

○電気防食

1 はじめに

金属は強度が高く、加工性がよく、合金化や熱処理によって物性を変えることができ、熱に強いなど、構造材料として極めて優れた特性を持っており、私たちの豊かな生活を支えています。しかし、これほど優れた金属であっても腐食し、劣化していく運命から逃れることはできません。

金属を腐食させないためには、金属を腐食環境から遮断するために防食層（塗覆装）で覆ってしまう方法と電流の作用を用いて人為的に金属の電位を制御し、腐食を制御する電気防食による方法があります。

危険物施設においては、腐食のおそれが特に高い地下貯蔵タンクや直流電気鉄道の近傍等の電氣的腐食のおそれのある場所に設置される地下貯蔵タンク及び地下埋設配管について、塗覆装と電気防食を施すこととされています。

本稿では、危険物施設において用いられる電気防食について解説します。

2 金属はなぜ腐食するか

金属の腐食は酸化還元反応によって、表面の金属が電子を失ってイオン化し、金属面から脱落することで進行します。

例えば、鉄が水中で腐食する状況を考えると、鉄の腐食は、水と接する最外層の鉄原子が電子を失い、鉄イオン（ $\text{Fe}^{2+}$ ）となって水中に移行することから始まります。これを式で表すと、次のようになります。（式1）



（式1）は、鉄の原子価が0→2に増加する酸化反応となっており、アノード反応（陽極反応）といえます。

しかし、この反応は単独では起こりえず、鉄原子から失われた電子を受け取る反応が同時に生じています。この場合、水中に溶存している酸素が電子と結びつき、水酸化物イオン（ $\text{OH}^{-}$ ）を生成します。（式2）



（式2）は、酸素の原子価が0→-2に減少する還元反応となっており、カソード反応（陰極反応）といえます。また、水中に移行した鉄イオンは、 $2\text{OH}^{-}$ と結合して水酸化鉄（Ⅱ） $\text{Fe}(\text{OH})_2$ を形成します。さらに、これが水中の溶存酸素によって酸化されると、水酸化鉄（Ⅲ） $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、いわゆる赤さびとなるわけです。

この二つの反応が腐食を表す電気化学式です。アノード反応とカソード反応が起こるところをそれぞれアノード（陽極）及びカソード（陰極）といい、金属内では電子がアノードからカソードへ移動するので、腐食電流がカソードからアノードへ向かって流れます。さらに、腐食電流は水中（電解質）を介してアノードからカソードへ向かいます。つまり、金属の腐食は、酸化反応と還元反応が同時に起こる腐食電池反応となっているのです。（図1）

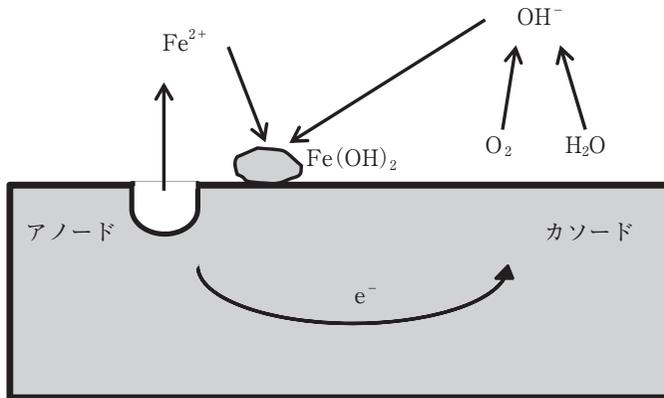


図1 鉄の腐食モデル

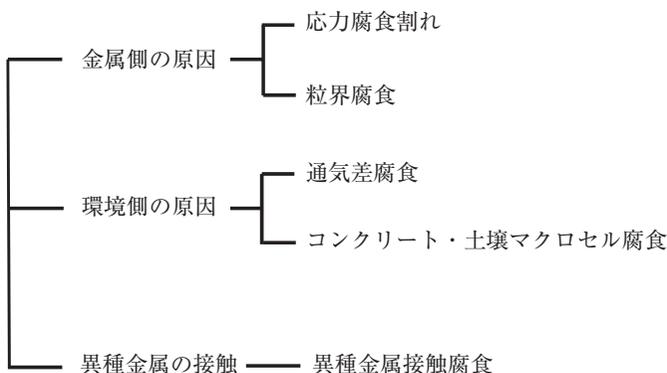


図2 アノードとカソードの生成パターン

アノードとカソードが生成されやすい状況になると腐食は著しく進行します。では、どのようにしてアノードとカソードが生成されるのか、一例を(図2)に示します。

(1) 金属側の原因

ここまで説明した鉄の腐食の例では、同一の鉄の中でアノードとカソードが生じていますが、これは、金属あるいは環境中に不均一があることにより発生します。

金属上の不均一としては、例えば、鋼材の応力を受けている箇所はアノード、その他の箇所はカソードになりやすく、応力腐食割れ(図3)に至る場合や、金属が不適切な熱影響を受けたとき、結晶粒界(金属原子の結晶粒と結晶粒と

