャ 博士(工学)
朝倉 祝治 横浜国立大学 特任教授・名誉教授 工学博士	篠原 正 独)物質・材料研究機構 グループリーダー 工学博士	平野 秀朗 (財)電力中央研究所 スタッフ(部長) 首席研究員 博士(工学)
阿部 正美 株式会社ナカボーテック 技術顧問 工学博士	清水 宏明 株式会社クボタ	平本 抽 ソニー株式会社 Distinguished Engineer
荒牧 國次 慶應義塾大学 名誉教授 工学博士	菅原 克生 三菱マテリアル株式会社 主任研究員 工学博士	福田 祐治 パパコック日立株式会社 副所長
石川 雄一 前 横浜国立大学 教授 Ph.D.	高崎 新一 栗田工業株式会社 工学博士 腐食防食専門士	藤井 哲雄 有限会社コロージョンテック 代表取締役 工学博士
石原 只雄 株式会社ベンチャー・アカデミア 顧問 工学博士	高谷 松文 千葉工業大学 教授 工学博士	藤井 和美 株式会社日立製作所 主任研究員
井芹 一 栗田工業株式会社	田邊 弘往 大日本塗料株式会社 副部門長 フェロー 工学博士	藤田 和夫 住友化学株式会社 主席研究員
磯本 良則 広島大学 准教授 工学博士	谷口 滋次 北海道大学 客員教授 工学博士 Ph.D.	政友 弘明 住友化学株式会社 グループマネージャー
伊藤 観 新日鐵化学株式会社 取締役 シニアエグゼクティブオフィサー 工学博士	玉田 明宏 JFEエンジニアリング株式会社 部長代理 工学博士 腐食防食専門士	増山 不二光 九州工業大学 教授 工学博士
殷 シュウ 東北大学 准教授 工学博士	津田 健 東京工業大学 特任教授 工学博士	丸山 俊夫 東京工業大学 教授 工学博士
尾崎 敏範 尾崎事務所 代表 工学博士	中原 正大 旭化成ケミカルズ株式会社 担当部長 博士(工学) 腐食防食専門士	宮坂 松甫 株式会社荏原総合研究所 代表取締役専務 工学博士 腐食防食専門士
梶山 文夫 東京ガス株式会社 理事 工学博士	中村 勉 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 腐食防食専門士	望月 紀保 株式会社ナカボーテック 主席研究員 工学博士 技術士(金属部門)
加藤 謙治 新日本製鐵株式会社 主幹研究員 博士(工学)	中森 正治 株式会社高田防食 代表取締役 工学博士 腐食防食専門士	守屋 進 独)土木研究所 総括主任研究員 博士(工学)
川原 雄三 株式会社検査研究所 主管	西方 篤 東京工業大学 准教授 工学博士	山田 秀明 栗田工業株式会社
菊池 純 日本防蝕工業株式会社 部長	西山 佳孝 住友金属工業株式会社 グループ長 博士(工学)	山田 豊 住友軽金属工業株式会社 主任研究員 博士(工学)
京 将司 関西電力株式会社	蜂谷 実 有限会社蜂谷防錆研究所 所長 技術士	山手 利博 株式会社竹中工務店 博士(工学) 腐食防食専門士
久保内昌敏 東京工業大学 准教授 博士(工学)	花崎 昌幸 SSTサービス 代表	横手 幸伸 清水建設株式会社 副部長
倉田 良明 元 独)産業技術総合研究所	埴 隆夫 東京医科歯科大学 教授 歯学博士 博士(工学)	吉田 新一 新日本空調株式会社 担当部長
黒川 一哉 北海道大学 教授 工学博士	原 基 秋田大学 教授 工学博士	吉葉 正行 首都大学東京 教授 工学博士
小泉 裕 独)物質・材料研究機構 主席研究員 工学博士	原口 智 株式会社東芝 主務	米澤 敏男 株式会社竹中工務店 リサーチフェロー (兼務)東京工業大学 客員教授 Ph.D.
後藤 誠裕 東京工業大学 研究員 博士(工学)	原田 広史 独)物質・材料研究機構 センター長 工学博士	渡辺 正満 東日本電信電話株式会社 担当課長
近藤 照夫 ものづくり大学 教授 博士(工学)	原田 良夫 トーカロ株式会社 技術顧問 工学博士	
酒井 哲也 日本大学 助教 博士(工学)		
榊 孝 東ソー株式会社 副理事 工学博士		
佐藤 次雄 東北大学 教授 工学博士		

## 《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。下の申込用紙にご記入の上、FAXして下さい。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。

「普及版 腐食事例解析と腐食診断法」(7899T) 申込書		<input type="checkbox"/> 購入	<input type="checkbox"/> 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)	E-mail				
氏名(フルネーム)					



