

腐食による 損傷の事例と原因・対策 (その1)

腐食による損傷には、構造設計や加工方法の不適、局所的な環境の不適合、材料選定の不適など多種多様な原因があり、それぞれ個別に過去の腐食事例を参考にして原因を解明し、防止策を考える必要があります。ここでは、①腐食損傷の解析方法、②湿食における腐食とくに局部腐食の形態と損傷事例、③腐食割れの形態と特徴、④腐食損傷事例と原因・対策について、二回に分けて紹介します。

腐食損傷の解析手順

腐食による設備や機器の損傷あるいは事故が生じた場合、防止対策を立てるために腐食損傷の原因解明が重要となります。

腐食損傷の解析手順としては一般的に【表1】に示すような順番で調査解析を行います。

【表1】 腐食損傷の解析手順

腐 食 損 傷	
↓	
そのままの状態を観察	付着物、着色状況、たまり、部位加熱・冷却との関係 (写真撮影)
↓	
付着物採取	化学分析、pH測定、X線分析
↓	
表面洗浄後観察	凹み、割れ(経路・本数・分岐の状況) 類似部位との対比、溶接、加工との関係
↓	
部分サンプリング またはサンプル採取	組織をみて加工、熱処理の適性、破面解析 硬さ、残留応力のチェック
↓	
類似事例と対比	文献、過去のデータ集
↓	
原因の推定	再現テスト、腐食テスト
↓	
対 策	設計・加工変更 環境制御 防食法の採用 材料変更

プラント材料の腐食損傷に遭遇した場合、その損傷が材料上の問題であるか、使用環境上の問題であるかを調査し、正しい見立てを行うことがまず重要です。この見立てには、材料・設備・

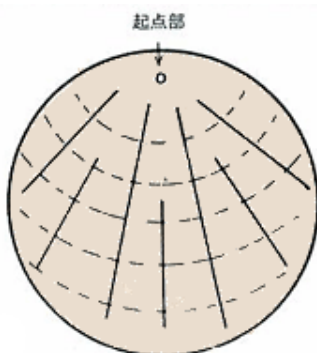
腐食の知識とともに実務経験を要し、運転中の設備においては運転条件の変更による防食や、経済的な代替材料の選定など総合的な検討を加えなければなりません。

腐食割れの場合、断面および破面観察を行い、割れが粒内を貫通しているか、粒界に沿って進展しているか、あるいは割れが1本か多数枝分かれしているか、などを詳細に観察することが重要です。

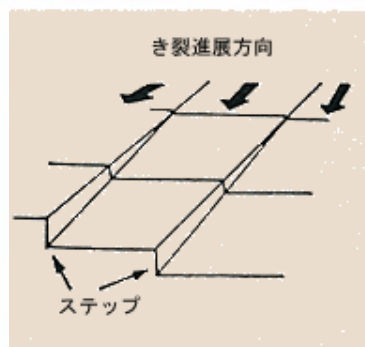
破面観察

破面観察は、割れの起点や進展状況を容易に知ることができるので、損傷原因の究明にとって有用です。

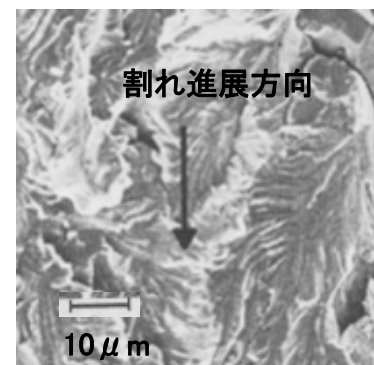
マクロ破面には、おおざっぱに見て次の二つの特徴的な模様があります。一つは【図1】に示すように起点部から放射線状に広がる模様（実線で示す）で、これはき裂の進展方向を示すものです。他の一つは応力の変動に起因する段差（点線で示す）であり、応力変動の著しい疲労破面でよく見られます。



【図1】マクロ的な破面模様の模式図



【図2】ミクロ的な破面模様の模式図



【写真1】SCC破面例(SUS304, 42%沸騰 MgCl₂ 中)