の界面)やその周辺の組織構造が変化し、結晶粒界がアノード、結晶粒がカソードとなる粒界腐食などがあります。

(2) 環境側の原因

環境中の不均一としては、水中や土中の溶存酸素濃度が低い位置に接する金属はアノード、溶存酸素濃度が高い位置に接する部分の金属はカソードとなって腐食が進行する通気差腐食(図4)や、アルカリ性のコンクリートと中性の土壌が接する箇所を鋼管が貫通している場合に、鋼管の土壌に接する部分がアノード、コンクリートに接する部分がカソードとなって腐食が進行するコンクリート・土壌マクロセル腐食などがあります。

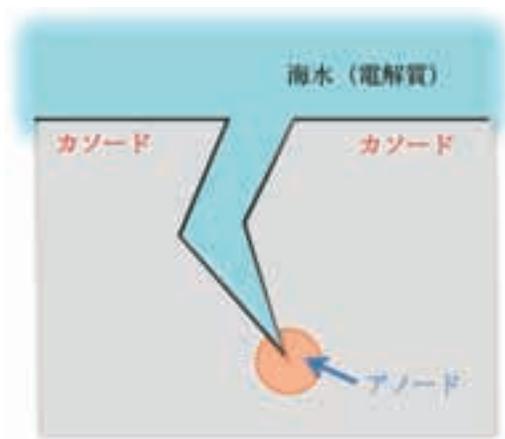


図3 応力腐食割れ

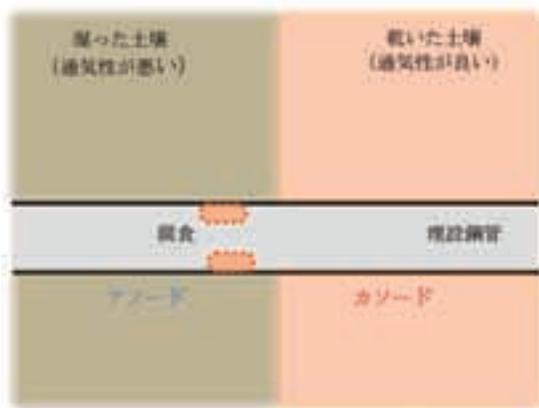


図4 通気差腐食

表1 海水中における金属の自然電位列

Mg	マグネシウム	卑 ↑ ↓ 貴
Zn	亜鉛	
Al	アルミニウム	
Fe	鉄	
Pb	鉛	
Sn	すず	
Cu	銅	
Ni	ニッケル	
Ti	チタン	
Ag	銀	
Pt	白金	

### (3) 異種金属の接触

鋼材とステンレス製ボルトのように、異なる金属製品同士を接して使用するとある一方の金属に集中して激しい腐食が起こります。これが異種金属接触腐食と呼ばれる現象で、使用環境における金属の電極電位の差によって腐食が進行します。

一例として海水中における金属の自然電位列を(表1)に示します。電位が低い金属を「卑」といい、アノードになりやすく、電位が高い金属を「貴」といい、カソードになりやすい傾向があります。例えば、海水中で鉄(Fe)と銅(Cu)

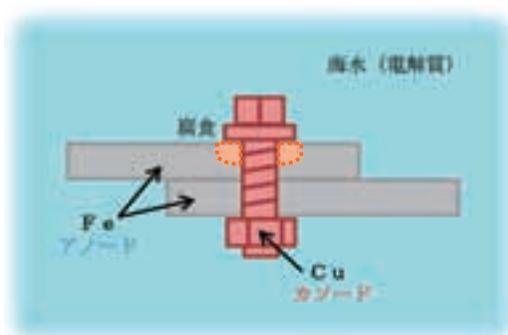


図5 異種金属接触腐食

が接触している場合を考えると、鉄は銅より卑、銅は鉄より貴であるため、鉄がアノード、銅がカソードとなって、鉄の腐食が進行します。(図5)