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4F  
TEL. 03-3293-3105(代) <http://www.techno-s.co.jp/>

FAX. 03-3293-3874 E-Mail. [info@techno-s.co.jp](mailto:info@techno-s.co.jp)

# 第1編 腐食の基礎

## 第1章 水溶液腐食の基礎

### 第1節 腐食熱力学 (朝倉 祝治)

- 避けることのできない腐食・腐食熱力学
  - 宿命を示す熱力学
  - 腐食する金属としない金属・金属材料の安定性の熱力学的評価
- 金属の腐食機構のあらまし
  - 金属腐食機構の種類
- 気体中で起こる金属腐食・乾食
- 水を含まない溶液中の腐食反応

### 第2節 電気化学反応による腐食・湿食 (朝倉 祝治)

- 水を含む環境におかれた金属の表面状態
- 不動態
- 湿食を理解するための電気化学反応の基礎・ボルタの電池を用いた電気化学反応の理解
- 湿食の反応機構
  - 短絡されたボルタの電池とガルバニブロック
  - 同一の金属板上に発生する腐食・鉄の腐食の例
  - アノードとカソードの組み合わせ形態によって理解できる湿食現象
  - 代表的な腐食形態とその事例

### 第3節 ブルベダイアグラムとその利用 (朝倉 祝治)

- ブルベダイアグラム
- ブルベダイアグラムによる腐食・非腐食の判定
- ブルベダイアグラムによる防食方法の原理的かつ統一した導出

### 第4節 腐食危険と腐食対策 (朝倉 祝治)

- 腐食機構から理論的に導出される腐食危険性
- 腐食機構から原理的に導かれる腐食対策

## 第2章 腐食形態

### 第1節 腐食損傷の種類 (石原 只雄)

### 第2節 全面腐食 (石原 只雄)

### 第3節 局部腐食

- 孔食 (pitting corrosion) (石原 只雄)
- すきま腐食 (crevice corrosion) (石原 只雄)
- 粒界腐食 (intergranular corrosion) (石原 只雄)
- 応力腐食割れ (stress corrosion cracking, SCC) (石原 只雄)
- 水素脆化 (hydrogen embrittlement) (石原 只雄)
- 腐食疲労 (石原 只雄)
- フレッティングコロージョン (fretting corrosion, 擦過腐食) (石原 只雄)
- 異種金属接触腐食 (石山 文夫)
- 選択腐食 (脱亜鉛腐食, 黒鉛化腐食) (梶山 文夫)
- 電食と交流腐食 (梶山 文夫)
  - 電食の定義
  - 電食の現象
  - 埋設パイプラインの電食の事例
  - 交流腐食の定義
- 通気差腐食 (梶山 文夫)
- マクロセル腐食 (梶山 文夫)
- エロージョンコロージョンとFAC (磯本 良則)
- キャビテーション損傷 (磯本 良則)
- 糸状腐食 (磯本 良則)
- 溝状腐食 (磯本 良則)
- 微生物腐食 (梶山 文夫)
  - 定義
  - 微生物腐食研究史俯瞰
  - 微生物の特質
  - 微生物腐食の特殊性
  - 土壌中の腐食
    - 土壌腐食に深く関与する微生物
    - EhとpHの関係および微生物の活性域
    - 微生物腐食速度 5.4 微生物腐食機構
  - ステンレス鋼の微生物腐食
    - ステンレス鋼の微生物腐食の特徴
    - ステンレス鋼の微生物腐食機構
  - 銅合金の微生物腐食
  - アルミニウム合金の微生物腐食
  - その他の金属の微生物腐食
  - 高分子の生物劣化

## 第3章 腐食環境

### 第1節 淡水 (藤井 哲雄)

- 水源と水質
  - 雨水 1.2 河川水 1.3 湖沼水 1.4 地下水
- 淡水腐食のメカニズム
- 水質と腐食の要因
  - 水処理技術の変遷 3.2 pHの影響
  - 溶存酸素(DO)および水流速の影響
  - 水温の影響
  - 塩化物および残留塩素 3.6 スケール
  - 水質汚染の影響 3.8 淡水中の腐食試験
- 配管材料と耐食性

### 第2節 海水 (石川 雄一)

### 第3節 大気腐食 (篠原 正)

- 金属表面での水膜の生成
  - 大気状態の種類 1.2 水膜の形成
- 大気腐食挙動に及ぼす水膜の影響
  - 炭素鋼の腐食度CRに及ぼす水膜厚さdの影響
  - ステンレス鋼の発錆に及ぼす水膜の影響
  - 電気化学的検討
- 環境条件の影響
  - 降雨と結露 3.2 温度の影響
  - 附着海塩量に及ぼす風の影響