実線は割れの進行に従って生ずる段（ステップ）であり、き裂の進展にしたがい段が高くなります。このステップはミクロ破面ではリバー状模様（写真1）となり、ミクロなき裂進展方向を表しています。現実の材料では、応力の大きさや結晶粒の方位がミクロ的に変化しているので、写真1のように複雑な破面模様を呈します。破面観察から、割れの原因や進展方向を判定するには、豊富な知識と経験が必要とされます。

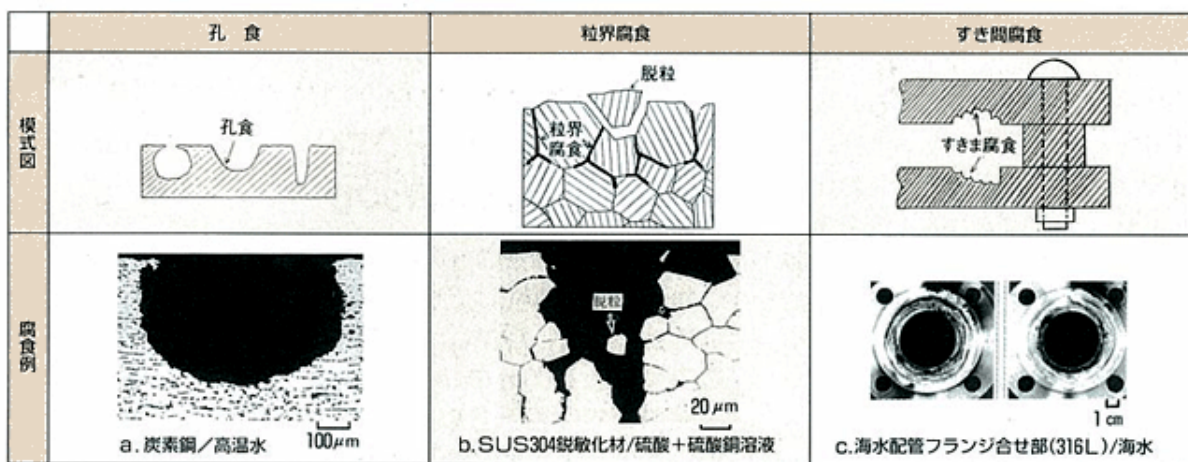
局部腐食の形態と特徴

腐食とは金属が化学的または電気化学的に侵される現象であり、水分が関与するか否かによっ

て湿食と乾食に分類することができます。また、金属の全面がほぼ一様に腐食していく全面腐食と、局部的に集中して起こる局部腐食に大別されます。全面腐食の場合は、その進展速度から寿命を予測することがある程度可能ですが、局部腐食では多くの場合、進展速度の予測が困難です。このため、腐食トラブルの多くが局部腐食によって引き起こされるものです。局部腐食は金属表面の保護被膜が局部的に破壊されることによって発生します。

実プラントで発生頻度の高い局部腐食には、孔食・粒界腐食・すき間腐食・接触腐食（ガルバニ腐食）などがあり【写真2】、これらの特徴を【表2】に示します。

【写真2】 局部腐食の種類



【表2】 局部腐食の特徴

	a 孔食	b 粒界腐食	c すき間腐食	d 接触腐食
現象	ハロゲンイオン (Cl ⁻ など) によって不動態被膜が局部的に破れ孔状に侵食される現象。	微量成分の粒界偏析や粒界析出物に起因して粒界が選択的に腐食する現象。	金属どうしやパッキングとのすき間部で、すき間内外の濃淡電池によって腐食が進行する現象	異種金属の接触下で卑な金属の腐食が促進される現象。
腐食現象模式図				
発生例	ステンレス鋼やアルミニウム合金の塩化物水溶液中、非金属介在物など金属側不均一性が引金。	ステンレス鋼やアルミニウム合金の熱処理不適当な場合や溶接熱影響部。	ステンレス、アルミ、チタン等のフランジ面。	Al-銅 (Al腐食大) 銅-ステンレス (銅腐食大) の接触部。
発生要因	ハロゲンイオン・溶存酸素 (環境側) 介在物・欠陥など (材料側)	粒界クロム欠乏層・微量成分・粒界偏析・粒界析出物など (材料側)	すきま構造・酸化スケールなど (構造・材料側)、ハロゲンイオン・溶存酸素 (環境側) (成長段階: 孔食と同一機構)	電位差のある金属同志の接触 (材料側)
写真他	2a	2b	2c	