また、この腐食の程度は、接触する金属の電位差が大きいほど、さらに、卑な金属に対する貴な金属の表面積が相対的に大きいほど、影響は大きくなります。

## 3 電気防食の原理

危険物施設では、タンクや配管が腐食されることにより、孔が開き、危険物が流出する、火災が発生するなど、人的にも物的にも大きな事故に繋がりがかねません。よって、防食が重要となるわけです。

金属の腐食は電気化学反応によって起きていることを解説しましたが、電気防食は、この電気化学反応を逆に応用し、金属の腐食を防止する工法です。つまり、防食対象物である金属から水中や土壌などの電解質中に流れ出ようとする腐食電流に対し、これに打ち勝つ防食電流を外部から流入させ、防食対象物がイオン化することを防ぐものをいいます。

#### 4 電気防食の種類

危険物施設における腐食対策として主に用いられる電気防食工法として、外部電源方式と流電陽極方式があり、この2種類の方式について、それぞれの特徴を(表2)に示します。

また、厳密には電気化学反応を利用した電気防食法ではありませんが、直流電気鉄道やその他の電気設備等からの漏れ電流(迷走電流)により、地下埋設配管等が腐食するのを防止するための排流法についても併せて解説します。

##### (1) 外部電源方式

外部電源方式は、直流電源装置を用いて補助電極を陽極(アノード)、防食対象物を陰極(カソード)として通電し、防食電流を流す方式です。(図6)

陽極と防食対象物の電位差によって電池を形成し、防食電流を流す流電陽極方式と違って、直流電源装置を用いて強制的に防食電流を流すことができるため、補助電極にケイ素鋳鉄や白

表2 外部電源方式と流電陽極方式の特徴

外部電源方式	流電陽極方式
<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源を確保し難い環境では適用が困難である。</li> <li>・高抵抗や腐食性が激しい環境でも適用できる。</li> <li>・維持管理や電力費が必要となる。</li> <li>・防食電流の調節ができ、自動制御も可能である。</li> <li>・装置の寿命が長く、長期間使用できる。</li> <li>・使用電圧が高いため、過防食や隣接構造物への影響を考える必要がある。</li> <li>・電位は電極付近で大きく、離れるほど減衰する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源を確保し難い環境でも適用できる。</li> <li>・小規模又は塗装された対象物に適するが、高抵抗の環境には適さない。</li> <li>・施工が比較的簡単で、維持管理を必要としない。</li> <li>・防食電流の調整ができないため、陽極の追加によって対応する。</li> <li>・陽極の寿命が比較的短く、交換の必要がある。</li> <li>・隣接構造物等への影響が少ない。</li> <li>・電位の分布が均一である。</li> </ul>

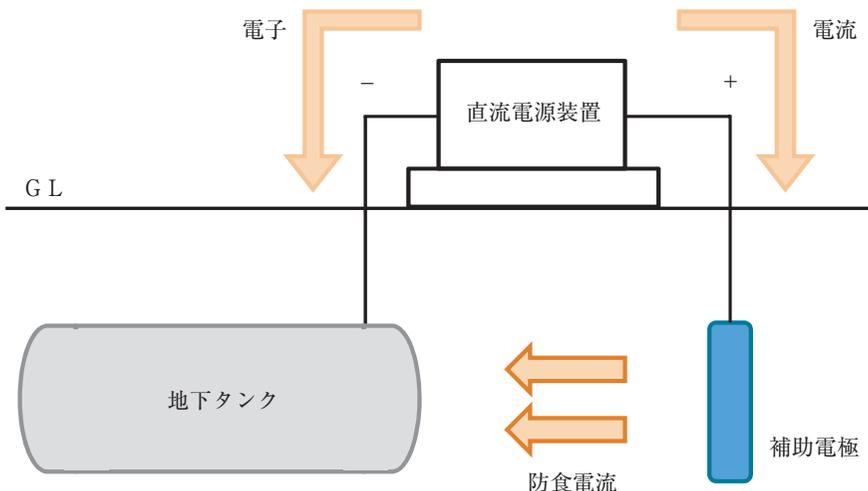


図6 外部電源方式(例)

金めっきチタンなどの耐久性のある素材を使用することで、長期間の使用ができるようになっています。

維持管理や電力費などが必要となりますが、高抵抗や腐食性の激しい環境下でも適用できます。

## (2) 流電陽極方式

流電陽極方式は、防食対象物にそれよりも卑な金属を電氣的に接続し、両者の電位差により防食電流を流す方式です。防食電流を測定するため、中間にターミナルボックスを置く場合があります。(図7)