### 第4節 土壌 (梶山 文夫)

- 腐食環境としての土壌
- 中性土壌中および水溶液中の材料に対する実際の腐食電池列
- 土壌の腐食性と土壌特性値
- 土壌の腐食性評価法
- 腐食因子としての土壌抵抗率と腐食プロセスとの

### 関係

### 6. 土壌腐食モニタリング

### 第5節 高温水 (原 信義)

- 圧力-体積-温度( $P-V-T$ )関係
- 誘電率
- 水のイオン積とpH
- 導電率
- 輸送特性
- 気体の溶解度
- 無機化合物の溶解度
- 電解質の解離平衡
- 電解質溶液の臨界点
- 2熱力学の推算法

### 第6節 非水溶液 (荒牧 國次)

- 非水溶媒と非水溶液
- 非水溶液中における金属の腐食
- 腐食事例

## 第4章 各種材料の耐食性

### 第1節 鉄鋼材料 (伊藤 敏)

- 炭素鋼, 低合金鋼 (伊藤 敏)
  - 環境の影響
  - 材料因子の影響
    - 化学成分 2.2 耐食性低合金鋼の位置づけ
  - 耐硫酸露点腐食鋼
  - 耐候性鋼
  - 耐海水鋼
  - 耐溝食性電線鋼管
  - 耐水素誘起割れ鋼
  - 耐硫化物応力腐食割れ鋼
  - その他の耐食性低合金鋼

### 2. 鋳鉄 (宮坂 松甫)

- 非合金鋳鉄
- 高ケイ素鋳鉄
- 高ニッケル鋳鉄

### 3. ステンレス鋼 (石原 只雄)

- ステンレス鋼の腐食特性
  - ステンレスとは
  - ステンレス鋼の不動態皮膜
  - ステンレス鋼の不動態特性と合金成分
  - 不動態皮膜の破壊
- ステンレス鋼の種類とその用途
  - オーステナイト系ステンレス鋼
  - フェライト系ステンレス鋼
  - オーステナイト・フェライト二相ステンレス鋼
  - マルテンサイト系ステンレス鋼
  - 析出硬化系ステンレス鋼
- ステンレス鋼使用上の問題点
  - 加熱脆化 3.2 局部腐食現象
  - 各種環境下におけるステンレス鋼の耐食性
  - 酸およびアルカリによる腐食
  - 淡水および海水による腐食
  - 大気腐食 4.4 高温水腐食 4.5 高温腐食
- 局部腐食試験
  - 孔食試験
  - ステンレス鋼の臨界孔食温度(CPT)
  - すきま腐食試験 5.4 粒界腐食試験
  - 応力腐食割れ試験

### 第2節 非鉄金属材料

### 1. 銅および銅合金 (山田 豊)

- 一般耐食性
- 耐薬品性
- 実用材料の腐食特性
  - 純銅 3.2 銅合金

### 2. アルミニウムおよびアルミニウム合金 (花崎 昌幸)

- アルミニウム合金の一般的腐食挙動について
  - アルミニウムの腐食形態
- 大気中における各種アルミニウム合金の耐食性
  - 板, 形など展伸材の耐食性
  - 鋳物材の耐食性
  - 異種金属接触腐食挙動
- 淡水中における耐食性
  - 水道水中における耐食性
  - 湖水・河川水における耐食性
- 海水中における耐食性
- 土壌中における耐食性

### 3. ニッケルおよびニッケル合金 (菅原 克生)

- 各種Ni基耐食合金の分類
- Ni基耐食合金の略歴
- Ni基耐食合金の耐食性および基本的な諸特性
- 最近開発されたNi基耐食合金
- チタン, タンタル, およびジルコニウム(中原 正大)
  - 物理的な基本特性
  - 耐食特性(全面腐食に対して)
  - 局部腐食および特殊な現象
    - すきま腐食 3.2 応力腐食割れ
    - 水素吸収脆化 3.4 発火
  - Ti, ZrおよびTaの使用にあたって
- 亜鉛, マグネシウム(亜鉛の耐食性) (高谷 松文)
  - 亜鉛の耐食性
    - 亜鉛の腐食特性 1.2 鋼に対する犠牲防食能
  - マグネシウムの耐食性
    - マグネシウムの腐食特性
    - 耐食性に及ぼす合金の影響
    - マグネシウムの純度による腐食

### 第3節 非金属材料

### 1. 高分子材料 (後藤 誠裕, 津田 健)

- ゴム
- 熱可塑性プラスチック
- 熱硬化性プラスチック
- 腐食形態と腐食度
- 高分子材料の耐食性
- セラミックス材料 (殷 シュウ, 佐藤 次雄)
  - ジルコニアセラミックスの低温アニールによる

### 強度劣化

- 非酸化物セラミックスの腐食
  - 高温空気・酸素・水蒸気による酸化腐食
  - 溶融塩による酸化腐食
  - 高温高圧水による酸化腐食
- 酸・アルカリ性水溶液による溶解腐食
  - アルカリ性水溶液腐食 3.2 酸性水溶液腐食
- コンクリート (宮田 恵守)
  - コンクリートと劣化の概要
  - コンクリートを構成する材料
    - セメント 2.2 骨材 2.3 混和材料
    - 練混ぜ水 2.5 鋼材
  - 様々な劣化
    - 化学的侵食 3.2 中性化(炭酸化)
    - アルカリ骨材反応 3.4 塩害 3.5 凍害

### 第4節 耐熱材料

- フェライト系耐熱鋼 (増山 不二光)
- オーステナイト系耐熱鋼 (増山 不二光)
- 超合金 (小泉 裕, 原田 広史)
- 金属間化合物とセラミックス (黒川 一哉)
  - アルミナ皮膜形成材料
    - Ni-Al系 1.2 Ti-Al系 1.3 Nb-Al系
    - シリカ皮膜形成材料
  - SiC 2.2 Si3N4 2.3 シリサイド
- 高温耐食コーティング (原田 良夫)
  - 高温機器の腐食環境とコーティングの適用状況
    - 高温機器の腐食環境
    - 高温耐食コーティング用金属の選択とMCrAlX合金
  - 高温耐食コーティング法
    - 金属熱浸漬法 2.2 物理蒸着法
    - 溶射法 2.4 複合コーティング法

## 第5章 高温腐食の基礎

### 第1節 高温腐食 (谷口 滋次)

- 高温酸化 (谷口 滋次)
  - 高温酸化と高温構造材料
  - 保護酸化皮膜の形成
  - 酸化物の熱力学的安定性
  - 高温酸化の速度論
    - 酸化物の格子欠陥と移動過程
    - Wagnerの放物線酸化理論の概略
    - 原子価制御の原理 4.4 放物線速度定数
  - 酸化物の形態
    - 酸化皮膜の構造 5.2 内部酸化
    - 酸化皮膜の機械的性質
    - 酸化皮膜の損傷 6.2 酸化物成長応力
    - 熱応力 6.4 酸化皮膜の塑性変形能
    - 酸化皮膜の密着性
  - 活性元素効果

### 2. 硫化腐食 (黒川 一哉)

- 硫化物の特性
- 金属・合金の硫化
- 金属・合金の酸化 / 硫化
  - 金属における酸化 / 硫化
  - 合金における酸化 / 硫化
  - 実環境での酸化 / 硫化

### 3. ハロゲンによる高温腐食 (丸山 俊夫)

- ハロゲン腐食の速度
  - 皮膜の成長速度と質量変化
  - 金属ハロゲン化合物中におけるイオンの拡散
  - 金属ハロゲン化合物の蒸発速度
- 熱力学的基礎
  - 金属ハロゲン化合物の標準生成ギブズエネルギー
  - 金属ハロゲン化合物の平衡蒸気圧
  - 金属ハロゲン-酸素系の相安定図
- 塩素および塩化水素雰囲気における高温腐食

### 4. 溶融塩腐食 (原 基)

- ガスタービン翼における溶融塩腐食(硫酸塩腐食)
  - 腐食事例 1.2 腐食機構
- 重油焚きボイラー管における溶融塩腐食 (バナジウムアタック)
  - 腐食事例 2.2 バナジウムアタックの機構
  - ごみ焼却プラントのボイラー管における溶融塩腐食 (塩化物・硫酸塩腐食)
    - 腐食事例 3.2 腐食機構
  - 腐食試験と解析法
    - 溶融塩腐食試験 4.2 耐食性評価法
- メタルダスティング (西山 佳孝)
  - 腐食機構
  - 金属材料の腐食挙動と防食
- 浸炭および水素侵食 (榊 孝)
  - 浸炭
  - 水素侵食

### 第2節 燃焼ガスによる酸露点腐食 (川原 雄三)

- 酸露点腐食の発生要因
  - 硫酸露点腐食 1.2 塩酸露点腐食
  - 硫酸/塩酸露点腐食
- 燃焼ガス環境の変動と腐食の発生
  - 装置の起動, 停止
  - 燃焼ガスの諸条件の変動
  - 燃焼ガスの付着障害と中温腐食の発生
- 腐食防止法
  - 環境面の腐食防止対策 3.2 耐食材料
  - 材料の耐食性の試験, 評価方法
- 実験室腐食試験法 4.2 実機腐食試験

# 第2編 腐食診断法

## 第1章 腐食診断概論

### 第1節 腐食診断とは (中原 正大)

- 診断のとらえ方
- 診断と保全方式
- 診断の対象となる機器の種類や現象
- 診断の機会, 場および方法
- 診断の要素技術や情報・知識