接続した卑な金属を流電陽極、又は犠牲陽極といい、この陽極がアノードとなることで防食対象物の代わりに腐食します。流電陽極は、防食対象物に対して有効な電位差を保つことができ、かつ溶解が均一であることなどが要求され、一般的に流電陽極材料にはマグネシウム、亜鉛又はアルミニウム系の金属や合金が使用されています。

土壤中で流電陽極を使用する場合、土壌は比較的抵抗率が高いことから、鉄に対して電位差の大きいマグネシウム陽極を主に用います。この陽極を接地抵抗の低減及び陽極の局部腐食を

防ぐことを目的として、バックフィルという充填材で包んで埋設するのが一般的です。

原理的に、防食電流は陽極の消耗によって得られるため、防食する面積に応じた数の陽極が必要となります。また、陽極は寿命が比較的小さいため、ある程度消耗してくると、交換をする必要があります。しかし、外部電源方式と違い、電源を確保する必要がないため、設置できる環境が多いという利点があります。

## (3) 排流法

排流法とは、地中に埋設された鋼製配管等が直流電気鉄道などからの漏れ電流(迷走電流)によって腐食するのを防止するための防食法をいいます。

鉄道のレールはある程度の接地抵抗をもっていますが、完全には絶縁されていないため、漏れ出た電流の一部が地中を流れます。このとき、レール付近の地中に配管等の金属体が埋設されていると、漏れ電流はこれに流入して流れ、変電所付近で再び配管から地中を介してレールへ流出し、変電所へ戻っていきます。この現象が起きると、配管からレールに向かって流出した付近で激しい腐食を引き起こします。

この腐食を抑制するため、埋設配管とレール

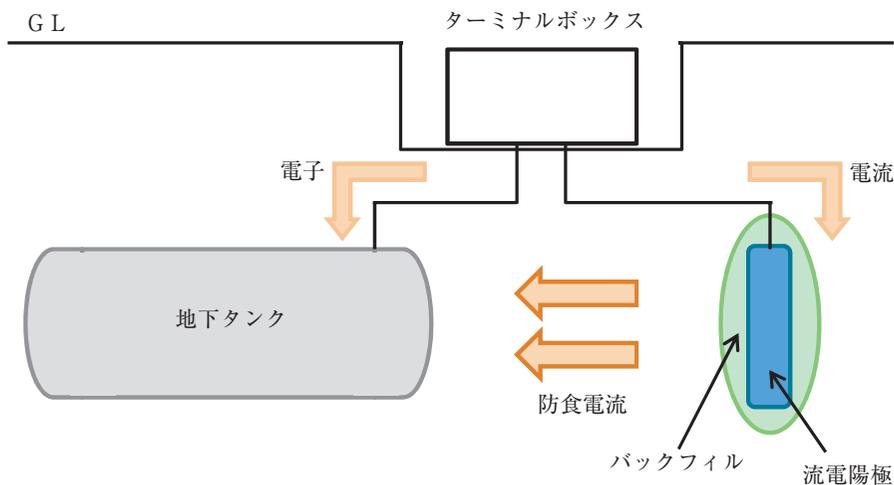


図7 流電陽極方式(例)

を電氣的に接続し、配管に流れる電流を地中を介さず直接レールに戻す方法を排流法といい、選択排流法と強制排流法の2種類があります。

#### ア 選択排流法

埋設配管等とレールを排流線で接続し、その間に排流器を設けるもので、埋設配管等がレールに対して高電位である場合のみ、電流を流出させるものをいいます。(図8)

#### イ 強制排流法

選択排流法で用いられた選択排流器の代わりに外部直流電源を設けたもので、排流を人為的に促進する方法をいいます。防食効果は大きいですが、電気鉄道の信号回路等へ悪影響を及ぼす可能性があるため、設置には慎重な配慮が必要となります。

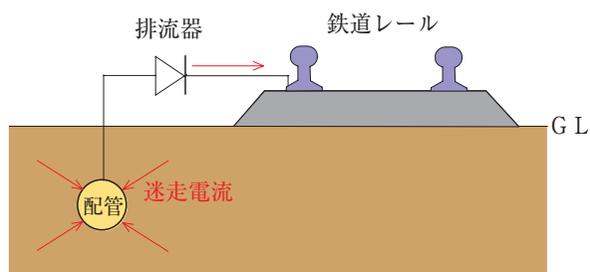


図8 選択排流方式